



普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

现代计算机 辅助设计基础

杨晓红 主 编
康文利 杨化动 王进峰 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

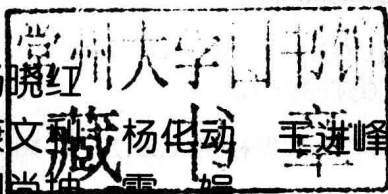


普通高等教育“十二五”规划教材
机械类专业系列教材

现代计算机 辅助设计基础

主 编
副主编
编 写
主 审

杨晓红
康文利
刘尚坤
王藏柱



主 审
章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。全书共分为 8 章，主要包括：计算机辅助设计概述、CAD 系统、工程数据的处理技术、机械 CAD 中常用的数据结构、图形变换、二维几何建模、三维产品建模技术、产品数据交换技术。

本书系统地介绍了计算机辅助设计在产品中的应用与开发技术，旨在使读者掌握 CAD 技术的基本概念、原理和方法，为从事 CAD 技术研究与应用打下良好的基础。

本书可作为普通高等院校机械制造及其自动化专业的教材，也可供从事 CAD 应用的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代计算机辅助设计基础 / 杨晓红主编. —北京：中国电力出版社，2012.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3306-2

I. ①现… II. ①杨… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 162701 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 254 千字

定价 19.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

计算机辅助设计 (CAD) 是指应用计算机系统, 协助工程技术人员对产品或工程进行设计的方法与技术, 包括设计、绘图、工程分析、文档制作等设计活动, 是一种新的设计方法, 也是多学科综合的一门新技术。

CAD 技术是计算机在工程技术领域中最有影响的应用技术之一, 曾被美国国家工程科学院评为当代十项最杰出的工程技术成就之一。CAD 技术的发展和水平已成为衡量一个国家工业现代化的重要标志, 在一定程度上反映出一个国家的综合实力。

在我国, 通过“七五”和“八五”期间坚持不懈地科技攻关, 特别是自 1995 年以来, 机械行业相继开展的“CAD 应用 1215 工程”和“CAD 应用 1550 工程”, 使我国 CAD 技术在理论与算法研究、硬件设备生产、支撑软件的开发与商品化、专业应用软件系统的研制与应用以及在人才培养与技术普及等方面均取得了丰硕的成果。

尽管我国 CAD 技术的应用取得了一些成绩, 但与世界发达国家相比仍有较大的差距。我国各企业 CAD 技术应用水平参差不齐, 对于中、小企业的 CAD 技术应用水平是建立以“甩掉图板”为目标的计算机辅助绘图与设计系统, 应用国外或国内开发的一些计算机绘图软件。用计算机绘图来代替传统手工绘图, 仅是低层次的 CAD 技术应用。部分企业在实现了“甩图板”工程之后, 为了能利用 CAD 技术获取更大的经济效益, 建立以资源共享、权限控制为目标的产品信息管理系统。除了要“甩图板”, 还要“甩图纸”, 甩掉纸介质的图纸文档, 并且在企业中实现设计生产和管理信息的集成。

为了进一步推广并应用 CAD 技术, 培养 CAD 相关技术人才, 本书系统地介绍了计算机辅助设计在产品中的应用与开发技术, 旨在使读者掌握 CAD 技术的基本概念、原理和方法, 为将来从事 CAD 技术研究与应用打下良好的基础。

本书由华北电力大学组织编写, 由杨晓红主编, 康文利、杨化动、王进峰副主编, 参加编写的有刘尚坤、霍娟。

本书由华北电力大学王藏柱教授主审, 主审老师提出了许多宝贵的意见和建议, 在此深表感谢。

本书在编写过程中, 深入一些企业、科研院所进行了调研, 得到了许多同行专家、学者的支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

编 者

2012 年 7 月

目 录

前言

1 计算机辅助设计概述	1
1.1 CAD 的发展历程	1
1.2 CAD 基本概念和特点	2
1.3 现代 CAD 系统提供的辅助功能	4
1.4 CAD 的推广和应用	6
1.5 CAD 未来的发展方向	6
习题	8
2 CAD 系统	9
2.1 CAD 系统的组成和分类	9
2.2 CAD 系统的硬件	10
2.3 CAD 系统的软件	16
2.4 CAD 系统软/硬件的选用原则	20
习题	21
3 工程数据的处理技术	22
3.1 工程数据的程序化处理	22
3.2 工程数据的文件化处理	36
3.3 工程数据的数据库管理	40
习题	55
4 机械 CAD 中常用的数据结构	57
4.1 数据结构的概念	57
4.2 线性表	59
4.3 栈	67
4.4 树和二叉树	71
习题	77
5 图形变换	78
5.1 图形变换的方法	78
5.2 二维图形的几何变换	78
5.3 三维图形的变换	87
5.4 三维图形的投影变换	93
习题	96
6 二维几何建模	97
6.1 交互式几何建模	97
6.2 AutoLISP 语言	99

