

高等院校适用教材

计算机辅助设计

Jisuanji Fuzhu Sheji

贺炜 李思益 等编著



高等院校适用教材

计算机辅助设计

贺 炜 李思益 等编著



机械工业出版社

本教材是编者在多年进行计算机辅助设计的教学和科研实践的基础上编写而成的。书中主要介绍计算机辅助设计的基本理论和 CAD 系统二次开发方面的知识和方法, 并提供了丰富的实例和程序文本, 使读者不仅可以掌握计算机辅助设计的方法, 而且能自己动手设计和研制符合实际设计需要的 CAD 应用软件。

全书共 8 章, 第 1 章 概论; 第 2 章 数据结构与数据库; 第 3 章 计算机图形处理技术; 第 4 章 几何造型与自由曲线曲面; 第 5 章 计算机辅助分析与计算; 第 6 章 AutoCAD 软件的使用; 第 7 章 AutoCAD 软件的二次开发; 第 8 章 其他 CAD 软件简介。

本书可作为工科机械类和近机械类大专院校 30~40 学时计算机辅助设计课程的教材, 也可供工程技术人员和大专院校师生开发 CAD 系统时参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助设计/贺炜等编著. —北京: 机械工业出版社, 2004. 5
ISBN 7-111-14313-2

I. 计… II. 贺… III. 计算机辅助设计 IV. TP391. 72
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 028922 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: 曲彩云 封面设计: 张 静

责任印制: 洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 15.5 印张 · 399 千字

0 001—6 000 册

定价: 23.00 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、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

当前，国际上工业发达国家已经广泛使用计算机辅助设计和计算机辅助制造（CAD/CAM）技术。我国 CAD/CAM 技术的研究与应用虽然起步较晚，但也已在很多企业及科研单位广泛采用，并且取得了巨大的经济效益，越来越受到科技人员的重视。

在前国家科委和国家教委等八个部委共同研究制定的《大力协同开展我国 CAD 工程》的规划报告中，要求国民经济主要部门的科研设计单位普及计算机绘图及 CAD 技术，加速摆脱手工计算、手工绘图，提高设计工作效率和质量，实现科研、设计现代化，增强产品在市场中的竞争能力。

目前，在我国以微机为基础的 CAD 工作中，大部分都是采用现有软件，如：AutoCAD、Pro/E、UG II、SolidWorks 等，因而绝大多数用户面临的问题常常不是如何建立自己的 CAD 系统，而是如何正确地使用这些通用的 CAD 系统软件，以及如何结合自己的实际应用问题，在这些通用 CAD 系统软件的基础上，利用所提供的开发工具，开发出适合解决自己的实际问题的 CAD 应用软件。从实用的角度来看，这方面的知识和技术是目前教学和实际应用中更为需要和缺乏的。基于此种认识，本书介绍了目前使用最为广泛的 AutoCAD 软件、Visual LISP 及其对话框开发技术。并且详细介绍了进行二次开发的知识和方法，尤其是在 AutoLISP 编程方面，提供了丰富的实例和程序文本，使读者不仅可以掌握 CAD 设计方法，而且能自己动手设计和研制符合实际设计需要的 CAD 应用软件。

本书的第 2 章由张彩丽老师编写，第 3~5 章由李思益教授编写，其他各部分均由贺炜博士编写，全书由贺炜博士统稿。

在编写本书过程中吕守祥、刘锡峰老师提供了部分资料，研究生王程、王建勇，本科生赵俊、陈建国等作了大量的工作，同时，也借鉴了不少同志的宝贵材料。编者在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

电子信箱：liwei1957@163.com

编著者

2004 年 5 月 28 日

目 录

前言	
第1章 概论	1
1.1 计算机辅助设计(CAD)技术的发展概况	1
1.1.1 CAD技术的基本概念	1
1.1.2 CAD技术的发展历史	2
1.2 CAD系统的基本内容	3
1.3 CAD系统的组成	5
1.3.1 CAD系统的类型	5
1.3.2 CAD系统的硬件组成	7
1.3.3 CAD系统的软件组成	9
1.4 CAD系统的选型原则	11
1.4.1 CAD系统选型工作的重要意义	11
1.4.2 CAD系统选型的基本要素	12
1.4.3 选择CAD系统的原则	14
习题	14
第2章 数据结构与数据库	15
2.1 概述	15
2.1.1 数据	15
2.1.2 数据的组织和管理技术	15
2.2 数据结构	16
2.2.1 数据结构介绍	16
2.2.2 几种常用数据结构	19
2.3 数据库	25
2.3.1 数据库的基本概念	25
2.3.2 工程数据库	31
2.3.3 常用关系型数据库	33
习题	35
第3章 计算机图形处理技术	36
3.1 设备驱动程序与图形程序库	36
3.2 坐标系	36
3.3 窗口和视区及其变换	37
3.4 图形裁剪与消隐	39
3.4.1 图形裁剪	39
3.4.2 图形消隐	40
3.5 图形变换	40
3.5.1 齐次坐标与图形变换矩阵	40
3.5.2 二维图形的变换方法	41
3.5.3 三维图形的变换方法	46

