

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

材料加工 CAD/CAM 基础

陈立亮 主编



★ 机械工业出版社
China Machine Press

计算机辅助设计 (CAD) 与辅助制造 (CAM) 是现代先进制造技术 (AMT) 的重要组成部分。本书系统讲述了材料加工领域 CAD/CAM 的基础知识, 介绍了 CAD/CAM 的概念、原理及方法。在讲述材料加工 CAD/CAM 相关知识 (包括三维造型技术、专家系统与人工智能、有限元分析、仿真优化以及虚拟现实技术等) 的基础上, 紧密结合材料加工学科的实际特点, 重点论述了铸造成形 CAD、冲压成形 CAD、焊接成形 CAD、注射成型 CAD 以及材料加工 CAM 技术。最后还介绍了材料加工领域主流的 CAD/CAM 系统。

本书面向材料成形与控制工程专业本科生, 同时也可供本专业研究生及有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料加工 CAD/CAM 基础/陈立亮主编. —北京: 机械工业出版社, 2001.7

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材
ISBN 7-111-08893-X

I. 材… II. 陈… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材②计算机辅助制造—高等学校—教材
IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 18482 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 冯 铤 版式设计: 冉晓华 责任校对: 韩 晶
封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.625 印张·371 千字

0 001-4 000 册

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

目 录

序言

前言

第一章	计算机辅助设计概论	1
第一节	计算机辅助设计概念	1
第二节	计算机辅助设计在材料加工中的应用	6
第三节	计算机辅助设计发展历史	7
第四节	计算机辅助设计展望	9
第二章	计算机辅助设计技术基础	10
第一节	计算机辅助设计系统的组成与分类	10
第二节	计算机辅助设计系统的三维造型技术	17
第三节	计算机辅助设计系统的数据信息交换	24
第四节	计算机辅助设计系统的智能化技术与优化分析技术	30
第三章	铸造成形 CAD	42
第一节	铸造成形工艺 CAD	42
第二节	铸造成形过程数值模拟	51
第四章	冲压成形 CAD	78
第一节	概述	78
第二节	冲裁模计算机辅助设计系统	81
第三节	级进模计算机辅助设计系统	100
第四节	覆盖件模具计算机辅助设计系统	114
第五节	金属板料成形的有限元模拟	126
第五章	焊接成形 CAD	135
第一节	概述	135
第二节	焊接专家系统	141
第三节	典型焊接专家系统介绍	150
第四节	焊接成形过程的数值模拟	153

第六章 注射成型 CAD	165
第一节 概述	165
第二节 注射模结构 CAD	172
第三节 注射成型过程模拟	182
第七章 材料加工 CAM 技术基础	203
第一节 概述	203
第二节 数控机床的有关功能规定	212
第三节 数控加工工艺知识	218
第四节 数控编程	233
第五节 数控电火花线切割加工的程序编制	239
第八章 材料加工领域主流 CAD/CAM 系统	245
第一节 AutoCAD 的使用	245
第二节 PRO/ENGINEER 软件系统简介	285
第三节 UNIGRAPHICS 软件系统简介	291
参考文献	296

第一章 计算机辅助设计概论

第一节 计算机辅助设计概念

1945 年诞生了人类历史上第一台计算机 ENIAC, 17 世纪大思想家莱布尼茨的伟大梦想成为现实, 从此“计算”这个词具有了一种崭新的含义, 而且还将不可思议地大步迈进。也许当时谁也不会想到, 这个庞然怪物竟预示着人类历史上又一次伟大变革的开始, 而计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 技术正是这一伟大变革的产物。

一、什么是计算机辅助设计

计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 简称 CAD, 是以计算机为主要手段来辅助设计者完成某项设计工作的建立、修改、分析和优化、输出信息全过程的综合性高新技术。

作为现代先进设计与制造技术的基础, CAD 是多学科相交叉、知识密集型的高新技术。它使产品设计的传统模式发生了深刻变革, 不仅改变了工程界的设计思想及思维方式, 而且影响到企业的管理和商业对策, 是现代企业必不可少的设计手段。

计算机辅助设计的主要研究内容包括图形处理、优化设计、综合评价和信息交换等主要方面:

(1) 图形处理 计算机辅助设计是以各种数字化的图形来表达设计方案, 因此图形处理和表达是计算机辅助设计技术研究的基础与关键。人们在解决了二维图形问题之后, 主要目光集中在三维的图形技术方面, 实体造型、特征化造型、参数化设计等都是研究的重点。