6.3	参数化几何建模	111
6.4	形状特征拼合法几何建模	117
	习题	123
7	三维产品建模技术	124
7.1	三维几何造型技术	124
7.2	特征建模技术	133
7.3	参数化与变量化设计技术	138
	习题	140
8	产品数据交换技术	142
8.1	DXF 文件格式	142
8.2	IGES 文件的图形数据交换	151
8.3	STEP 标准	154
8.4	其他格式的数据交换	160
	习题	161
	参考文献	162

1 计算机辅助设计概述

1.1 CAD 的发展历程

计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 是从 20 世纪 50 年代开始, 随着计算机技术及其外围设备的发展而形成的一门新兴学科, 在工程技术领域中有着广泛的应用。

20 世纪 50 年代是 CAD 技术的准备和酝酿阶段, 其中美国麻省理工学院 (MIT) 在计算机辅助设计方面做出了开拓性的工作。1950 年美国麻省理工学院研制成功“旋风 1 号”图形显示器, 虽然它只能显示极为粗糙的图形, 与示波器没有太大的差别, 但它标志着计算机辅助设计技术的开始。1958 年, Calcomp 公司研制出了滚筒式绘图机, Gerber 公司研制出了平板绘图仪; 1959 年 MIT 将 CAD 正式列为研究项目进行研究等。这时期硬件的特点是开始具有一定的图形输出能力。从整体上说, 计算机硬件水平较低, 处于电子管水平, 主要用于科学计算, 开发人员主要用机器语言编程, 图形的处理只能输出不能输入。

20 世纪 60 年代是 CAD 技术的成长发展阶段。在此阶段, 晶体管取代了真空电子管, 且在后期出现了直接存取存储器, 研制成功了阴极射线管显示器等。这些硬件的出现和发展, 为 CAD 的发展奠定了坚实的物质基础; 相应的计算机软件水平也得到大幅提高, 产生并发展了多种计算机语言, 如在计算机语言中占据重要地位的 FORTRAN 语言就是在这个时期发展和完善的。

1963 年春, 在美国计算机联合会的年会上, MIT 的研究小组发表了有关 CAD 项目的五篇论文, 给工程界以巨大的震动, 其中在 24 岁的博士研究生 I.E.Sutherland 发表的“SKETCH—PAD 一种人机对话系统”论文中, 介绍了这个系统能在 10~15min 内完成通常需要几周时间才能完成的工作。当时, MIT 研究小组的报告对 CAD 作了这样的设想: 设计者坐在 CRT 控制台前, 通过光笔操作, 进行人机对话, 实现从概念设计到生产设计乃至制造的全过程。它还提出了用不同的层来表示某一工程图的轮廓、剖面线和尺寸。这个系统为交互式图形学和计算机辅助绘图技术打下了理论基础。这在当时看来, 带有一些神奇色彩, 但它震动了追求实效的工程界。

汽车工业对计算机辅助设计技术的发明率先做出了响应。美国通用汽车公司和 IBM 公司率先开发了 DAC—1 (design augmented by computer) 系统, 用来设计汽车外形与结构; 美国洛克希德 (Lockheed) 公司和 IBM 公司联合开发了基于大型计算机的图形增强设计与制造软件包 CADAM, 并用于设计与绘图, 并具有三维结构设计能力。随后计算机辅助绘图、设计、制造和分析技术在英、日、意等国的汽车公司也都获得了广泛的应用, 并逐渐扩展到其他部门。

20 世纪 70 年代是 CAD 技术的实用化期。这一时期计算机硬件从集成电路发展成为大规模集成电路, 相继出现了 32 位小型计算机和微型计算机。基于小型机的 CAD 成套系统 (turnkey system) 研制成功, 它包括图形输入输出设备和相应的应用软件, 也就是说软硬件配套使用。在此期间, 各研究部门为 CAD 开发了大量的图形软件包和以有限元为基础的各种强度运算软件包。专业的 CAD 系统公司和专门开发 CAD 软件的软件公司相继出现, 并有一

系列的 CAD 产品投入市场。

20 世纪 80 年代是 CAD 技术迅速发展的时期,特别是小型计算机和微型计算机性能的不
断提高,价格的不断下降,计算机外围设备,如高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动
绘图仪等,这些品种齐全的图形处理装置已逐步形成质量可靠的系列产品,并已成为 CAD
的常用配置,为推动 CAD 技术向更高水平发展提供了必要条件。在此期间,适用于小型机、
微机的软件技术也迅速提高,发展了数据库技术,开发出大量图形软件,以及与现代设计方
法相适应的各种软件(如有限元结构分析软件、优化设计软件等)。大量成熟的商品化软件不
断涌现,又促进了 CAD 技术的应用和发展。

从 20 世纪 90 年代至今是 CAD 技术普及、完善并向更高水平发展的时期。随着个人计
算机(PC)的飞速发展,其性能赶上了 10 年前高级工作站的性能。由于个人计算机价格低、
使用方便,以个人计算机为硬件平台的计算机辅助绘图、设计、制造、分析系统迅速崛起,
市场逐步扩大。现在个人计算机已成为计算机辅助设计的主流机型。