习题	52
第4章 几何造型与自由曲线曲面	53
4.1 描述形体的信息	53
4.1.1 基本几何元素的定义	53
4.1.2 拓扑信息	54
4.1.3 基本几何元素之间的关系及层次结构	55
4.2 表示形体的模型	56
4.3 实体造型技术	56
4.3.1 基本几何形体(体素)的创建	56
4.3.2 实体造型的方法	56
4.3.3 特征造型技术	60
4.4 曲线及曲面的理论	63
4.4.1 概述	63
4.4.2 曲线及曲面的数学描述	63
4.4.3 常用的曲线	66
4.4.4 常用的曲面	77
4.4.5 曲线及曲面的正算与反算	84
习题	85
第5章 计算机辅助分析与计算	86
5.1 概述	86
5.1.1 分析与计算的内容	86
5.1.2 分析与计算的方法	87
5.2 设计资料的分析与处理	87
5.2.1 产品设计过程中的设计资料及处理方法	87
5.2.2 数据输入、输出及检索	87
5.3 优化设计技术	98
5.3.1 优化设计的数学模型	99
5.3.2 常用优化设计计算方法综合	105
5.3.3 几种典型的优化设计计算方法	105
5.3.4 优化设计实例	112
5.4 有限元法	115
5.4.1 概述	115
5.4.2 有限元分析与计算的一般过程	115
5.4.3 单元划分方法及原则	116
5.4.4 有限元软件	117
5.4.5 典型有限元分析软件简介	119
5.4.6 有限元分析实例	120
5.5 计算机仿真技术简介	122
5.5.1 概述	122
5.5.2 计算机仿真的过程	123

5.5.3 仿真技术的应用	124
习题	124
第6章 AutoCAD 软件的使用	125
6.1 概述	125
6.1.1 AutoCAD 的配置	125
6.1.2 AutoCAD 的特点	125
6.1.3 基本概念	126
6.1.4 AutoCAD 用户界面简介	126
6.1.5 AutoCAD 命令的输入	128
6.1.6 数据的输入	128
6.2 AutoCAD 的常用命令	128
6.2.1 绘图命令	128
6.2.2 编辑命令	132
6.2.3 显示命令	135
6.2.4 其他命令	136
6.3 图层、颜色、线型和线宽	141
6.3.1 基本概念	141
6.3.2 图层命令 (LAYER)	142
6.3.3 线型命令 (LINETYPE)	143
6.3.4 颜色命令 (COLOR)	143
6.4 定制用户自己的菜单	143
6.4.1 工具条菜单的定制	143
6.4.2 图标菜单的定制	144
习题	145
第7章 AutoCAD 软件的二次开发	146
7.1 概述	146
7.2 Visual LISP 简介	146
7.2.1 综述	146
7.2.2 Visual LISP 入门	147
7.3 AutoLISP 语言简介	150
7.3.1 AutoLISP 语言的特点和功能	150
7.3.2 AutoLISP 语言的数据类型及加载运行	151
7.3.3 AutoLISP 语言的函数	153
7.4 对话框开发技术	163
7.4.1 对话框的组成	164
7.4.2 对话框语言 (DCL) 简介	164
7.4.3 有关对话框的 AutoLISP 函数	166
7.4.4 对话框程序设计中应注意的几个问题	168
7.4.5 对话框开发样例	169
7.5 标准件、常用件参数化绘图系统的建立	170

7.5.1 对话框设计	171
7.5.2 绘图程序设计	181
7.5.3 对话框驱动程序与参数化绘图程序的联接程序设计	187
7.5.4 将参数化绘图系统嵌入 AutoCAD 标准菜单	188
7.6 形位公差和表面粗糙度标注的二次开发	189
7.6.1 标注程序的编制	189
7.6.2 图标库的建立	201
7.7 凸轮式换刀机械手装置参数化绘图系统的建立	202
7.7.1 对话框设计	203
7.7.2 绘图程序设计	206
7.7.3 设计模块和绘图模块的连接	215
7.7.4 程序打包	216
7.7.5 在 Visual LISP 文本编辑窗口中加载和运行程序的步骤	216
7.7.6 程序包 lsxhard.vlx 的加载运行	217
习题	217
第8章 其它 CAD 软件简介	218
8.1 Pro/Engineer 软件简介	218
8.1.1 基本功能和特点	218
8.1.2 Pro/ENGINEER 软件用户界面	219
8.1.3 Pro/ENGINEER2001 文件类型	223
8.1.4 本节有关说明	224
8.2 UG II 软件简介	225
8.2.1 基本功能和特点	225
8.2.2 UG II 软件的使用	226
附录	
附录 A AutoLISP 内部函数一览表	230
附录 B AutoLISP 出错信息列表	235
参考文献	238

第1章 概论

CAD 技术是现代产品中广泛采用的设计方法和手段。本章结合产品设计的主要设计环节和基本设计要求,介绍了 CAD 技术的发展历史及趋势,以及 CAD 技术的特点与应用。

1.1 计算机辅助设计(CAD)技术的发展概况

1.1.1 CAD 技术的基本概念

CAD (computer aided design)是一种用计算机软硬件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法与技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动,它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。

