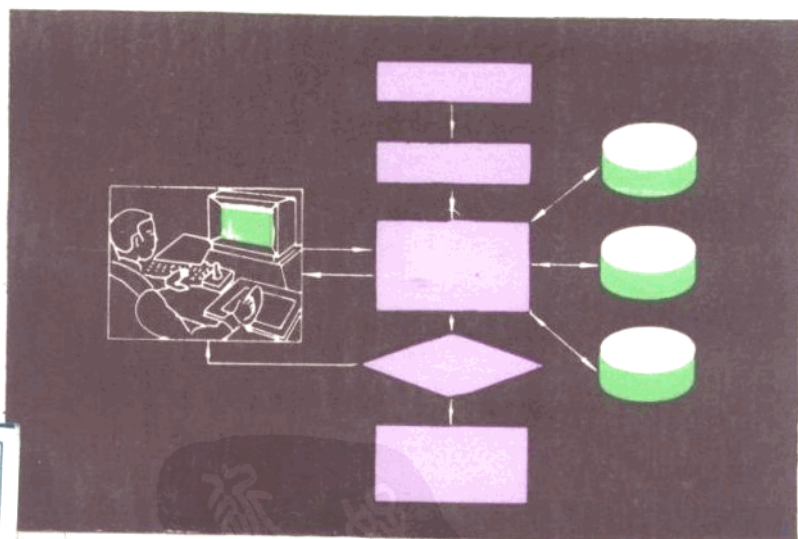


机电产品现代设计统一培训教材

计算机辅助设计

王 明 编



机械工业出版社

TP391.7-
T=TM/1

机电产品现代设计统一培训教材

计算机辅助设计

唐照民 主编



0026744



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机辅助设计的基本知识、原理和方法。内容由浅入深，注意实用性，实例较多，各章附有习题，便于读者自学。

主要内容有：计算机辅助设计硬件和软件发展概况，编制设计程序的一般方法，数据结构知识及关系数据库在CAD中的应用，应用绘图机指令编制绘图程序的方法，图形显示及图形变换，交互式图形软件的使用方法，专家系统知识等。

本书可作为工程技术人员后继教育培训教材和高等院校工科有关专业“计算机辅助设计”课程教材，也可供有关工程技术人员、教师、研究生参考。

JS376/02

计算机辅助设计

唐照民 主编

*

责任编辑：黄永友 版式设计：朱淑珍

封面设计：姚 毅

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京图书出版业营业登记注册证字第117号）

北京市通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

开本 850×1168¹/32·印张10.375·插页2·字数290千字

1993年3月北京第一版·1993年3月北京第二次印刷

印数 5,001-12,000·定价：8.00元

*

ISBN 7-111-03276-4/TP·160

编辑委员会

主任委员：郭志坚

副主任委员：李宣春 潘兆庆

委	员：	周长源	孙靖民	张存库	杨敢新	刘元杰
		陈康民	赵松年	赵学仁	万耀青	李光泉
		郭青山	范祖尧	束鹏程	毕振南	计有为
		卢玉明	雷闻宇	徐宗俊	薛继良	许大中
		黄纯颖	欧宗璞	周 济	洪如娟	韩中光

序 言

在各级领导部门、高等院校的倡导和宣传下，机电行业的现代设计方法推广和培训工作取得了很大进展，并且已经见了成效。1990年，机电部颁发了机电科〔1990〕213号文件及附件《加强机电产品设计工作的规定》，明确地指出了推广和普及现代设计方法的重要性，并把现代设计方法推广纳入了宏观管理的轨道。从1989年到现在，有关部委和地方的机电制造主管部门在充分酝酿和讨论的基础上，制定了机电产品现代设计试点项目共1401项。到目前为止，1/3的项目已经完成。一些企业在完成这些项目的过程中，创造了明显的经济效益，尝到了甜头。

管理干部培训对现代设计方法推广起了很大的促进作用。从1988年到现在，有关部委和几乎所有的地方主管部门都举办了各种形式的管理干部现代设计方法学习班、研讨班，大部分领导同志都是通过这些培训才对现代设计方法有所了解，并认识到了推广现代设计方法的紧迫性。很多负责同志在接受培训后积极主动地要求承担项目试点任务。