计算机技术为机械工业带来了革命性的改变,反过来其在机械工业中的应用也推动了计
算机技术的迅速发展。新设备、新操作系统、新软件、新数据交换标准,正在迅速扩大计
算机在工业中的应用范围,掀起一场新技术革命的浪潮,CAD 技术也成为 21 世纪全球最杰出
的工程技术成果之一。

1.2 CAD 基本概念和特点

1.2.1 产品开发的过程

在讨论 CAD 概念之前,首先要对产品开发过程有所了解。产品开发过程可概括为以下
几个阶段。

1. 概念设计

在这一阶段,通过调查研究、资料收集,根据市场或社会的需求确定产品功能和市场定
位,构思设计方案,以满足社会客观的需求。

2. 初步设计

在满足设计要求的条件下,由设计人员构思多种可行性方案,并以方案图和原理图方式
来表达。经过对各方案的比较和筛选,从可行性方案中优选出一个功能满足要求、工作原理
可靠、结构设计可行、成本低廉的方案。

3. 详细设计

详细设计阶段需要确定设计对象的细部结构,完成总布置图和零部件图,并编写相应的
技术文档。

4. 制造加工及试验

按照设计要求完成零、部件的加工制造及产品装配,并进行样机试验或生产现场试用,
将加工、试验过程中发现的问题及时反馈给设计人员,作为进一步修改的依据。

上述设计过程如图 1-1 所示,由图中产品开发流程可见,产品开发是一个“设计—评
价—再设计”的反复迭代的优化过程。采用人工设计时,其设计周期长。因此,在商品竞争
激烈的市场经济条件下,使设计方法和设计手段科学化、系统化、现代化是十分必要的。应
用计算机辅助设计是实现设计自动化、现代化的重要途径之一。

1.2.2 CAD 的基本概念

计算机辅助设计是指应用计算机系统, 协助工程技术人员对产品或工程进行设计的方法与技术, 包括设计、绘图、工程分析、文档制作等活动, 是一种新的设计方法, 也是多学科综合的一门新技术。

计算机辅助设计系统是指进行 CAD 作业时, 所需硬件及软件两大部分的集合。一个完整 CAD 系统的硬件部分应包括主机、图形输入设备、图形显示器、自动绘图仪等设备。它与一般计算机系统的区别, 主要在于 CAD 系统备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, 亦即具有较强的图形处理能力。

从方法学的角度来分析, CAD 是以计算机为工具协助设计人员完成产品设计的全过程。在设计过程中, 计算机辅助设计是将计算机的海量数据存储和高速信息加工处理能力与设计人员的创造性思维和综合分析能力有机地结合起来, 充分发挥设计人员和计算机各自的特长。

从技术角度来分析, CAD 技术将产品的物理模型转化为存储于计算机中的数字化模型, 为后续的工艺编制、加工制造及管理等环节提供数据共享。

现在 CAD 技术的内涵已不仅限于自动绘图或三维建模, 已成为一种广义的、综合的设计新技术, 它以下列技术为支撑:

(1) 图形处理技术。如二维交互图形技术、三维几何造型技术及图形输入输出技术。

(2) 工程分析技术。主要包括产品的常规设计和优化设计、有限元分析、可靠性分析、动态分析、物理特性计算等工程分析。

(3) 数据管理、数据交换技术。如产品数据管理、数据库技术、异构系统间的数据交换和接口技术等。

(4) 界面开发技术。如图形用户界面、网络用户界面等。

(5) 基于 Web 的网络应用和开发技术等。

产品开发设计是一种过程, 而该过程是由一系列的设计活动所组成。当前产品开发设计中的大部分设计活动都可以用 CAD 技术来实现, 但也有一部分设计活动在现阶段比较难以实现。不过, 随着 CAD 技术的飞速发展, 越来越多的设计活动都可以用 CAD 工具加以实现, 因此, CAD 技术的覆盖面越来越宽, 甚至整个设计过程就是 CAD 过程。

现在的 CAD 过程通常与计算机辅助工艺规程编制 (CAPP) 和计算机辅助制造 (CAM) 结合在一起, 形成 CAD/CAM 集成系统。

1.2.3 CAD 的特点

CAD 技术取得如此迅猛的发展, 是因为将 CAD 技术应用于工程实际可获得巨大的经济效益。日本某金属模具制造厂在进行某项产品生产时, 引入 CAD 前后所花费的时间对比, 见表 1-1。