计算机辅助设计涉及以下一些基础技术:

1) 图形处理技术 如自动绘图、几何建模、图形仿真及其它图形输入、输出技术。

2) 工程分析技术 如有限元分析、优化设计及面向各种专业的工程分析等。

3) 数据管理与数据交换技术 如数据库管理、产品数据管理、产品数据交换规范及接口技术等。

4) 文档处理技术 如文档制作、编辑及文字处理等。

5) 软件设计技术 如窗口界面设计、软件工具及软件工程规范等。

近十多年来,由于先进制造技术的快速发展,带来了先进设计技术的同步发展,使传统的 CAD 技术有了很大的扩展。任何设计都表现为一种过程,每个过程都由一系列设计活动组成。这些活动既有串行的设计活动,也有并行的设计活动。目前,设计中的大多数活动都可以用 CAD 技术来实现。但也有一些活动尚难用 CAD 技术实现,如设计的需求分析 设计的可行性研究等。将设计中能用 CAD 技术实现的活动集合在一起就构成了 CAD 过程,随着现代 CAD 技术的发展,设计过程越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此 CAD 技术的覆盖面越来越宽,以至整个设计过程就是 CAD 过程。值得指出的是:不应该将 CAD 与计算机绘图、计算机图形学混淆起来。下面叙述后二者的基本概念。

计算机绘图的基本概念:计算机绘图是使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种方法和技术,以摆脱繁重的手工绘图为其主要目标。

计算机图形学(computer graphics, CG)的基本概念:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的科学。

计算机图形学的研究内容有以下四个方面:

1) 硬件 指图形输入设备、图形处理设备、图形显示设备和图形绘制设备。

2) 图形软件设计 如二维绘图系统、三维造型系统、动画制作系统、真实感图形生成系统等。

3) 图形处理的理论与方法 如几何元素和图形的生成方法、实体表示理论与拼合算法、图形变换、图形消隐与裁剪、真实感图形生成等等。近年来,计算机图形学向更深入的方向发展,出现了分布式图形处理、声像一体化、分数维几何、虚拟现实、多媒体技术以及科学计算可视化等高新理论与技术。

4) 实际应用中的图形处理问题 涉及到广阔的应用领域,如统计管理、测量、生物、医药、药学、模拟与动画、美术、办公自动化等。

从以上对 CAD、计算机绘图及计算机图形学的叙述可以看出它们三者之间是有区别的,但也有联系。可以简单地表述如下:

计算机绘图是计算机图形学中涉及工程图形绘制的一个分支,可将它看成一门工程技术,它为人们以软件操作方式绘制图样提供服务;计算机绘图不是 CAD 的全部内涵,但它是 CAD 技术的基础之一;计算机图形学是一门独立的学科,有自己丰富的技术内涵,它与 CAD 有明显区别,但它的有关图形处理的理论与方法构成了 CAD 技术的重要基础。

1.1.2 CAD 技术的发展历史

CAD 技术的发展和形成至今已有 50 余年的历史,自 20 世纪 50 年代交互式图形处理技术的出现,CAD 技术经历了由单纯的二、三维绘图到覆盖几何造型、工程分析、模拟仿真、设计文档生成等大量产品设计活动的发展过程。目前,CAD 技术正经历着由传统 CAD 技术到现代 CAD 技术的转变。了解 CAD 技术的发展历程和趋势将有助于我们今后有效地应用和发展这项技术。

CAD 技术的核心和基础是计算机图形处理技术,因此,CAD 技术的发展跟计算机图形学的发展密切相关,并伴随计算机及其外围设备的发展而发展。20 世纪 50 年代,作为美国麻省理工学院(MIT)研究的旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的附件,第一台图形显示器诞生。该显示器可以显示一些简单的图形,但因其只能进行显示输出,故称之为“被动式”图形处理。随后,MIT 林肯实验室在旋风计算机上开发出了 SAGE 空中防御系统,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器。利用该显示器,使用者可以用光笔进行简单的图形交互操作,这预示着交互式计算机图形处理技术的诞生和 CAD 技术雏形的出现。

20 世纪 60 年代是交互式计算机图形学和以其为基础的 CAD 技术发展的重要时期。1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan.E.Sutherland 在其博士论文《Sketchpad:一个人-机通信的图形系统》中,首次提出了“计算机图形学”这个术语,并提出了“交互技术”、“分层存储符号的数据结构”等一些至今还在使用的概念和技术,他开发的 Sketchpad 图形软件包可以实现在计算机屏幕上进行图形显示与修改的交互操作。在此基础上,美国的一些大公司和实验室开展了计算机图形学的大规模研究,并开始出现 CAD 这一技术术语。20 世纪 60 年代中后期,开始出现了具有实用功能的 CAD 系统,如美国通用汽车公司用于汽车车身三维曲面设计的 DAC-1 系统、洛克希德飞机制造公司集设计、分析、制造于一体的 CADAM 系统、贝尔电话公司用于印制电路设计的 GRAPHIC-1 系统等。但由于当时刷新式图形显示器的价格十分昂贵,CAD 技术的应用仅限于经济实力雄厚的公司和研究机构,很难普及和推广。20 世纪 60 年代后期,随着廉价的存储式显示器进入市场以及计算机其它硬件设备价格的下降,CAD 系统逐渐被许多中小企业所接受,并逐渐形成了 CAD 技术产业。