(2) 优化分析 在工程设计中, 往往要进行某种分析。例如在外载荷作用下结构物的应力应变计算, 材料加工中基于有限差分的传热和流动分析, 用偏微分方程来描述和求解设计系统的动态性能等。如今, 供各种分析目的使用的专用软件和其他已经达到商品化程度的通用软件, 已被广泛地集成到各种计算机辅助设计应用软件中。例如目前流行的三维造型 CAD 系统 PRO/E、UG、I-DEAS 等都具备有限元分析能力, SolidWorks 将 Mold-Flow 集成起来能够进行流动分析等。可以预计, 只着眼于纯粹性设计的 CAD 软件不再是发展的趋势, 先进 CAD 系统的优化分析功能将愈发强大, 它允许设计者在设计的同时就能够进行充分的分

析,优化设计方案。这也正是并行工程(Concurrent Engineering,简称CE)的要求。

(3) 综合评价 一般情况下,对完成的设计方案需要进行校核和评价,包括尺寸校核、外观分析、内部结构剖析、碰撞检验以及材料加工中的各种缺陷预测等。现代先进的CAD系统往往提供分块、分层或剖切功能,三维CAD系统提供的实时旋转、缩放功能,使设计者感觉就像是面对完全真实的物体,通过视点的变化对设计对象进行平滑的、逼真的、动态的观察,可以剖视它们的内部结构,进行各种校验和评价,从而获得改进的方案。对于由多个零件组成的机构,CAD系统可以仿真各个零件的装配过程,给出准确的装配关系,自动检查干涉情况,为设计方案的修改提供准确的指导。

(4) 信息交换 CAD系统的信息交换包括CAD与CAD系统之间、CAD与其他系统如计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称CAM)、计算机辅助工程(Computer Aided Engineering,简称CAE)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning,简称CAPP)以及快速原型制造(Rapid Prototype Manufacturing,简称RPM)等之间以及通过因特网(Internet)进行的远程的、异地的信息沟通与资源共享。畅通无阻的信息交换基础是通用的、科学的信息交换规则,即数据交换标准,诸如IGES、STEP、SAT等纷纷出现,为CAD的资源共享起到了重要作用,推动了CAD技术的发展和應用。如何更合理、更高效、更准确地交换信息,仍是CAD技术研究的热点之一。

二、计算机辅助设计与传统人工设计的比较

工程设计是一种“面向目标问题的求解活动”,它包含定义设计问题、资料检索、创造性构思综合、分析与优化、模拟与评价、绘图与编制文件等步骤,这是一个以交互方式进行的反复过程。

(1) 定义设计问题。根据用户要求或产品开发的市场调查形成设计目标。

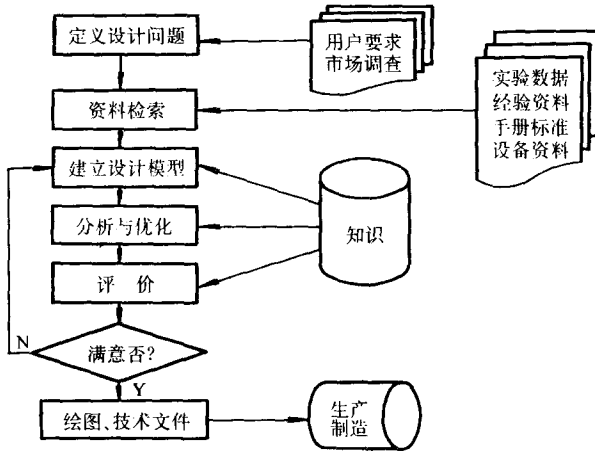
(2) 资料检索。参考各种参数、数据、标准及有关资料。

(3) 创造性构思综合。设计者类比同类产品的设计或根据自己的设计经验构思,拟订出产品设计初步方案或结构草图。

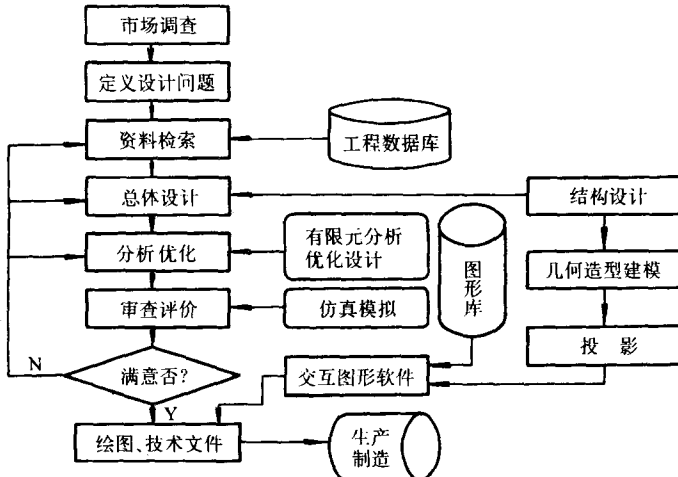
(4) 分析与优化。经过多次反复的计算分析、综合比较,选定在经济性、工艺性、可靠性等方面较为合理完善的方案,最后绘成设计图并编制有关技术文件。