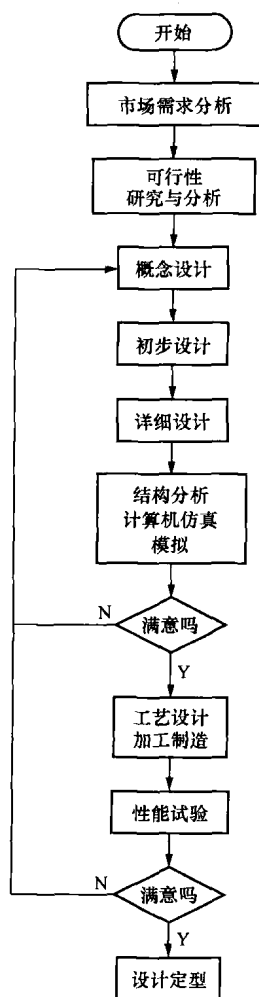


图 1-1 产品开发流程图

表 1-1 引入 CAD 前后所花费的时间对比

项 目	引入 CAD 前 (h)	引入 CAD 后 (h)	两者之比
资料调查	34	17	2 : 1
设计	29	9.7	3 : 1
绘图	107	5.3	20 : 1
制作加工数控纸带	42	3	14 : 1
合计	212	35	6 : 1

由表 1-1 可看出,应用 CAD 技术对缩短新产品的设计与制造周期有明显效果。

根据统计资料表明,CAD 可使机械产品的设计周期缩短 65%~80%,工艺周期缩短 80%~90%,降低基建费用 10%~30%,改善经济技术指标 10%~25%。

经过多年的实践,证明 CAD 有以下优点:

(1) 提高设计效率,缩短产品开发周期。由于计算机的运算速度和数据查询速度快,采用 CAD 技术后能显著地减少计算、绘图和资料检索时间,明显提高设计速度,加速设计过程,使新产品能早日投入市场。

(2) 提高产品设计质量。在 CAD 中,由于计算精度高、便于进行优化设计和有限元分析等计算,设计结果更为准确可靠,使设计人员在设计阶段就可以预估产品的性能。同时由于大量繁杂、简单重复的劳动可由计算机完成,因而设计人员能充分发挥人类的创造性思维优势,设计出高质量的产品。

(3) 降低生产成本。采用 CAD 技术能够缩短产品设计、加工和装配的时间,减少废品,降低库存,能够显著节约企业生产成本。

(4) 企业各部门之间的信息交流迅速可靠。在传统设计中,图纸作为产品设计表达的载体,在企业各部门之间传递需要花费较多的时间,影响了各部门间的信息交流。而在 CAD 系统中,产品设计信息可通过数字化信息来存储和传递,因此信息的交流快捷而可靠。

(5) 提高企业管理水平。CAD 系统所生成的设计结果是数字化信息,易于保存和检索。通过在企业中建立内部网,利用产品数据管理技术实现全局管理,提高企业管理水平。

1.3 现代 CAD 系统提供的辅助功能

现代 CAD 系统为产品设计开发提供了全方位的解决方案和辅助手段,用于产品生产的各个方面。下面介绍现代 CAD 系统的一些主要功能。

1.3.1 参数化和变量化设计

在设计过程中,许多零部件的形状是相同的,只是尺寸大小不一,即零部件的拓扑关系不变,而大小发生改变。利用参数化和变量化设计工具可灵活方便地改变某些零部件的尺寸,得到新的设计。

1.3.2 零件造型

零件造型是指在计算机中建立零件的三维实体模型。利用各种实体造型,系统工程设计人员可根据自己的设想将零件从计算机中逐步“制作”出来,并在计算机上得到逼真的效果,使得设计人员可从各个角度观察具有真实感的零件造型。如果对模型不满意,可立即修改零件造

型。零件造型能够准确表达零件的形状、尺寸、色泽、体积、重心、表面信息、材料信息等,便于设计者进行设计和分析。先进的 CAD 系统都提供参数化基于特征的实体造型方法。

1.3.3 曲面造型

曲面造型提供在计算机中生成、编辑自由曲线和曲面的方法。现代汽车、飞机、家电、船舶等产品的设计都要用到复杂的曲线和曲面,以实现产品外形设计的美观和物理性能的优化。利用现代 CAD 系统提供的曲面造型功能比传统的石膏造型更为快捷、精确,且效果更好。曲面造型完成后,可直接送到零件造型模块中进行零件设计,也可送到分析系统中分析其流体动力特性。

1.3.4 虚拟装配

虚拟装配能够模拟实际的装配过程,完成产品装配。通过虚拟装配可发现因设计不当在实际装配中可能出现的问题,如间隙过小或过大、零件之间的干涉等。虚拟装配还能够提供产品的外观效果图及反映装配关系的爆炸图。

1.3.5 工程绘图功能

大型 CAD 系统均具备生成工程图的强大能力,即能够生成符合标准的工程图纸。现代 CAD 系统能根据零件和虚拟装配的结果自动生成投影图、辅助图、剖面图、局部视图和自动标注尺寸,并且工程图与产品模型完全相关。如果改变了工程图中的尺寸,相关零件模型中的尺寸也会相应改变;反之,如果改变了相关零件模型中的尺寸,则工程图中的对应尺寸也会随之改变,这样保证了设计修改的快速性和一致性。