20 世纪 70 年代,交互式计算机图形处理技术日趋成熟,在此期间出现了大量的研究成果,计算机绘图技术也得到了广泛的应用。与此同时,基于电视技术的光栅扫描显示器的出现也极大地推动了计算机图形学和 CAD 技术的发展,但当时的 CAD 技术只能解决一些简单的产品设计问题,如二维绘图及三维线框造型等。

20 世纪 70 年代末到 80 年代,随着工程工作站和微型计算机的出现,计算机图形学进入了一个新的发展时期,并推动了 CAD 技术的普及。同时由于工业界意识到了 CAD 技术对生产的巨大促进作用,对 CAD 技术提出了各种要求和期望,从而导致了新理论新算法的大量涌现,其中,最重要的是实体造型理论及系统的发展与应用。在当时,分布式联网的工作站是 CAD

系统的典型硬件环境，并开始出现了运行在微型计算机上的 CAD 应用软件；CAD 技术由绘制二维工程图，发展到三维造型、自由曲面设计、有限元分析、机构分析与仿真等工程应用，出现了许多成熟的 CAD 软件。为了提高 CAD 软件与设备无关性和可移植性，同时为满足不同 CAD 系统间的数据交换要求，在此期间相继推出了有关的图形标准，如计算机图形接口（Computer Graphics Interface, CGI）、图形核心系统(Graphics Kernel System, GKS)、程序员层次交互式图形系统(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System, PHIGS)，以及初始图形交换规范(Initial Graphics Exchange Specification, IGES)、产品模型数据转换标准(Standard for the Exchange of Product model Data, STEP)等。

20 世纪 90 年代以来，CAD 的造型技术不断完善，广泛采用了特征造型和基于约束的参数化和变量化造型方法，并向集线框、表面、实体造型统一表示的非流形形体造型发展。随着信息技术的发展，CAD 技术也由过去的单机或局部分布式联网工作方式向基于网络的设计发展，并且支持协同的概念设计成为当前研究热点。同时，计算机技术的飞速发展，也为 CAD 技术的应用提供了强大的硬件支持环境。

我国 CAD 技术的研究始于 20 世纪 60 年代，但当时的研究应用范围极小，主要集中于少数高等院校和军工系统。20 世纪 70 年代末到 80 年代初，我国航空系统的高等院校和研究机构率先开始进行较大规模的 CAD 技术研究和引进，并开始开发国产化 CAD 软件，并在全系统推广应用。从 20 世纪 80 年代中期开始，原国家科委及有关部委将 CAD 技术的应用提到了重要日程，开始在相关行业推广 CAD 应用技术。20 世纪 90 年代，原国家科委又协同各部委成立了全国 CAD 应用工程协调小组，开展我国 CAD 应用工程，以将 CAD 技术转化为现实的生产力。与此同时，各高等院校和科研机构对 CAD 技术的基础理论与软件开发进行了大量的研究，并取得了丰硕的成果。经过十几年的努力，我国已初步建立起具有一定市场规模的拥有自主知识产权的 CAD 软件产业；在全国范围内建立了 CAD 应用网络和咨询服务体系；制定了一批我国的 CAD 技术标准；结合 CAD 应用工程的需要，富有成效地开展了软科学研究；创建了一套 CAD 应用工程管理工作体系、措施和办法。目前，我国在涉及产品及工程设计的各领域已广泛采用 CAD 技术，并发挥着重要的作用。

目前 CAD 技术仍在不断发展。未来的 CAD 技术将为新产品设计提供一个综合性的环境支持系统，它能全面支持异地的、数字化的、采用不同设计哲理与方法的设计工作。近年来，先进制造技术的快速发展带动了先进设计技术的同步发展，使传统的 CAD 技术有了很大的拓展，CAD 技术正经历着由传统向现代设计技术的转变。为此，清华大学童秉枢教授等学者提出了“现代 CAD 技术”这一概念。“现代 CAD 技术”是指在复杂的大系统下，支持产品自动化设计的设计理论、设计方法、设计环境和设计工具各相关技术的总称，它们能使设计工作实现集成化、网络化和智能化，达到提高产品设计质量和缩短设计周期的目的。

CAD 技术的未来发展集中体现在集成化、网络化和智能化的实现上。集成化、网络化和智能化是现代 CAD 技术所追求的功能目标。集成化要能支持信息集成、过程集成与企业集成，其涉及的技术主要包括数字化建模、产品数据管理、过程协调与管理、产品数据交换及各种 CAx(CAD、CAM 等技术的总称)工具等。网络化要能支持动态联网中协同设计所需的环境与设计技术；智能化是指在实现集成化和网络化时采用的智能技术，如人工智能、专家系统技术等。