这种由人工完成的机械设计过程(如图1-1),很难达到最佳的设计水平,长期停留在凭经验设计、靠类比或估算代替精确设计计算的阶段,不得不取较大的安全系数,增大了材料消耗。有些重要性能指标在设计阶段不能有效把握,只有在样机试制后进行试验,才能评估产品设计质量。而设计人员不得不把主要的时间和精力用于繁琐、重复的手工计算、绘图和编制表格上。这一系列问题导致

设计周期长、设计质量不高，设计的精确性和可靠性受到很大限制。传统的设计方法已越来越不能适应经济、技术发展的需要。据统计，从本世纪初到 60 年代，世界上许多国家的生产率增长了 10 倍，而设计效率仅提高了约 20%，这是一个很突出的矛盾。在计算机问世后，CAD 便成为解决这一矛盾的有效途径。



与上述传统人工设计方法截然不同的计算机辅助设计带来了设计手段的革命。在 CAD 系统应用时，相当一部分工作由计算机自动完成，而设计人员的主要任务是完成结构设计、工艺设计及特性分析，使设计过程建立于科学、准确的数学模型基础上，从而大大地提高了设计质量与设计速度。图 1-2 示出了 CAD 设计的流程。



三、计算机辅助设计的优点

在设计过程中，人与计算机各有所长。表 1-1 所示为人与计算机设计能力的比较。可以看出：人有很强的逻辑思维能力、很好的创造性；计算机有高速的计算速度、大量的储存能力、不知疲倦、效率高。应该将两者的优点有机地组合起来，以便发挥人机的综合效能，这比单独由人或完全依靠计算机来完成设计工作要好得多。这也就是 CAD 的最大特点，即人一机配合，取长补短。

表 1-1 人与计算机机械设计能力的比较

项 目	类 别	
	人	计算机
逻辑思维能力	有很强的设计想象力和判断力，能凭经验进行创造设计，学习快	已系统化和格式化，一般无自学习能力
信息的组织、记忆存储能力	信息的组织是自觉的，但不正规；信息记忆保持的时间短，容量小	信息的组织是正规的、详细的，存储时间长，容量大
工作的适应能力	工作时间过长时，效率下降，易疲劳和出差错	特别适合于进行重复性工作，可长期保持高效率，很少出错
分析计算能力	直观分析能力强，数值运算能力差，速度慢	没有直观分析能力，数值运算能力很强，速度快
查错纠错能力	能直观地查找设计错误，并及时予以改正，具有很大灵活性	查错方式已系统化，受系统的限制，适应性较差，且难以自动地纠正各种错误
信息的输入输出	能通过各种器官进行信息传递，形式灵活，但速度慢	已经系统化、格式化，速度快

在计算机辅助设计过程中，充分利用了计算机存储量大、能永久记忆、运算速度快等长处，可快速高效地进行大量的数据处理、图形处理和数值运算，使设计者能从常规的、重复的工作中解脱出来。因此，设计者在此过程中自始至终起主导作用，能有效地控制信息流，掌握设计的进程，并充分发挥思维判断能力强的优势，从事方案构思及设计决策等智能性强的工作。

生产实践证明，应用 CAD 能为企业带来显著的经济效益与社会效益。与传统人工设计相比，CAD 主要具有以下优越性：

(1) 提高设计效率、缩短设计周期 据调查，在一般的机械工业企业中，设计人员占全体人员总数的 10%~15%，而设计工作的 50%~60% 是绘图。采用 CAD 之后，这部分工作可由自动绘图仪来完成，节省了设计人员大量的宝贵时间。而且 CAD 系统还可以自动输出各类相关信息，打印工艺卡等，从而大大缩短了产品设计周期，加快了产品的交货日期，这就能更好地适应市场变化并赢得

用户，提高了产品的竞争能力。

据统计，CAD可使机械产品的设计周期缩短65%~70%，工艺设计周期缩短80%~90%，提高经济技术指标10%~25%，具有明显的经济效益。

企业界已不乏利用CAD技术缩短新产品开发周期、击败竞争对手的例子。英国霍克·西德利(HAWKER SIDDELEY)公司于1957年开始着手设计HS121 TRIDENT(三叉戟)飞机，比同类型的美国波音公司的BOEING727早两年。但波音公司采用了CAD技术，把生产准备、设计、制造联系起来，而霍克·西德利公司却依然使用传统的人工设计方法，其结果是波音公司虽然比霍克·西德利公司晚起步两年，但却能在同一时间制造出比三叉戟质量还要高的BOEING727来，于是波音公司很快就赢得了市场，打败了霍克·西德利公司。这个例子说明，先进的设计手段从某种程度上关系到企业的生死存亡。