1.3.6 数据交换功能

数据交换功能主要应用于不同设计自动化系统之间,起到它们之间各种标准数据交换媒介功能。数据交换使得利用不同 CAD 系统的优势,共同协作完成同一产品的开发成为可能。其主要交换标准有 IGES (initial graphics exchange specification), STEP (standard for the exchange of product model data), DXF (drawing exchange format) 等。

1.3.7 二次开发

随着计算机技术的不断进步,现代 CAD 系统的功能也越来越强大。尽管如此,由于 CAD 系统开发是以普通用户的通用要求为目的的,不能向特殊用户提供各种具体产品完善的解决方案。但是作为 CAD 系统的开发者必须考虑到用户的这种特殊需求,因此二次开发是 CAD 系统向用户提供的开发工具,提供此工具的目的是让用户可以将自己或者第三方编写的程序集成到 CAD 系统中。

1.3.8 有限元分析

有限元分析法是对复杂工程进行结构分析的一种重要手段。正是由于计算机快速的数值计算能力,有限元分析的计算方法才得以实现。最终通过计算可视化技术可将零件上的应力、应变、位移等参数的分布情况用不同色彩的云图、箭头、等值线等以静态或动态的方式在实体模型上直观、清楚地表达出来。

1.3.9 数控加工及仿真

数控加工能自动生成零件加工工序规划、刀路轨迹等,并能根据加工工序做出时间、成本估计。数控加工能将设计模型与加工工序规划连接起来,当设计模型发生修改时系统会将已完成的生产程序和加工过程自动更新。加工过程仿真通过计算机提供的图像界面,在显示器上对各种加工操作所产生的物料去除做模拟清除等。

1.4 CAD 的推广和应用

CAD 技术是先进制造技术的重要组成部分,是计算机在工程技术领域中最具影响的应用技术之一,曾被美国国家工程科学院评为当代十项最杰出的工程技术成就之一。CAD 技术的发展和水平已成为衡量一个国家工业现代化的重要标志,在一定程度上反映出一个国家的综合实力。

企业中引入 CAD 技术是提高产品和工程设计技术水平的一项重大措施。现今社会中市场竞争日趋白热化,企业要想在激烈的市场竞争中立于不败之地,就必须加快新产品投向市场的步伐,缩短产品开发周期,提高产品设计质量,降低生产成本,提高管理水平,而 CAD 技术的应用正是适应了这一要求,推动了企业快速发展,也使得 CAD 技术快速得到应用。

在企业中应用 CAD 系统,首先是为了改变传统的设计、生产、管理模式,建立一种新的设计、生产、营销管理体制,最终将企业的人力、物力、财力等资源用计算机来统一管理,从而科学决策,提高效益。CAD 技术是企业争夺市场份额和生存发展不可缺少的手段。现在国际上重大工程都实行招标的方式,如果没有利用 CAD 系统来绘制工程总体设计方案和相应的投标文件,那么连投标的资格都没有。可以说 CAD 技术已成为企业进入世界市场的“入场券”。

我国 CAD 技术的引入时间大约是在 20 世纪 60 年代,虽然起步较晚,但发展较为迅速,在机械、电子、建筑、汽车、服装等行业已进入了实用阶段,在其他许多领域也进入了试用时期。

在我国,通过“七五”和“八五”期间坚持不懈地科技攻关,特别是机械行业自 1995 年以来,相继开展的“CAD 应用 1215 工程”和“CAD 应用 1550 工程”,使我国 CAD 技术在理论与算法研究、硬件设备生产、支撑软件的开发与商品化,专业应用软件系统的研制与应用,以及在人才培养与技术普及等方面均取得了丰硕的成果。

我国各企业的 CAD 技术应用水平参差不齐,对于中、小企业的 CAD 技术应用水平是建立在以“甩掉图板”为目标的计算机辅助绘图与设计系统,应用国外或国内开发的一些绘图软件,用计算机绘图来代替传统手工绘图,仅是低层次的 CAD 技术应用。部分有远见的企业在实现了“甩图板”工程之后,为了能利用 CAD 技术获取更大的经济效益,建立了以资源共享、权限控制为目标的产品信息管理系统。除了要“甩图板”,还要“甩图纸”,甩掉纸介质的图纸文档,并且在企业中实现设计生产和管理信息的集成。

一些大型企业实力雄厚,CAD 技术应用水平一般较高,引进了先进的计算机辅助设计、分析、模拟仿真和加工集成系统;建立全局产品模型,实现无纸化设计、加工。我国企业 CAD 技术应用水平的最高层次,则是以控制产品生命周期为目标的并行工程。并行工程的基本要素是优化设计,并且从产品性能设计、产品制造工艺性设计、产品可检测性设计、产品可维护性设计,以及产品依从性设计入手进行优化,加速新产品的开发周期。