推广现代设计方法的中心环节和中心内容是设计人员尤其是骨干设计人员的培训。因为只有让大多数设计人员掌握了现代设计理论和设计技术，并将之应用于产品开发和设计，从根本上提高机电产品的设计水平和产品水平，才会产生巨大的经济效益，促进整个行业的迅速发展。为此，机电部科技司于1990年9月在上海专门召开了一次由行业主管部门、高等院校的领导、专家、学者参加的现代设计统一培训联席会议，决定对设计人员进行有计划、有步骤的统一培训，并由一直协助科技司进行现代设计方法推广工作的机电产品设计信息中心负责组织有关专家编写一套融科学性、实用性为一体的培训教材，即《机电产品现代设

计统一培训教材》。这套教材共分14册，各分册的名称是：计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、工业艺术造型设计、设计方法学、反求工程技术、有限元法、价值工程、机械动态设计、三次设计、疲劳设计、专家系统、智能工程、模块化设计。

现代设计方法，既不是单纯指计算机技术，也不单纯指以设计的一般规律和一般途径为研究对象的设计方法学。它应当包括一切先进的设计理论、设计技术和设计方法，是一切先进而行之有效的设计思想的集成与统一。现代设计培训应当把学以致用作为基本原则。正因为如此，被邀请参加编写教材的作者大都是现代设计方法推广中有丰富实践经验的专家和学者，而这套教材不仅系统地介绍了现代设计方法的基本内容，还列举了大量应用实例。

设计是一项涉及多种学科、多种技术的交叉工程。它既需要方法论的指导，也依赖于各种专业理论和专业技术，更离不开技术人员的经验和实践。现代设计方法是在继承和发展传统的设计方法的基础上融汇新的科学理论和新的科学技术成果而形成的。因此，推广现代设计方法，并不是要完全抛弃传统方法和经验，而是要让广大设计人员在传统方法和实践经验的基础上掌握一把新的思想钥匙。

设计是产品生产和经营的后盾，企业实现自主设计是我国企业自力更生的主要标志。要想以优秀的产品占领国内外市场，就要在设计上下大功夫。这就要求我们尽快更新设计人员的知识结构，更新设计基础数据和设计手段，提高产品开发和改进的速度和效益。希望大家在实践中了解和学习这套教材，更希望现代设计方法在产品开发的实践中结出累累硕果！

机械电子工业部副总工程师

郭志坚

1991年8月

前 言

科学技术是第一生产力，当今世界各国生产力的发展在很大程度上取决于科学技术的发展。计算机辅助设计（CAD）就是随着计算机及其外围设备发展而迅速形成的一门新兴的科学技术。它的发展与应用已经为提高设计质量和效率、缩短产品更新换代周期，取得了明显的效益。电子技术与计算机技术的发展，造就了类型众多、性能良好的计算机辅助设计硬件设备问世。各种图形处理装置不仅已形成了系列产品，而且已成为CAD的一般配置，为实现先进的交互式计算机辅助设计系统奠定了强有力的基础，使CAD技术迅速向工程设计中各个领域的广度和深度渗透。目前，计算机已越来越成为工程技术人员进行创造性设计活动中不可缺少的手段。可以预料，计算机辅助设计方法必将成为从事产品设计的工程技术人员必须掌握的基本技能。

本书是编者多年来从事CAD课程的教学和研究的基础上，是在为工厂、企业进行CAD技术培训的基础上，为广大从事机电产品设计的技术人员掌握CAD技术而编写的教材。它也可作为高等学校“计算机辅助设计”课程教材。书中系统地介绍了在计算机辅助设计中必须掌握的基本原理和方法，如：计算机辅助设计硬件和软件发展概况；用FORTRAN语言编制设计程序的方法；数据结构知识及关系数据库在CAD中的应用；用绘图机指令编制绘图程序的方法，图形显示和图形变换；交互式图形软件的使用方法；专家系统知识等。