(2) 设计与分析的统一 CAD系统中通用的设计分析程序使设计更具有逻辑的统一工作模式，能在同一个CAD系统中完成全部设计与分析，这种设计分析是实时交互式的，可以达到最佳状态。

美国通用电气公司在设计T700喷气发动机时，采用了一套CAD系统，该系统在设计人员设计出任何一部分后，即自动计算出该部分的重量，而重量是设计航空喷气发动机最为关心的参数之一。该系统的应用提高工效75%，实现了设计与分析的统一。

(3) 有效提高产品设计质量 设计是机械产品生产过程中的重要的一环，如图1-3所示。设计本身所需费用仅占产品总成本的5%左右，而产品的质量中约有75%是在设计过程中决定的，由此可见设计质量是影响产品经济性和技术指标的关键。

利用CAD进行设计，由于数学模型精确，计算精度高，可有效降低成本，延长产品寿命，提高产品可靠性，并且可以进行多个设计方案的比较、优化设计。同时，由于设计人员摆脱了繁重、简单的重复劳动，可集中精力发挥创造性思维，更能设计出高质量产品，减少错误，提高设计的成功率。

(4) 有利于产品标准化、系列化、通用化 在设计、绘图等环节，改变一些输入参数，即可在某一基础设计方案条件下形成新的特定设计方案，非常方便实现标准化、系列化及通用化。

(5) 为计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺过程规划(CAPP)、快速原型制造(RPM)以及计算机集成制造(Computer Integrated Manufac-

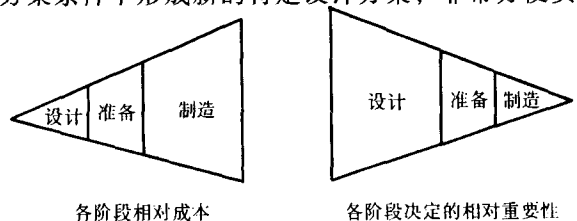


图 1-3 产品设计的成本及决定作用

turing System, 简称 CIMS) 等技术的采用准备了完备的信息, 奠定了良好的基础。

正是由于上述优点, 计算机辅助设计从 20 世纪 70 年代实用化开始, 短短 20 多年时间, 在全球范围、各个行业内得以迅速发展。正如美国国家科学基金会指出的: CAD 对直接提高生产率比电气化以来的任何发展都具有更大的潜力。

第二节 计算机辅助设计在材料加工中的应用

材料加工成形技术 (Materials Processing Technology) 是铸造、连接、塑性加工、热处理及表面改性、粉末冶金等单元或复合成形技术的总称, 在国民经济中占有重要地位。据统计, 全世界约有 75% 的钢材要经过塑性加工, 45% 的钢材采用焊接技术得以成形, 而铸造产品在各行各业的应用更是非常普遍。因此, 将计算机辅助设计技术应用到材料加工成形领域, 提高材料加工的设计水平, 具有重要的意义。

材料加工 CAD 技术是传统材料加工技术与计算机技术、控制技术、信息处理技术等相结合的产物, 是材料加工行业技术进步的标志。具体说来, 材料加工 CAD 又可分为铸造成形 CAD、塑性成形 CAD、焊接成形 CAD、注射成型 CAD 以及模具 CAD 等几个方面:

(1) 铸造成形 CAD 包括铸造工艺 CAD 以及铸造工装 (模具/模板) CAD。前者的主要功能有铸造浇注系统设计, 冒口补缩系统设计, 冷铁的设计, 砂芯的设计, 铸造分型面的确定, 加工余量的确定, 起模斜度的确定, 开放浇注系统库、冒口库、冷铁库、芯头库的建立, 工艺图的标注与打印等, 可以实现铸造工艺的快速准确设计。另外, 基于有限分析 (包括有限元及有限差分技术) 的优化技术在 CAD 系统配套使用, 例如充型过程模拟、凝固过程模拟、应力应变分析、微观组织模拟等, 为制定合理的铸造工艺起到了有力的指导作用。

(2) 塑性成形 CAD 包括冷冲模、冲裁模、弯曲模、拉伸模以及锻造模设计 CAD。例如美国的 Diecomp 公司开发的计算机辅助级进模设计系统 PDDC, 可以完成冷冲模设计的全过程, 包括从输入产品和技术条件开始设计出最佳样图, 确定操作顺序、步距、空位、总工位数, 绘制带料排样图, 输出模具装配图和零件图等, 比传统设计提高功效 8 倍以上。在优化设计方面, 利用有限元技术的应力应变分析在塑性成形 CAD 中已获得较为普遍应用。