1.5 CAD 未来的发展方向

CAD 技术的发展方向可概括为参数化、智能化、三维化、集成化、网络化和标准化。

1.5.1 参数化

参数化设计是 CAD 系统多年来所追求的目标, 它能显著提高机械设计效率。利用尺寸驱动技术既能为设计人员提供设计对象直观、准确的反馈, 又能随时对设计对象加以更改, 同时减少设计中的错误。在先进的参数化 CAD 软件中, 设计过程中的所有参数都可作为设计变量, 并通过建立相互间的约束和关系式对设计进行限定, 并且这些变量间的关系可跨越 CAD 软件的不同模块, 从而实现设计数据的完全相关。参数化是实现机械设计自动化的前提和基础, 其前途不可限量。

1.5.2 智能化

当前 CAD 系统的智能化程度越来越高, 原来繁杂的操作改为由计算机智能化处理。以前在图纸尺寸标注中每增加一个尺寸, 都要通过很多步操作才能完成定义, 而现在用户只要指明要标注的对象, 系统就能在图上适当的位置自动完成标注, 甚至对整个设计对象自动标注尺寸。在绘制图形方面, 系统增加了智能导航机制, 系统自始至终猜测用户的设计意图, 并根据设计环境来提供不同的人机交互工具, 使用户使用中非常顺手。

人工智能是计算机六大功能之一, 将人工智能引入 CAD 系统, 使其具有专家的经验 and 知识, 具有学习、推理、联想和判断的能力, 以及智能化的视觉、听觉、语言的处理能力, 即专家系统, 是智能 CAD (ICAD) 的研究内容。由于智能 CAD 系统能够模仿人类专家处理问题的过程和技巧, 所以在处理概念设计、自适应设计等方面有突出的优点, 能够实现设计的自动化。

1.5.3 三维化

随着计算机技术及建模技术研究的进展, 直接促进了三维 CAD 技术的应用。在计算机内部建立相应的三维实体模型, 能够更直观、更全面地反映设计意图, 同时在水产品设计、计算分析、制造等环节上也易于实现数据共享。利用产品的三维数字化模型可进行虚拟装配、干涉检查、有限元分析、运动分析等高级计算机辅助设计工作。例如, 美国波音 777 客机已 100% 实现了数字化三维实体设计 and 无纸化设计制造, 研制周期缩短到 4 年左右。随着计算机软硬件技术的发展, 二维绘图将被三维实体造型所代替。

1.5.4 集成化

企业在设计、管理和加工制造的各个环节中都会产生和使用大量的数据, 如何对这些数据进行高效的管理和利用是 CAD 技术必须要解决的问题。随着技术的发展, 计算机辅助设计、计算机辅助分析、计算机辅助制造、计算机辅助工艺编制将逐步在企业中得到推广和应用。然而由于这些系统大部分是作为自主系统独立开发的, 所以在不同系统中描述同一产品的信息化模型有着很大的差异。例如, 在 CAD 系统中建立的实体模型较为完善地描述了产品的几何特征, 而对于后继环节 CAPP、CAM 所必需的工艺参数在实体模型上却表达不充分。当这些模型进入 CAPP 后还需人工介入, 以提取 CAPP 所需的几何信息, 补充面向加工的信息; 同样, 在 CAD 与 CAM 之间也需要数控加工人员进行大量的数据提取、组织和重新输入的工作。这不仅造成了信息流的中断和冗余劳动, 而且可能发生信息丢失和错误, 降低设计的可靠性。集成就是向企业提供一体化的解决方案和集成开放环境, 用并行工程、产品数据管理等方法对整个企业的各种数据进行集成和管理, CAD 系统的集成化已是大势所趋。

1.5.5 网络化

计算机技术和通信技术相互渗透、结合产生了计算机网络, 通过通信线路将分布于各地

的计算机相互连接起来,从而能够共享资源并协同工作。随着计算机网络的飞速发展,CAD系统的网络化已是不可阻挡的历史潮流。网络化可充分发挥系统的总体优势,共享昂贵的设备,节省投资。借助于现有 Internet 网络,分布于世界各地的设计人员可以在网络上方便地交换设计数据,就如同与隔壁办公室人员的交流一样方便,设计工作变得轻松而快捷。

1.5.6 标准化

随着 CAD 技术的发展,为了共享 CAD 资源,避免企业在各应用单位中形成自动化孤岛,必须要制定各种产品设计、评测和数据交换标准。目前,国际标准化组织已颁布了新的产品数据交换标准 STEP。建立符合 STEP 标准的全局产品数据模型是企业未来发展的需要。

习 题

- 1-1 CAD 的含义是什么?它的主要功能是什么?
- 1-2 结合一项具体的机械设计问题,阐述传统手工设计与现代 CAD 设计过程的异同。
- 1-3 计算机用于机械工程大约起始于哪一年?
- 1-4 计算机辅助设计在历史上大致经历了哪几个发展阶段?
- 1-5 指出在机械设计与制造中有哪几个环节利用了计算机技术?
- 1-6 现代 CAD 系统为机械工程提供了哪些辅助功能?
- 1-7 计算机辅助设计有何优点?
- 1-8 你认为工程技术人员在 CAD 技术应用中起什么作用?
- 1-9 CAD 技术未来的发展方向是什么?