1.2 CAD 系统的基本内容

CAD 系统的基本内容有：

1. 设计计算

机械设计过程中经常需要进行大量的初步设计计算和校核计算，如主要几何参数计算、受力分析、强度和寿命计算、刚度计算等，都涉及大量的数值计算。对于这些常规的重复性的设计计算工作，由计算机辅助来完成这些计算量，可以使设计人员从繁重的计算工作中解脱出来。由于初步设计和校核计算涉及范围广，涉及行业较多，目前设计计算方面的应用程序大多针对性强，还没有形成比较通用和完整的软件包。

2. 优化设计

机械设计过程中，经常需要设计人员根据给定的设计条件和功能要求对机械零件的许多主要参数进行数值选择。不同的数值组合，对机械零件的功能乃至整个机械系统的性能影响极大，设计人员非常希望在众多选择中确定一组趋近合理的最好参数。优化设计计算就是利用计算机的极高的运算速度完成“选择—评价—再选择”的过程，直至得到趋于最好的结果。目前的优化设计技术已经形成比较完整的原理和算法，设计者的主要任务是将具体的机械设计问题模型化，即建立优化设计数学模型，便可以选择算法甚至程序很快得出结果。

3. 设计资料查询

机械设计过程中需要引用和查询大量的标准、规范、性能等基础数据。“数据库管理”技术就是利用计算机的存储信息量大、查询速度快的特点，将这些基础数据按照一定规则组织存储在计算机中，可以结合知识库和推理机提供快速的推理、判断、检验和查询等手段，使设计能够方便快速地得到这些数据。目前已经形成了比较成熟的通用数据库管理和工程数据库管理软件系统，随着机械设计数据库的逐渐丰富和完善，设计资料查询将变得方便快捷。

4. 结构设计

机械设计过程需要进行大量的结构设计和图形绘制，这是设计人员常规繁重的设计工作。利用计算机的几何造型功能，设计人员通过人机交互可以直观和快速地进行机械结构的三维设计，并能够提供三维几何建模工具，目前已经出现了许多比较成熟的几何造型软件，它们都提供三维几何建模工具，可以快捷方便地生成各种机械结构。对于成熟的机械部件结构，可以建立参数化图形库，设计者只需输入少量的特征数据，由计算机完成结构类型选择结构尺寸计算、图形生成、干涉检验等工作。甚至借助快速成型机，可以得到零件的实物模型，使设计者在设计阶段便可以观察到产品的最终结构形状。

5. 运动仿真

机械设计过程中要对机械的运动方案进行设计，需要了解机械在各个瞬时的运动特性，这些工作涉及大量的运动分析数值计算。利用计算机运算速度快和直观的图形显示功能，可以使设计者清楚地了解各个机械运动的瞬时特性，包括姿态、轨迹、速度、加速度、受力变化情况等。

6. 有限元分析

有限元分析通过将整个机械结构划分成有限元网格，通过数值计算，可以比较精确地分析机械结构中任意点处的应力和位移等数值，已经被广泛应用于位移分析、应力分析、温度场分析、振动分析与仿真等。目前已经有许多成熟的有限元分析软件，设计者的主要工作是载荷分析和机械结构的离散化以及计算结果的分析修正等。

7. 可靠性分析

可靠性分析就是将设计参数视为随机变量，利用概率统计的理论和方法对机械零部件的可靠度进行分析。这种分析过程通常需要利用计算机辅助分析的方法来完成。

8. 动态分析与仿真

动态分析主要是采用离散有限元方法, 分析机械系统本身的各阶固有频率、阻尼特性、对应于各阶固有频率的振型和机械系统在动载荷下的响应等, 为机械系统振动特性分析和动强度分析提供依据。

9. 外观设计与仿真

利用真实感三维造型技术进行机械产品的外观造型设计和仿真, 可以直观获得最终产品的视觉效果; 利用计算机仿真技术可以进行机械产品外观的气体动力学、液体动力学分析和三维温度场分析等。

10. 交互式绘图

一般的交互式绘图软件都提供基本的工程图样绘制工具, 使设计者可以完成二维工程图的绘制工作, 并提供增添、修改、和尺寸标注等功能。

11. 参数化零件图库

对于一些成熟的零部件, 其结构原理相同, 只是各部分尺寸大小不同, 可以建立参数化零件图库。设计者利用参数化零件图库只需输入少量数据, 便可由计算机自动生成相应的设计图样, 有些软件还具有自动拼接分析功能, 使各个局部图样相互拼接成较大图样。

12. 图样自动生成

通常指根据设计结果自动生成工程图样, 包括由机械结构的三维造型自动生成二维工程图样。

1.3 CAD 系统的组成

CAD 系统是基于计算机的系统, 由软件 (又称为程序系统) 和硬件设备组成。其中, 软件是 CAD 系统的核心, 而相应的系统硬设备则为软件的正常运行提供了基础保障和运行环境。另外, 任何功能强大的 CAD 系统都只是一个辅助设计工具, 系统的运行离不开系统使用人员的创造性思维活动。因此, 使用 CAD 系统的技术人员也属于系统组成的一部分, 将软件、硬件及人这三者有效地融合在一起, 是发挥 CAD 系统强大功能的前提。