(3) 焊接成形 CAD 包括焊接材料的选择, 保护气体的选择, 焊接工艺制定, 焊接工艺优化, 缺陷分析与诊断, 焊接过程传热分析、流动模拟、应力分析及组织模拟。

(4) 注射成型 CAD 包括产品图与模具型腔图的尺寸转换、标准模架与典

型结构的生成、模具零件图和总装图的生成、模具刚度与强度校核、设计进程管理、模具成本分析与计算等。注射模工艺分析已有成熟的商品化软件，可以预测注射成型流动和保压阶段的压力场、温度场、应力应变场和凝固层的生成，从而有效地指导实际生产。

随着计算机及相关技术的飞速发展，CAD 在材料加工领域的应用范围将不断扩大，各个专业领域的 CAD 功能也将愈发强大。可以预计，计算机辅助设计技术将以更快的速度有力地推动材料加工行业迈向新世纪。

第三节 计算机辅助设计发展历史

计算机辅助设计的起源可追溯到 20 世纪 50 年代中期，美国麻省理工学院 (Massachusetts Institute of Technology) 开始实施数控自动编程系统 APT (Automatically Programmed Tools) 的开发计划，设想将设计图样直接转换成数控 (NC) 纸带。虽然这个计划由于种种原因在当时未能完全实现，但却促进了与此同时出现的计算机绘图的发展。

1959 年 12 月在 MIT 召开的一次计划会议上，明确提出了 CAD 概念，对以后 CAD 的发展起到了很大作用，所以有人将此会议作为 CAD 发展的起点。

1963 年发生了两件对 CAD 发展影响巨大的事件：第一件是年仅 24 岁的 MIT 研究生 I. E. 萨瑟兰德 (I. E. Sutherland) 在美国计算机联合会年会上宣读了题为《SKETCHPAD——人机交互系统》的论文，文中提出了对 CAD 的大胆设想：设计师坐在 CRT 的工作台前，用光笔操作，通过人机对话的方式，实现从概念设计到技术设计、制造整个过程。在此过程中，人们是以图形为媒介，不仅有图形输出，也能直接输入图形，并且设计者可随意对图形进行增、删、改等编辑。此外，文中还提出了一个计算机仿真的例子。尽管这些设想由于受三维图形处理困难、缺乏模型概念、数据库技术未成熟等条件限制而未能完全实现，但文中提出的 CAD 设想，极大地震动了讲求实效的工程界，一直鼓舞着人们朝这个方向努力。第二件是美国通用汽车公司 (GM) 和 IBM 公司开发成功了用于汽车前窗玻璃线型设计的 DAC-1 系统，这是 CAD 最早用于具体对象的系统。由于这两件事情意义重大，故也有不少人将 1963 年作为 CAD 的起点。从此之后，CAD 在世界范围内迅速而全面地得到发展。

70 年代后期，CAD/CAM 进入初期实用阶段。到 1981 年止，西欧各国安装 CAD/CAM 系统共 2400 套，其中机械工业占 35%；日本安装 600 套 CAD/CAM 系统，机械工业占 30%；仅美国一个国家就有 1500 个 CAD 工作站，其中洛克希德·加利福尼亚飞机公司开发了一套叫做 CADAM 的系统，设计一架新战斗机，将外形变成模线，只花 4h，提高效率 500 倍。

80年代,世界科学技术迅猛发展,超大规模集成电路(VLSI)的出现使计算机成本大幅度下降,计算机硬件和软件产品的功能都达到了新的水平,加之价格大大降低,使CAD系统的硬件配置和软件开发适应于中、小型企业的承受能力,打破了CAD技术被大型企业垄断的局面。据有关资料统计,当时西方工业发达国家中安装CAD/CAM系统的用户,每年以30%的速度增长。据1982年一年的统计,全世界范围内就有一百多家新成立的CAD公司。特别是CAD技术在个人计算机实现以来,CAD技术市场得以开辟和发展。1983年,美国Tand公司、BG图形公司和个人CAD公司分别推出Versa CAD、Drawing Processor和CAD Plan三个通用的微机CAD系统。Autodesk公司自1982年推出微机辅助设计与绘图软件包AutoCAD以来多次更新版本,改善功能,在世界范围内有较大影响。美国康州微控系统公司(Micro Control Systems Inc)开发了微机真三维图形软件包——CADKEY,以工程设计为主要目标,能实现三维物体的生成、自动生成工程设计图的投影视图,并能与有限元软件接口进行应力分析。

90年代,随着现代先进设计与制造技术的大量涌现,CAD作为基础与前提,正与各种先进设计与制造技术迅速集成、飞速发展,已直接关系到国家在国际上的地位,关系到国民经济的发展,在整个社会的进步中日益感受到其巨大的推动力。