本书在内容的叙述和编排上力求做到由浅入深，便于自学。在选材上着重于内容的实用性，并通过大量编程实例介绍带有规律性的普遍方法，使读者既能学以致用，又具有举一反三的能力。教材内容的覆盖面较广。用一定篇幅介绍了当前微机上广为

流行的软件，还考虑到机电结合与通用性，增添了计算机辅助电路分析与设计的内容。此外，各主要章节后还附有习题，以便读者作上机练习。

本书编者有：西安交通大学唐照民（第1、2、3章）、徐国治（第4章）、李质芳（第5章），上海交通大学丁怡（第6章），华中理工大学戴同（第7章）。由唐照民任主编。

陕西机械学院梁春棠同志主审了本书。西安交通大学姜琪同志阅读了本书部分章节，并提出了宝贵意见。谨在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中如有不妥及错误之处，敬祈读者不吝指正。

编者

1991年5月

目 录

序言

前言

第 1 章 概论	1
1.1 计算机辅助设计的基本概念	3
1.2 计算机辅助设计系统的硬件	6
1.3 计算机辅助设计系统的软件	13
1.4 计算机辅助设计系统的型式	16
第 2 章 编制机械设计程序的一般方法	20
2.1 流程图在机械设计编程中的应用	20
2.2 机械设计中一元列表函数的存取方法	22
2.3 机械设计中二元列表函数的存取方法	33
2.4 人机交互式程序的编制技术	43
2.5 数据文件的建立与应用	48
2.6 汉字信息处理方法	53
2.7 一般机械设计程序的编制方法及实例	58
习题	70
第 3 章 数据结构与数据库	73
3.1 数据结构的基本知识	73
3.2 常用的查找技术	81
3.3 dBASE III 数据库管理系统	85
3.4 dBASE III 在计算机辅助设计中的应用	100
习题	111
第 4 章 计算机辅助电路分析与设计	112
4.1 引言	112
4.2 电路方程的建立	114
4.3 线性电路的稳态分析	132
4.4 线性电路的瞬态分析	148
4.5 灵敏度分析	154

4.6	计算机辅助电路设计	156
4.7	CAD 在印制电路板设计中的应用	160
	习题	164
第 5 章	计算机绘图	166
5.1	自动绘图机的结构与工作原理	166
5.2	自动绘图机图形处理软件	174
5.3	机械零件图形绘制的编程方法	188
5.4	图形显示技术	197
5.5	图形变换基本原理	211
	习题	224
第 6 章	交互式计算机绘图及应用	225
6.1	交互式图形处理系统的组成	225
6.2	Auto CAD 绘图软件包简介	229
6.3	Auto CAD 与高级语言的联接	274
6.4	Auto CAD 软件的发展与应用	283
	习题	286
第 7 章	专家系统	287
7.1	专家系统的基本概念	287
7.2	机械设计专家系统的总体结构	290
7.3	知识获取及知识表示方法	294
7.4	专家系统的推理方法	300
7.5	用 LISP 实现产生式系统的实例	303
	参考文献	320

第1章 概 论

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 通称CAD) 是从50年代开始, 随着计算机及其外围设备的发展而形成的一门新技术。60年代初, 美国麻省理工学院在1963年美国计算机联合会的年会上, 集中发表了5篇有关CAD的论文, 对计算机辅助设计作了具体而形象的描述, 并提出了CAD的概念, 在工程技术界引起了极大的关注。不久, 美国通用汽车公司和IBM公司率先设计了DAC-1 (Design Augmented by Computer) 系统, 利用计算机来设计汽车前窗玻璃的型线, 这是CAD技术用于实际的最早例子。在随后的20多年时间里, CAD技术得到了迅速的发展, 其主要原因在于:

(1) 商品市场竞争的加剧, 不仅要求缩短产品更新换代周期, 而且还要求产品由原来的单一品种、大批量生产模式, 转向多品种、高质量、小批量生产模式。因而, 传统的人工设计方式已不能适应这种变化的要求。于是各企业纷纷寻求新的设计方法与手段, 来提高开发新产品的能力和增强新产品的竞争能力。CAD技术就是在这种形势促使下发展起来的。