1.3.1 CAD 系统的类型

CAD 系统通常根据系统的硬件组成或工作方法及功能进行分类。

1. 按硬件组成分类

CAD 技术是随着计算机技术的发展而迅速发展的。CAD 系统按其硬件组成并结合计算机技术的发展历程一般可分为 5 类: 主机系统、小型机系统、工作站系统、微机系统和基于网络的微机-工作站系统。

(1) 主机系统

主机系统又称为大型机系统, 这类系统以一台大中型计算机为中心, 采用分时操作系统集中支持几十个甚至上百个 CAD 终端运行。主机系统通常具有高速、大容量的内存和外存, 可配置高精度、高速度、大幅面的图形输入/输出设备, 通常用于运行规模较大的支撑软件或自行开发的大型应用软件, 可以将设计、分析、计算、图形处理等工作结合起来进行复杂的 CAD 工作。由于是多用户系统, 因此, 系统共用一个集中的大型数据库。

(2) 小型机系统

这类系统出现于 20 世纪 70 年代后期。小型机系统以 32 位超级小型机为主机, 通常带有几

个到十几个终端，是由从事 CAD 技术开发的公司专门为用户配置的计算机配套系统。小型机系统配有专用的硬件和软件，且两者紧密结合、配套使用。小型机系统具有很强的工作针对性，系统价格昂贵，其 CAD 作业水平主要取决于所配置的软件功能。这类 CAD 系统适合于中等规模企业的应用要求，缺点是系统的针对性过强，用户难以进一步开发，应用范围受到限制。目前，此类系统大多已被淘汰。

（3）工作站系统

工作站包括工程工作站和图形工作站，是为满足用户在工程和图形处理上的专业需求和克服原有大型计算机、小型计算机由于其系统庞大，不能适应工程和图形处理中灵活多变的特点而研制的专用计算机。工作站具有强大的科学计算、丰富的图形处理、灵活的窗口及网络管理等功能，通过网络可以共享系统资源。由于工作站具有便于逐步投资、逐步发展等优点，因而受到了用户的广泛欢迎。目前，大多数高端 CAD 支撑软件和应用软件主要以工程工作站为运行平台，随着工作站本身的性能发展，向上越来越多地覆盖了中、小型机乃至大型机、巨型机的应用领域，向下则可与个人计算机争夺巨大的低端市场。

（4）微机系统

微机 CAD 系统以 32 位或 64 位超级微机作为主机，并配有高分辨率图形显示系统、大幅面绘图仪、大容量硬盘等 CAD 必备硬件，从而保证了 CAD 作业的顺利进行。基于微机的 CAD 系统主要用于绘制二维工程图和一些简单的三维设计图。随着微机运算和图形处理性能的迅速提高，许多过去只能在工作站上运行的著名高端 CAD 支撑软件如 CATIA、UGII、Pro/E、I-DEAS 等，目前均有移植到微机上的版本，使微机系统总体上不仅具有较强的分析计算能力，而且还可以满足处理三维图形的要求。但由于微机总体上在运算和图形处理性能上与工作站仍有相当的差距（尽管随着微机性能的迅速提高，二者的差距正在日益缩小），微机 CAD 系统目前主要用于运行中、低端的 CAD 支撑软件和应用软件。

（5）基于网络的微机-工作站系统

对于独立的微机 CAD 系统和在一定范围内联网的工作站 CAD 系统，其作业的分散性和各自独立或孤岛式的工作方式，使得设计信息无法进行充分的交流，也无法使各种作业协调一致地进行。由于并行工程的要求和现代网络技术的迅速发展，基于网络的微机-工作站系统得以实现并得到迅速发展。这类系统可以使分散于同一单位不同部门、不同地点的微机及工作站共享软、硬件资源；充分和准确地交流设计信息；协调各种作业；完成并行工程。

2. 按工作方法及功能分类

CAD 系统按工作方法及功能大致分 4 类：检索型、自动型、交互型和智能型。

（1）检索型 CAD 系统

检索型 CAD 系统主要用于已经实现标准化、系列化、模块化的工程或产品结构。这些产品或工程的图样、有关程序都已存储在计算机内部。在设计过程中，用户只需按照要求给出不同的参数与设计数据，自动运行程序即可生成符合要求的电子图样；或在原有相似图形的基础上，按用户的技术要求及规范检索出所需要的零部件图，再在 CAD 软件系统中完成产品或工程图的修改，组成装配图，并对产品的性能进行校核；在满足设计者要求的前提下，输出所需要的各种技术文件和图样。

（2）自动型 CAD 系统

对于自动型 CAD 系统，用户根据产品或工程的性能、规格、要求输入基本参数后，不需要人工干预，系统即可按照既定的程序自动完成设计工作，并输出产品或工程设计的全部图样