综上所述,CAD从出现至今的整个发展过程,可大致划分为表1-2所示的五个阶段。

表 1-2 CAD 发展过程

阶 段	时 间	特 点
初始准备阶段	50年代	提出CAD的设想,为CAD应用进行硬件和软件方面的准备
研制试验阶段	60年代	研制成功试验性CAD系统,其中有代表性的是IBM公司和GM公司开发的汽车前窗玻璃线型设计DAC-1系统,美国贝尔电话实验室用于印制电路设计的CAD系统
技术商品化阶段	70年代	CAD开始实用化,从二维的电路设计发展到三维的飞机、汽车、造船等设计,出现了许多开发CAD系统的公司,如CV、Intergraph、Calma、Applicon、IBM、CDC等
高速发展阶段	80年代	由于解决了三维几何造型、仿真等问题,应用范围不断扩大,大中型系统向微型化发展,出现了IBM PC/X T、A T等应用极广的微机及32位超级微机上的CAD系统
集成化阶段	90年代	向集成化、智能化方向发展

第四节 计算机辅助设计展望

当今世界竞争越来越激烈，企业要赢得竞争，就要以市场为中心、以用户为中心，快速地响应市场的需要、快速地满足用户的需要。因此，如何在最短的时间内设计出最优的产品并且具有最低的成本和价格，是计算机辅助设计技术要解决的现实问题，也就决定 CAD 技术发展的方向和趋势。特别是随着计算机、Internet 及相关技术的飞速进步，使计算机辅助设计呈现出集成化、智能化、网络化和绿色化的发展趋势：

(1) 集成化 以特征三维造型为基础的 CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成是未来产品设计开发的主要模式。尤其是进一步与快速原型制造 (RPM) 的集成，可以构成一个闭环快速产品开发系统，在并行工程 (CE) 环境下，能够对产品设计进行快速评价、修改，以响应市场大规模客户化生产的需要，提高企业的竞争力。

更高层次的集成，CAD 将同其他的先进分析、制造、规划、管理技术一起成为计算机集成制造系统 (CIMS) 的重要组成部分，并且将是 CIMS 的核心与基础。

(2) 智能化 智能化即希望能以更接近自然，即更接近人类思维表达的方式建模、仿真和制造。利用虚拟现实 (Virtual Reality, 简称 VR) 技术、人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI) 技术，实现人机一体的智能设计。

(3) 网络化或协同化 形成信息高速公路 (Information Highway) 互联的协同 CAD，实现计算机支持协同工作 (Computer Supported Cooperative Work, 简称 CSCW)，达到远程 (异地) 设计 (Remote Design) 的目的，从而最大程度地充分发挥不同单位、区域、国家的各自优势，多快好省地进行产品设计。

(4) 绿色化 绿色化已成为全球不可抗拒的潮流，是人类可持续发展的核心内容之一。绿色设计技术，在以集成、并行的方式设计产品及其相关过程的同时，优化设计方案，减少废品率，使整个生产过程对环境造成的污染程度降低到最小，资源的利用率达到最高。

第二章 计算机辅助设计技术基础

第一节 计算机辅助设计系统的组成与分类

一、计算机辅助设计系统组成

(一) 计算机辅助设计系统的硬件组成

计算机辅助设计系统的硬件配置是比较灵活的，根据用途和经济实力，可以自由地选配。硬件系统主要由图 2-1 所示的几部分组成，包括：

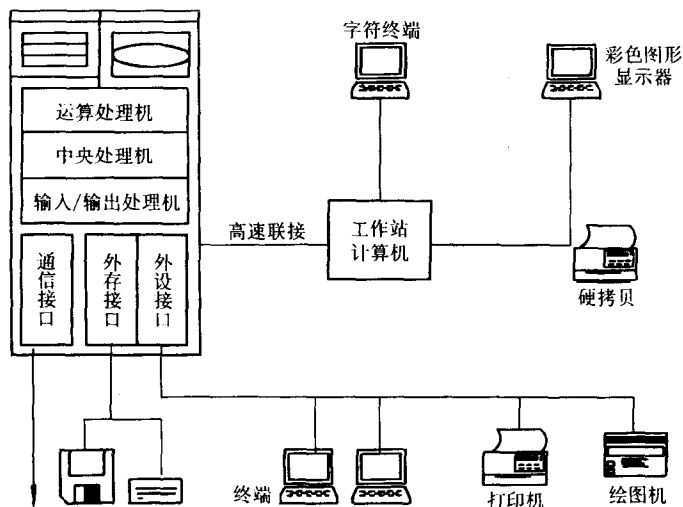


图 2-1 计算机辅助设计系统硬件组成

(1) 计算机主机 计算机主机又称中央处理机，由运算器、控制器和主存储器（内存）组成。运算器负责执行指令所规定的算术和逻辑运算；控制器负责解释指令、控制指令的执行顺序、访问存储器等；内存用来存放指令和数据。