(2) 随着计算机技术与电子技术的发展, 至今已有类型众多、性能良好的计算机硬件及外围设备陆续问世。图形显示器、数字化仪、光笔、自动绘图机等品种和功能日益丰富的图形处理装置, 已逐步形成质量可靠的系列产品, 并已成为CAD的一般配置, 这些成果为推动CAD技术的发展创造了必要的条件。

(3) 近年来, 计算机软件技术有了很大提高, 发展了数据库技术, 开发了大量图形软件, 以及与现代设计理论相适应的各种应用软件(如有限元强度计算、优化设计等软件)。成熟的商品化软件的涌现, 又促进了CAD技术的应用与发展。

目前, CAD在一些技术先进的工业国家中已经得到了广泛的

应用。在日本有 80% 以上的公司已不同程度地应用了 CAD 技术。CAD 的应用领域已从早期的辅助机械设计、印刷电路板设计, 逐步扩大到超大规模集成电路设计、服装与花样设计、管道布局设计等。CAD 系统的硬件及软件水平也在不断提高。

近年来, CAD 硬件发展的速度也令人惊异。80 年代后期, 第四代 32 位高级微机问世, 以高级微机组成的网络型 CAD 工作站, 由于其投资少、功能强, 在 90 年代将成为中、小型企业受欢迎的 CAD 系统。此外, 各种新型的 CAD 系统外围设备不断推陈出新。例如, 能快速向计算机输入图样的工程图样自动扫描输入系统, 以及与之配套的工程图样自动扫描输入向量化软件, 能将图纸以光栅扫描方式读入, 并转变为二维向量后, 输入计算机系统, 在图形软件支持下可进行图形编辑处理。又如, 高分辨率显示器及图形输入板、激光打印机等先进设备陆续进入商品市场。众多的新型计算机外围设备, 为 CAD 应用向更高水平发展创造了条件。

80 年代在, CAD 软件技术方面, 也取得了一系列成果。就国内而言, 主要表现在与 CAD 有关的算法取得了进展, 并编制了相应的软件。例如, 在研究优化设计方法的基础上, 研制了一大批有实用价值、功能好、使用方便的机器零、部件优化设计程序库。又如, 在研究计算机图形学的基础上, 发展了我国自行研制的实用图形系统。解决某类问题的专用软件也日益增多, 其中不少已应用于生产, 并取得了明显的效益。

与此同时, 也从国外引进了大量 80 年代水平的商品化软件。例如, 用于工程设计的有限元结构分析程序 SAP-V; 用于微机的交互式图形软件 Auto CAD, 在微机上广为应用的数据库管理系统 dBASE III, 三维图形系统 CAD KEY 等。过去在中、小型机上运行的软件, 已在向高级微机上移植, 如具有体素造型、动态分析、影象处理等一系列三维功能的 Auto-trol、CALMA 两个软件, 已在 Apollo DN3000 机上实现。这些软件的应用, 大大丰富了 CAD 的内容, 为推进 CAD 工作起了重要的作用。

随着 CAD 技术的发展和日趋完善, 以及 CAD 系统的普及

应用，可以预料，计算机辅助设计系统必将成为设计工作中不可缺少的设备，计算机辅助设计方法将成为从事设计工作的工程技术人员必须掌握的基本技能。

本章将简介计算机辅助设计的基本概念，计算机辅助设计的硬件和软件配置，计算机辅助设计系统的型式等有关 CAD 的基本知识，使读者对计算机辅助设计的全貌有个概括的了解。

1.1 计算机辅助设计的基本概念

在讨论 CAD 概念之前，应对产品设计过程有所了解。产品设计的一般过程可以概括如下：

(1) 提出设计任务 通常，人们是根据市场或社会需求提出设计任务的。因为产品设计的目的是要将提供的资源（原材料、能源等）设法转化为具有某种功能的技术装置，以满足社会客观的需求。

(2) 明确设计要求 根据设计任务，通过对现有资料的检索及调查研究，对所设计产品的功能、生产率、可靠性、使用寿命、生产成本等方面，提出明确而详细的量化指标。

(3) 方案设计 在满足设计要求的前提下，由设计人员构思可行的方案，并用方案图或原理图表达出来。经过筛选，从几个可行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。