2 CAD 系 统

2.1 CAD 系统的组成和分类

2.1.1 CAD 系统的组成

CAD 系统是由一系列必要的硬件和软件组成的,如图 2-1 所示。所谓硬件一般是指组成 CAD 系统的设备,而软件则是指运行在硬件上的计算机程序或相关技术文档等。硬件是实现 CAD 系统各项功能的基础;软件是实现 CAD 系统各项功能的核心。硬件各个元件能进行正确的协同工作,必须由软件的控制、指挥实现。硬件好比是人的躯体,而软件好比是人的头脑,两者只有有机的组织起来才能充分发挥作用。在实际工作中,由于各 CAD 系统的功能要求不同,各 CAD 系统硬、软件的配置也有所不同,而 CAD 系统最低的硬、软件配置,应以满足系统的基本功能为目标。

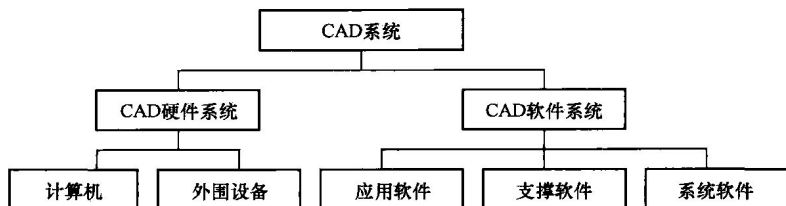


图 2-1 CAD 系统基本结构

2.1.2 CAD 系统的分类

随着计算机技术及通信技术的发展,为构成多种型式的 CAD 系统创造了条件。根据 CAD 系统功能要求的不同,CAD 系统的型式也多种多样。较为常见的一种 CAD 系统的分类型式是根据系统中所采用的计算机类型来分类,将 CAD 系统分为大(中)型机 CAD 系统、小型机 CAD 系统、工作站 CAD 系统和 PC 微机 CAD 系统。也可根据 CAD 系统功能的不同将 CAD 系统分为通用 CAD 系统和专用 CAD 系统。

1. 集中式大(中)型机 CAD 系统

集中式大(中)型机 CAD 系统一般采用具有海量存储器和极强计算处理功能的大(中)型通用计算机为中心,采用分时操作系统支持几十至几百个 CAD 终端运行。集中式 CAD 系统的主要优点为具有高速大容量的内、外存储器;可配置各种高精度、高速、大幅面的图形输入、输出设备;系统具有一个大型的数据库,可对整个系统的数据实行综合管理和维护;运算速度极快。主要缺点为如果主机出现故障,则所有用户都不能工作;另外随着用户数量的增多,将造成计算机总负荷的增加,同时系统的响应速度将降低;由于大(中)型机价格昂贵,造成原始投资较大。

由于集中式大(中)型机 CAD 系统的成本很高,一般中小型企业不可能承受。该类型系统通常都用于资金雄厚的大型飞机制造、船舶制造等公司。

2. 小型机 CAD 系统

小型机 CAD 系统曾经在 20 世纪 80 年代风靡一时,占据 CAD 的主要市场。生产、制造

这类系统的厂商很多,如美国的 CV、Intergraph、Unigraphics 等公司。在这些公司中生产的产品大致可分为两种类型,即封闭系统和开放系统。CV 公司生产的是全封闭系统,即由该公司同时进行 CAD 硬件和软件的开发,这类产品在世界上的销量很大。而另外一些公司,如 Intergraph、Unigraphics 等公司,它们采用了与 CV 公司完全不同的策略,即选择通用的小型计算机,如采用 VAX、Micro—VAX 等计算机作为系统的硬件环境,这类系统的优点是软件的移植性较好,用户有较大的主动权,而且软件的研制者不必在硬件生产上分散精力。

小型机 CAD 系统投资规模适中,能满足一般工程及产品设计的需要,当时多用于大中型企业的设计部门。但在 20 世纪 80 年代中期以后,由于工作站的问世和异种机之间联网技术的发展,从目前来看,这种类型的 CAD 系统逐渐被工作站组成的 CAD 系统所代替。

3. 工作站 CAD 系统

20 世纪 80 年代初期,随着 CAD 在工业、军事、建筑等领域的应用,原有的大型机 CAD 系统和小型机 CAD 系统因系统过于庞大而不能适应 CAD 的要求,于是专门为 CAD 系统研制了专用计算机,即早期的工作站。所谓的工作站通常是指具有较强科学计算能力、图形处理能力 & 网络通信功能的交互式计算机系统。与个人微机相比,工作站有着鲜明的特点:

(1) 先进的操作系统。工作站一般都采用 RISC 技术和开放系统的设计原则,用 UNIX 作为它们的操作系统。

(2) 极高的运算速度。

(3) 大内存。为 CAD 系统进行大量的三维图形处理、有限元分析计算提供了物质基础。

(4) 具有强大联网功能,通过网络可进行网络计算,充分利用其计算机资源。

(5) 强大的图形功能。

我国市场上常见的工作站产品有 HP、SGI、SUN、IBM 等型号。当前某些高档工作站的处理速度非常高,甚至可达到或超过小型计算机的运算处理水平。

4. PC 微机 CAD 系统

随着个人微机性能的不断提高,价格的不断下降,以 PC 机为主机而组成的微机 CAD 系统,近年来不断增多甚至已经成为主流。现在通常以个人微型机作为主机,配上高分辨率图形显示器、数字化仪、大幅面自动绘图机及相应的软件就可以组成一套微机 CAD 系统。以前许多著名的 CAD 支撑软件如 CADAM、CADKEY 等只能在大中型机上才能运行,现在都可移植到个人微型机上,支持微机 CAD 系统工作。使微机 CAD 系统不仅具有较强的计算分析能力,还能满足三维图形处理的要求。

需要指出的是,由于计算机网络技术的飞速发展,现在个人微机已能与大(中)型机、小型机和工作站联网成为整个网络中的一个节点,共享大(中)型机和工作站等的资源。使得大(中)型机 CAD 系统、工作站 CAD 系统和 PC 微机 CAD 系统不再相互割裂,而成为一个有机的整体,在网络中发挥各自的优点,使得原来需要在小型机和工作站上进行的 CAD 工作也可由微机来完成。

2.2 CAD 系统的硬件

CAD 系统的硬件主要由主机、输入设备、输出设备和存储器组成,如图 2-2 所示。

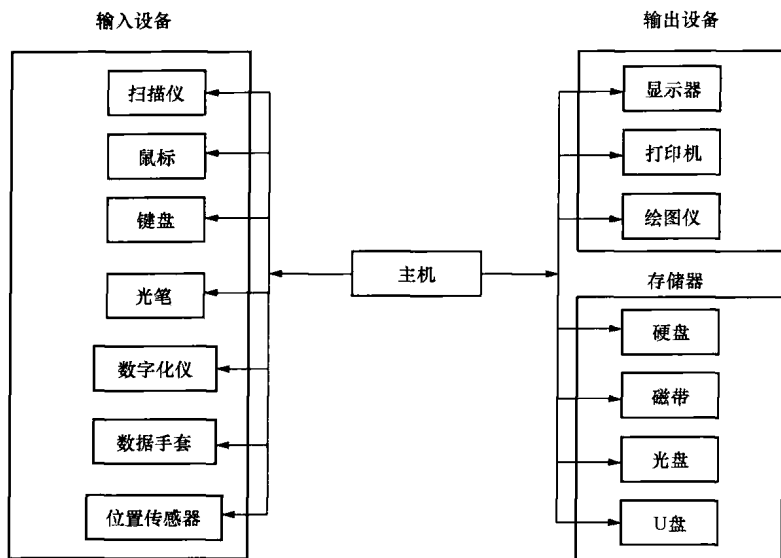


图 2-2 CAD 系统硬件构成

2.2.1 主机

主机由中央处理器（CPU）和内存储器两部分组成。中央处理器的功能是处理数据，它由进行算术运算、逻辑运算的运算器和控制整个系统工作的控制器组成。微型机 CPU 的各种处理器，已集成在一块硅片上，即所谓的微处理器；内存储器用来存放指令和数据。主机是整个 CAD 系统的核心，衡量主机的技术指标主要有以下三项。

（1）运算速度。运算速度一般以中央处理器每秒可执行指令数目或可进行的浮点运算次数来表示。常以 MIPS 为单位，即每秒可执行一百万条指令；或用芯片类型的时钟频率来表示运算速度，在 CPU 中装有一个受外部石英体控制的时钟，时钟速度以频率 MHz 为单位，取四个时钟脉冲的时间作为标准的指令时间。时钟频率是微处理器处理数据的速度指标之一，时钟频率越高则速度越快。

（2）字长（word length）。字长是指 CPU 在一个指令周期内能从内存提取并处理的二进制数据的位数。通常字长越多，则计算处理的速度越快，计算精度也越高。现在计算机的字长有 32 位、64 位、128 位、256 位等几种。

（3）内存容量。内存的单位为单字节（byte）、千字节（KB）、兆字节（MB）、千兆字节（GB）等。内存容量越大，则主机能容纳和处理的信息量也越大。内存容量的大小直接影响计算机程序运行的速度。

2.2.2 外存储器

计算机中的内存可直接和 CPU 交换信息，处理速度快，但由于在现代 CAD 作业中包含大量科学计算及三维图形处理等工作，信息量很大，对内存容量有较大的需求。如果一味地扩大内存，则造成计算机系统价格过高，影响到计算机的普及。因此现代的计算机系统都以外存作为内存的后援，用来存放暂时不用或等待调用的程序、数据等信息，待需要时再调入内存。通过这种方式可实现以较少的内存，完成信息较大 CAD 系统的作业任务。外存储器的特点是容量大，可达数百或上千个 GB，但它的存取速度远低于内存。