(2) 外存储器 外存储器与内存的区别在于它是设置在计算机主机之外。与内存相比，其容量大，存取速度较慢。CAD 系统需要存储的信息量很大，仅有内存是远远不够的，故一般要设置外存储器来存放暂时不用的程序和数据，既可作为对内存容量不足的一种补充，又可起到永久性存储的作用。外部存储器中常见的有磁带、磁盘（软盘、硬盘）、光盘等。

(3) 输入设备 主要的作用是把外界信息输送到计算机中，供计算机运算和

处理。常用的有：键盘，图形输入设备，如鼠标器（mouse）、图形输入板（tablet）、光笔（lightpen）、数字化仪（digitizer）等。

(4) 输出设备 主要的作用是把计算机产生的信息以不同的方式予以输出，供实际需要。计算机辅助设计系统的常用输出设备有显示器、打印机和绘图仪等。

(5) 网络 包括局域网和因特网，可以将多个不同硬件，甚至不同区域的硬件系统联系在一起，实现资源共享以及异地网络化设计。

(二) 计算机辅助设计系统的硬件要求

与一般计算机硬件系统相比，应用于 CAD 的硬件系统有如下的要求：

(1) 性能要求较高的图形输入、输出设备 如前所述，计算机辅助设计是以各种数字化的图形来表达设计方案，言下之意，CAD 系统对图形输入、输出设备的性能要求较高。一方面要有较全面的输入、输出手段；另一方面，对这些设备的传输速度、精度、色彩性能要求较高。诸如产品的几何模型的建立，三维模型的实时旋转、缩放、剖切，复杂模型的渲染、消隐，各种图形文件的输出等工作，都对相应的设备有较高的要求。一些先进的 CAD 软件往往对计算机硬件系统有特殊的要求，如分辨率较高、真彩色、大尺寸的图形显示器，加快图形处理速度的图形加速卡，高分辨率、大幅面的彩色绘图仪等。

(2) 较高的运行速度 随着技术的进步，CAD 软件愈发庞大，功能日趋强大，其背景是大量的复杂的数学计算分析。为了达到实际生产的要求，与 CAD 软件系统配套的硬件应具有较高的运行速度。如上所述的复杂三维模型的各种变换、消隐、渲染，应力、应变分析，流动、传热分析，装配、干涉检查等，均需要很高的硬件运行速度。

(3) 足够的外部存储空间 设计过程中产生大量的图形、图像、技术文件，各种有限元、有限差分优化分析结果，各种图形库、数据库和配套的应用软件，将占据相当大的外部存储空间。特别是基于有限元、有限差分技术分析优化过程，会产生惊人的数据量，毫无疑问，对硬件将提出较高的要求。

(4) 较好的网络性能 复杂的设计工作往往需要团队作战，不同的人、部门可能在不同的地点区域在同时为一项设计任务而工作。这种情形下协同作战的基本要求之一就是要有高性能的网络系统，包括网络系统的速度、稳定性、安全性等。特别是基于因特网（Internet）的计算机支持协同工作（CSCW），远程、异地的设计，对网络的要求更为苛刻。

(三) 计算机辅助设计系统的软件组成

CAD 系统在其硬件确定以后，仅仅是为 CAD 作业过程提供了基本的工具，要实现 CAD 的作业过程，还必须配备相应的软件。CAD 系统软件的内容按其内涵可分为：操作系统、支撑软件、数据库和应用软件四个部分。

(1) 操作系统 (Operating System) CAD 系统中的各种硬件的工作速度有快有慢, 很不一致, 为了协调这些设备的工作速度和减少它们的闲置时间, 提高工作效率, 通常采用多道程序技术。为满足这一要求, 必须专门编制一个规模较大的, 能协调并调度所有设备及多个应用程序高效运行的程序, 且需事先将其存入计算机。该程序在整个计算机系统的工作中起总指挥和总调度的作用, 使各设备能在它的统一安排下按时完成自己的任务, 这个程序就是操作系统。

计算机操作系统常具有下述功能:

1) 管理中央处理 CPU 的功能。在多终端的计算机网络中, CPU 可以在操作系统的控制下, 按照规定的原则和一定的顺序, 轮流地有条不紊地为各用户服务, 实现多个程序的同时运行。

2) 管理存储器的功能。程序只有进入内存存储器之后才能被 CPU 执行。但与外存相比, 内存的容量是较小的, 多个程序不能同时都存入内存。为了解决这一问题, 操作系统能自动根据用户的指令将所需的程序迅速调入内存并分配以适当地址, 这样用户使用时就可不考虑所编程序在内存中的实际地址, 为编程带来了莫大方便, 同时也达到了充分利用内存的目的。