(4) 技术设计 在方案设计的基础上完成产品的总体设计、部件设计、零件设计。设计结果以工程图样及计算书的形式确定下来。

(5) 制造加工、试验及修改设计 经过加工制造、样机试验或现场生产试用，将加工、试验过程中发现的问题反馈给设计人员，以便修改设计。

上述设计过程可用图1-1表示。由此可见，设计是以满足社会客观需求及提高社会生产力为目标的一种创造性劳动，它对工业发展及人类生活水平的提高有着重大的影响。计算机辅助设计

就是应用计算机来辅助设计人员完成设计过程中的部分工作。

早期的计算机辅助设计，主要是运用计算机来完成设计工作中一部分复杂、繁琐、重复性的数值计算工作。随着计算机外围设备的发展，尤其是图形处理装置及计算机图形学的发展，计算机辅助设计才逐步深入到设计的各个阶段和设计工作所涉及各个领域。目前计算机辅助设计已不仅能利用计算机运算速度快、计算精度高、存储信息量大、逻辑推理能力强等优点代替人工进行计算与绘图，而且还能通过人机交互，最大限度地发挥设计人员的创造力和经验。当这样充分地综合了人与计算机各自的特长以后，计算机辅助设计就能确保高质量、高效率地完成设计工作。

在计算机辅助设计工作中，计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换。也就是在设计人员构思、判断、决策的基础上，由计算机对大量设计资料进行检索，根据设计要求进行计算及优化设计，将初步设计结果的图样显示出来，以人机交互方式加以修改，经设计人员确认后，将设计结果（图样及计算资料）在绘图机及打印机上输出（图1-1）。由此可见，CAD工作的主要内容有以下3个方面：

（1）建立产品设计数据库

产品设计数据库是用来存储设计某类产品时所需的各种信息，如有关标准、线图、表格、计算公式等。数据库可供CAD作业时检索或调用，也便于数据的管理及数据资源

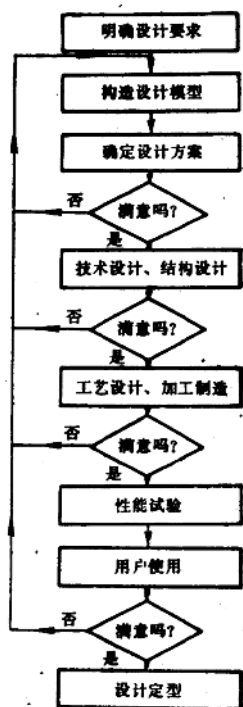


图1-1 产品设计流程图

的共享。1990年机电部在《加强机电产品设计工作的规定》中,对建立数据库的工作做了规划,准备在近几年内将有关行业设计手册中的数据存入软磁盘中,供各有关行业设计工作者使用。这充分说明建立产品设计数据库的工作是推广CAD技术的一个主要内容。

(2) 建立多功能交互式图形程序库 这个图形程序库可以进行二维及三维图形的信息处理,能在此基础上绘制工程设计图样、各种函数曲线,可进行图形变换,建立图形库等图形处理工作。

(3) 建立应用程序库 也就是编制及汇集解决某一类工程设计问题的通用及专用设计程序,如通用数学程序、常规机械设计程序、优化设计程序、有限元方法计算程序等。

在建立了上述产品设计数据库、图形程序库、应用程序库的基础上,就能进行以下几项CAD主要工作:

(1) 向CAD系统输入设计要求,以及根据设计要求构造出来的产品几何模型。由计算机将图形转换为数据信息,存于数据库中。

(2) 利用应用程序库中已编制的各种应用程序,进行设计计算及优化设计。确定设计方案及产品零部件的主要参数。将设计的初步结果以数据及图形方式输出到显示器上。

(3) 运用交互式图形程序库,以人机交互作业方式对初步设计的图形进行实时修改。最后由设计人员确认设计结果。

(4) 用硬拷贝输出设计结果,其中包括设计计算数据及图样,甚至可直接输出数控机床加工用的穿孔纸带。

上述CAD工作过程可用图1-2表示。通过以上的描述,不难理解CAD技术具有如下优点:

(1) 提高设计工作效率,缩短设计周期,加快产品的更新换代。在机械产品及工艺设计中,一般可以节省 $2/3 \sim 9/10$ 的时间^{〔2〕}。

(2) 提高设计质量。在数据库、程序库、图形库支持下,应用人机交互方法可以在短时间内得到优化的设计结果。同时在

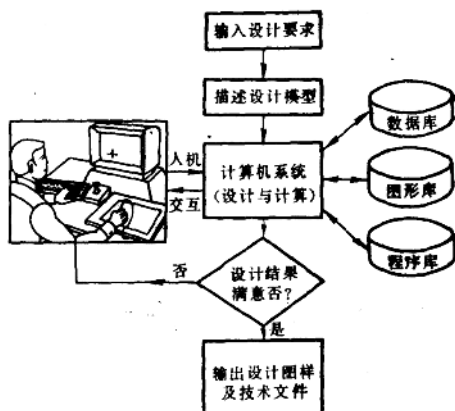


图1-2 CAD工作过程

产品结构、能耗、材料等方面取得最佳效果。

(3) 使设计人员从繁琐重复的设计劳动中解放出来,以便将聪明才智及精力投入到新技术开发研究、现代设计理论与方法的研究之中,进行计算机所不能替代的创造性工作。

(4) 有利于产品标准化、系列化、通用化。应用CAD方法,只要改变输入参数,就能方便地实现产品系列设计,有力地促进产品的标准化、系列化。

(5) 有利于计算机辅助制造(CAM)的发展。通过CAD/CAM集成化,实现产品设计和制造的一体化。

1.2 计算机辅助设计系统的硬件

1.2.1 CAD系统的硬件配置

CAD系统的硬件配置与通用计算机系统略有差异,其主要不同之处在于CAD系统硬件配置中应有较强的人机交互设备及图形系统,为产品设计的CAD提供一个良好的硬件环境。典型的CAD系统硬件组成如图1-3所示。下面扼要介绍其中的主

要设备。

1.2.1.1 中央处理机 (CPU 简称计算机)

中央处理机由运算器、控制器和内存存储器三大部分组成。运算器负责执行指令所规定的算术运算和逻辑运算。控制器负责解释指令，并控制指令的执行顺序，访问（查找）存储器等。内存存储器（简称内存）是存放指

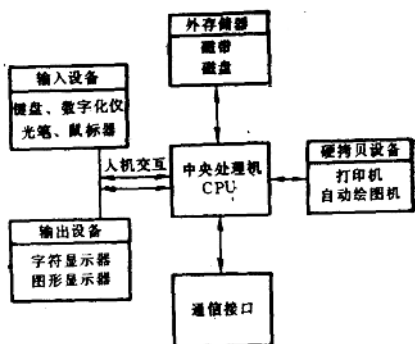


图1-3 CAD系统的硬件

令和数据的部件。中央处理机是整个CAD系统的核心。

CAD系统选用哪种机型，要视所设计产品的生产规模、复杂程度，设计工作量大小等情况而定。目前，在国内应用的有Apollo小型机、VAX-11/750中型机、VAX-11/780大型机、PS/2高级微机、IBM PC/AT微机机型。其中特别是微机，由于体积小、价格便宜、性能可靠，而且也可用于开发小型或中型CAD项目，所以已成为当前国内中、小型企业采用的主要机型。

1.2.1.2 外存储器

计算机中的内存可以直接和运算器、控制器交换信息，存取速度很快。但是CAD作业中包含了科学计算及绘制图形等工作，信息量大，要求有较大的内存能力。若为此而扩大内存，势必造成计算机系统价格过高。因此，目前计算机系统均以外存储器（简称外存）作为内存的后援。将暂时不用的程序及数据“赶到”外存中，待需用时再调入内存。这样，就能实现以较小的内存，完成信息量较大的题目。不过，由于程序与数据在内、外存之间