与技术文件。这类系统可用于设计理论成熟、计算公式确定、设计步骤和判别标准清楚、设计资料完备的产品或工程设计情况。

(3) 交互型 CAD 系统

在一个产品的设计过程中,方案的决策及结构布置要完全实现自动设计是非常困难的事情。交互型 CAD 系统指可以最大限度地发挥计算机系统的高速运算能力、严格的逻辑推理能力以及大容量的信息存储能力,将设计人员在长期设计过程中积累的经验、智慧同计算机 CAD 系统的优势结合起来,实现在交互方便、界面友好的环境下完成产品或工程的设计工作,使人机得到最佳配合的系统。交互型 CAD 系统也是软件开发中最容易实现的系统。

(4) 智能型 CAD 系统

现有的 CAD 系统在产品或工程设计中的大多数情况下只能做数值型工作,如计算、分析、绘图等。实际上,在设计过程中还存在着方案构思、最佳方案选择、结构设计优化、设计评价、决策等内容,这类工作往往需要根据一定的知识模型,采用推理的方法才能获得比较圆满的答案。将人工智能技术,特别是专家系统技术应用于产品和工程设计中,即形成专业领域的设计型专家系统,这就是智能型 CAD 系统。智能型 CAD 系统主要由知识库、推理机、实时系统、知识获取系统和人机接口等组成,还包括各种先进技术的综合运用。当使用这样的系统时,用户只需输入设计对象的概念、用途、性能等信息,利用系统提供的推理、决策、计算和电子数据处理等各种机制,即可完成产品或工程的详细设计。

1.3.2 CAD 系统的硬件组成

通常,将用户可进行 CAD 作业的独立硬件环境称作 CAD 硬件系统。CAD 系统的硬件主要由主机、输入设备(键盘、鼠标、扫描仪等)、输出设备(显示器、绘图仪、打印机等)、信息存储设备(主要指外存,如硬盘、软盘、光盘等)及网络设备、多媒体设备等组成。

1. 工作站系统硬件介绍

在计算机硬件领域,工作站是一个比较独特的机种,它主要面向专业应用领域,提供强大的数据运算、图形图像处理、网络通信等功能。工作站的应用领域包括 CAD、CAM、动画制作、科学研究、软件开发、金融管理、信息服务、模拟仿真等。目前,市场上主要有两类工作站,一类是基于 RISC 处理器(即精简指令系统处理器,采用 RISC 芯片)的采用 UNIX 操作系统的工作站,称之为 UNIX 工作站;另一类是基于 Intel 处理器的采用 Windows 2000/NT/XP 操作系统的工作站,称之为 NT 工作站。

(1) UNIX 工作站

UNIX 工作站采用 RISC 处理器,且可以配置多个处理器,因而具有极高的浮点运算速度。另外,UNIX 工作站有着 64 位的计算能力。由于 64 位 UNIX 工作站可以突破 4GB 的 32 位寻址极限,因此,为复杂的工程应用提供了大的虚拟内存空间,而它的实际物理内存已经超过了 4GB,可以达到 8~16GB,能满足几乎所有的高性能计算要求,可以满足企业级的应用需要。

(2) NT 工作站

NT 工作站是随着个人计算机性能的不断增强而逐渐发展起来的。自从 Pentium 技术发布以来,Intel CPU 不断吸收 RISC 技术,性能日益提高。在数据处理方面,尤其是浮点运算方面,性能显著增强。基于多个 CPU 的 PC 系统完全具备了传统的 RISC 工作站具备的强大性能。以 Windows NT 为代表的高性能、高稳定性、高可靠性的 32 位操作系统和基于 OpenGL 标准的 PC 图形技术也日益成熟。在这样的情况下,NT 工作站应运而生,并迅速占领了低端工作站

的大块市场。

2. 微机 CAD 系统硬件介绍

20 世纪 90 年代以来, 微机的性能有了很大的提高, 其 CPU 性能指标已接近工作站指标。国外一些 CAD 软件已开始向微机移植, 如 Pro/Engineer、I-DEAS、UGII 等。与此同时, 在 Windows 2000/NT/XP 系统上也出现了一些优秀的 CAD 软件, 如 Solidworks 等。

微机 CAD 系统的硬件配置与普通个人计算机系统有所不同, 它更强调运算能力和图形处理能力。在 CAD 系统的硬件配置中, 应配备功能较强的人机交互设备和图形输入/输出装置, 为 CAD 系统作业时提供一个良好的硬件环境。

3. CAD 系统的硬件组成

CAD 系统的硬件主要由主机、存储设备、输入设备、输出设备等组成。

(1) 主机

主机由中央处理器 (CPU) 和内存储器 (简称为内存) 等组成, 是整个 CAD 系统的核心。衡量主机性能的指标主要有两项: CPU 性能和内存容量。

1) CPU 性能

CPU 的性能决定着计算机的数据处理能力、运算精度和速度。CPU 的性能通常用每秒可执行的指令数目或进行浮点运算的这一速度指标来衡量, 其单位符号为 M/S (每秒处理 1 百万条指令) 和 G/S (每秒处理 10 亿条指令)。目前, CPU 的速度已达到 160G/S 以上。一般情况下, 用芯片的时钟频率来表示运算速度更为普遍, 时钟频率越高, 运算速度越快。