3) 管理外围设备功能。计算机的外围设备均在 CPU 的直接控制下工作。但这些设备的起动命令比较复杂, 如果由用户编制程序来实现就很费时间。操作系统能对外围设备的输入、输出动作进行统一的管理, 用户只需给出简单指令就可以了。

4) 管理文件的功能。在计算机系统中, 外存储器的容量很大, 能够存放许多程序和大量数据, 这些程序和数据统称为文件。为便于用户调用文件和充分利用外存空间, 操作系统通过其文件管理程序对文件实现统一的管理。用户只要给出简单的信息, 便能调用他所需的文件, 不必了解该文件在外存中的实际地址。

5) 网络通信功能。如网络内各个站点间程序、文件和数据的传输, 一台计算机的进程调用另一台计算机硬盘的数据, 网络的资源共享等。

除上述功能之外, 操作系统大多包含若干为用户开发应用软件服务的特定功能程序, 如语言处理程序、编辑程序和实用程序等。总之, 操作系统是计算机中不可缺少的软件, 它能全面地控制和管理计算机系统的硬件和软件, 帮助用户方便而有效地使用。

不同计算机的操作系统往往是不相同的, 例如 IBM-PC 的操作系统是 MS-DOS, APPLE-II 的操作系统是 APPLE DISKII 系统, IBM 公司的 PS/2 个人计算机的操作系统为 OS/2 (由 Microsoft 开发), 用于小型机的 UNIX 操作系统等。目前比较流行的操作系统为 Microsoft 公司的 Windows 98、Windows NT 以及 Windows 2000 等。

(2) 支撑软件 (Support Software) 从功能上看, 该类软件介于系统软件

与应用软件之间，它是一类带有一定专门性而又具有普遍性的工具软件。若使用该类药物，则应用软件的编制就要方便和快速得多。现今人们在 CAD 绘图中广泛使用的 AutoCAD 绘图软件就属于该类软件。

用于 CAD 系统的图形支撑系统一般应具有如下主要功能：

1) 计算机图形处理。计算机图形是借助于计算机，通过程序和算法在图形显示和绘图设备上生成图形，并按给定的指令来改变其内容的数据处理方式。在计算机辅助设计系统中，图形处理是通过人-机交互进行的，操作者通知计算机欲对图形进行何种处理，计算机中的支撑软件就会根据指令自动进行准确的处理，并将处理结果显示出来。先进的图形支撑软件系统都具有人-机界面友好的特点，提供动态导航的智能化菜单，使用户操作更为简单。

2) 三维产品建模。一般的工程设计都是三维空间的求解问题。设计者在进行概念设计时，大脑中的设想也是三维形体。因此，一个先进的计算机辅助设计系统应具备三维建模功能。三维实体造型是产品造型的基础，涉及的问题比较广泛，如形体的定义，集合运算，模型的消隐、着色、渲染，实时动态的旋转、剖切、缩放，基于特征的尺寸驱动参数化和变量化设计的建模功能，数据结构与数据库处理等一系列问题。

采用三维产品建模，可以自动计算物体的体积、重量、重心、转动惯量、表面积等参数；可以产生用于有限元和有限差分的三维网格；可以在计算机里进行装配、安装工作，自动检查干涉情况；可以为 CAM、CAPP、RPM、CAE 提供完整的必需的信息。因此，三维建模是衡量计算机辅助设计系统的性能的一个关键标准，强大的三维造型功能是先进 CAD 系统的基础与关键。

3) 有限元建模与分析。有限元建模与分析技术被广泛地应用到产品和零件结构分析以及产品性能的模拟仿真分析。目前，有限元分析技术比较成熟，已达到实用程度。一些大型的三维 CAD 系统，如 PRO/E、UG、I-DEAS、CATIA 等均自身集成了有限元分析模块。对于一些中低档的 CAD 系统（如 Solidworks、MDT、Solidedge 等），一般可以考虑采用这些 CAD 系统建模，利用数据交换文件与商品化的有限元分析系统接口。市场上商品化的有限元分析系统较多，如 ANSYS、MARC、NASTRAN 和 SAP 等等，选择时主要考虑被设计产品对分析计算的要求。

4) 机构运动分析。一般说来，机构运动分析由三部分组成，包括前置处理、模拟分析和后置处理。前置处理应具有交互式的、面向图形的、用于建立运动学/动力学分析模型的功能。模拟分析模块往往都具有静力平衡、运动学、动力学、装配等多种分析方法。后置处理能以静态或动态形式显示运动的包络图，在运动中可随时进行干涉检查。在机械工程中，目前大型的复杂的运动分析和动力分析大多选用 ADAMS（机械系统自动动力分析）软件。