2) 内存容量

内存是存放运算程序、原始数据、计算结果等内容的记忆装置。如果内存容量过小, 将直接影响 CAD 软件系统的运行。内存容量越大, 主机能容纳和处理的信息量也就越大。

(2) 外存储器

外存储器简称为外存。虽然内存储器可以直接和运算器、控制器交换信息, 存取速度很快, 但内存储器成本较高, 且其容量受到 CPU 直接寻址能力的限制。外存作为内存的后援, 使 CAD 系统将大量的程序、数据库、图形库存放在外存储器中, 待需要时再调入内存进行处理。

外存储器通常包括硬盘、软盘、光盘、U 盘等。

(3) 图形输入设备

在 CAD 作业过程中, 不仅要求用户能够快速输入图形, 而且还要求能够将输入的图形以人机交互方式进行修改, 以及对输入的图形进行图形变换 (如缩放、平移、旋转) 等操作。因此, 图形输入设备在 CAD 硬件系统中占有重要的地位。目前, CAD 系统常用的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪等。

(4) 图形输出设备

图形输出设备包括图形显示器、绘图仪、打印机等。

图形显示器是 CAD 系统中最为重要的硬件设备之一, 主要用于图形图像的显示和人机交互操作, 是一种交互式的图形显示设备。图形显示器的主要器件是阴极射线管 (CRT), 它有 3 种类型: 直接存储管式显示器、射线刷新式显示器、光栅扫描式显示器。

随着人们对显示器轻型化、薄型化以及大尺寸的要求, 目前液晶显示器和等离子显示器的应用越来越多。由于这些显示器的制造成本逐渐降低, 已呈现出取代基于 CRT 的光栅扫描式显示器的趋势。

绘图仪、打印机等也是目前常用的图形输出设备。目前常用的绘图仪为滚筒式绘图仪。这

种绘图仪具有结构简单紧凑、图样长度不受限制、价格便宜、占用工作面积小等优点。常用的打印机主要有针式、喷墨、激光打印机等。

1.3.3 CAD 系统的软件组成

计算机软件是指控制计算机运行，并使计算机发挥最大功效的各种程序、数据及文档的集合。在 CAD 系统中，软件配置水平决定着整个 CAD 系统的性能优劣。因此说硬件是 CAD 系统的物质基础，而软件则是 CAD 系统的核心。从 CAD 系统的发展趋势看来，软件占据着越来越重要的地位，目前，系统配置中的软件成本已经超过了硬件。

可以将 CAD 系统的软件分为 3 个层次，即系统软件、支撑软件和应用软件。系统软件是与计算机硬件直接关联的软件，一般由专业的软件开发人员研制，它起着扩充计算机的功能以及合理调度与运用计算机的作用。系统软件有两个特点。一是公用性，无论哪个应用领域都要用到它。二是基础性，各种支撑软件及应用软件都需要在系统软件的支撑下运行。

支撑软件是在系统软件的基础上研制的，它包括进行 CAD 作业时所需的各种通用软件。应用软件则是在系统软件及支撑软件支持下，为实现某个应用领域内的特定任务而开发的软件。下面分别对这 3 类软件进行具体介绍。

1. 系统软件

系统软件主要用于计算机的管理、维护、控制、运行，以及计算机程序的编译、装载和运行。系统软件包括操作系统和编译系统。

(1) 操作系统

操作系统主要承担对计算机的管理工作，其主要功能包括文件管理（建立、存储、删除、检索文件）、外部设备管理（管理计算机的输入、输出等外部硬件设备）、内存分配管理、作业管理和中断管理。操作系统的种类很多，在工作站上主要采用 UNIX、Windows 2000/NT/XP 等；在微机上主要采用 UNIX 的变种 XENIX、ONIX、VENIX、以及 Windows 系列操作系统。

(2) 编译系统

编译系统的作用是将用高级语言编写的程序释译成计算机能够直接执行的机器指令。有了编译系统，用户就可以用接近于人类自然语言和数学语言方式编写程序，而翻译成机器指令的工作则由编译系统完成。这样，就可以使非专业的各类工程技术人员很容易地用计算机来实现其设计目的。

目前，国内外广泛应用的高级语言 FORTRAN、PASCAL、C/C++、Visual Basic、LISP 等均有相应的编译系统。

2. CAD 支撑软件

支撑软件是 CAD 软件系统中的核心，是为满足 CAD 工作中一些用户的共同需要而开发的通用软件。近 30 多年来，由于计算机应用领域迅速扩大，支撑软件的开发研制有了很大的进展，推出了种类繁多的商品化支撑软件。CAD 支撑软件主要包括图形处理软件、工程分析与计算软件、模拟仿真软件、数据库管理系统、计算机网络工程软件、文档制作软件等。

(1) 图形处理软件

1) 基本图形资源软件 基本图形资源软件是根据各种图形标准或规范实现的软件包，大多是供各种应用程序调用的图形程序库或函数库。CGI、GKS、PHIGS、OpenGL (Open Graphics Library, 开放的图形程序库) 等。这类基本图形资源软件通常具有与设备无关性，支撑软件和应用软件开发人员可以直接调用，使软件的可移植性得到极大的加强。