

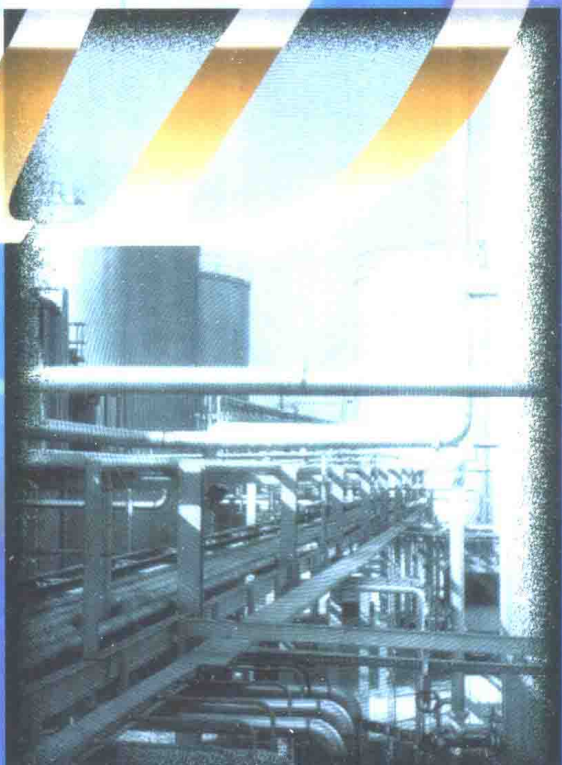
基于AutoCAD2000平台

工程CAD技术 与应用

主编 于奕峰 杨松林

CAD

 化学工业出版社



基于 AutoCAD 2000 平台

工程 CAD 技术与应用

主 编 于奕峰 杨松林
副主编 韩同义 张锡爱
刘超颖 高慧琴

化学工业出版社
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工程 CAD 技术与应用/于奕峰, 杨松林主编 —北京:
化学工业出版社, 2001.12
ISBN 7-5025-3495-4

I 工… II ①于… ②杨… III 工程制图-计算机
辅助设计 IV TB237

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 079283 号

基于 AutoCAD 2000 平台

工程 CAD 技术与应用

主编 于奕峰 杨松林

责任编辑: 徐 蔓 王秀鸾

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 464 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3495-4/TQ · 1448

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

工程计算机辅助设计(简称工程 CAD)是工程技术人员利用计算机的软件、硬件系统为工具,将设计人员思维和计算机的最佳特性结合起来,进行工业产品及工程设计的绘图、分析、编写技术文件等活动的总称。它是随着计算机及其外围设备和软件发展而产生的新型科学技术,是介于工程设计科学与计算机科学间的交叉学科。工程 CAD 技术在近 30 年得到了飞速发展,是高科技领域一门不断发展的新技术。CAD 技术目前已经广泛应用于机械、电子、建筑、轻工、纺织、化工、环保等行业的产品及工程设计。它已经成为提高产品与工程设计水平,降低消耗,缩短产品开发周期,提高劳动生产率、产品质量的重要手段,是企业信息化的重要组成部分。

本书是作者结合多年的教学、科研经验及取得的一些 CAD 科研成果编写的,尽可能体现 CAD 技术的先进性、实用性、通用性,尽量做到理论联系实际。它既可以作为本专科学生的教材或教学参考书,也可以为相关领域内的工程技术人员服务。书中提供的源程序均已通过上机调试。

全书共分为 9 章,主要内容包括:

- 第1章 工程 CAD 绪论
- 第2章 CAD 工程数据的计算机处理
- 第3章 二维图形设计
- 第4章 三维图形设计基础
- 第5章 AutoCAD 软件二次开发技术
- 第6章 现代 CAD 技术及未来发展
- 第7章 CAD 技术在化工设计中的应用
- 第8章 CAD 技术在环境工程及给水排水设计中的应用
- 第9章 CAD 技术在纺织服装工程中的应用

本书作者:第 1 章 杨松林;第 2 章 杨松林,陈曹维;第 3 章 高慧琴,于奕峰;第 4 章 杨松林,韩同义;第 5 章 马晓红;第 6 章 刘超颖,韩同义;第 7 章 于奕峰,刘宝树;第 8 章 罗晓,韩同义;第 9 章 张锡爱。

全书由于奕峰、杨松林同志统稿。由于作者的学识及水平有限,书中难免存在各种缺点和错误,恳请各位专家及读者给予批评指正。

编 者

2001 年 7 月于石家庄

目 录

第 1 章 工程 CAD 绪论	1
1.1 工程计算机辅助设计 (CAD) 概论	1
1.2 CAD 的工作过程及特点	5
1.3 CAD 硬件系统	7
1.4 CAD 软件系统	12
第 2 章 CAD 工程数据的计算机处理	17
2.1 概述	17
2.2 设计表格的计算机处理	17
2.3 线图的程序化	23
2.4 工程数据文件处理	25
2.5 Access 数据库在 CAD 设计中的应用	31
2.6 Excel 电子表格在 CAD 设计中的应用	31
第 3 章 二维图形设计	33
3.1 AutoCAD 2000 简介	33
3.2 AutoCAD 2000 操作基础及绘图准备	35
3.3 常用二维绘图命令	44
3.4 常用二维编辑命令	53
3.5 辅助命令及功能	64
3.6 图块与属性	67
3.7 文本标注与编辑	71
3.8 尺寸标注	74
3.9 图形输出	79
第 4 章 三维图形设计基础	82
4.1 概述	82
4.2 三维造型的基本方法	82
4.3 三维坐标系	83
4.4 三维观察命令	84
4.5 常用三维绘图命令	86
4.6 常用三维编辑命令	93
4.7 各种剖视图生成	96
4.8 装配图、爆炸图生成	97
4.9 各种投影视图的生成	98
第 5 章 AutoCAD 软件二次开发技术	101
5.1 AutoCAD 2000 二次开发技术简介	101
5.2 命令的用户化	101

5.3	线形与图案的开发	102
5.4	幻灯片文件与脚本文件	104
5.5	菜单的开发	105
5.6	快捷键的定义方法	109
5.7	状态栏帮助的定义方法	109
5.8	菜单开发实例	110
5.9	定制工具栏	111
5.10	AutoLISP 语言及编程初步	116
5.11	对话框的设计与制作	128
第 6 章	现代 CAD 技术及未来发展	133
6.1	现代 CAD 技术概述	133
6.2	CAD 外延系统技术的发展	134
6.3	CAD 技术的发展趋势	136
6.4	CAD 标准化	140
6.5	智能 CAD	145
6.6	怎样建立工程设计专家系统	148
第 7 章	CAD 技术在化工设计中的应用	149
7.1	概述	149
7.2	工艺流程图计算机辅助设计	149
7.3	设备布置图计算机辅助设计	163
7.4	管道布置图计算机辅助设计	171
第 8 章	CAD 技术在环境工程及给水排水设计中的应用	181
8.1	概述	181
8.2	CAD 技术在水处理工程制图中的应用	181
8.3	CAD 技术在给水排水设计中的应用	187
8.4	计算机在环境工程设计计算中的应用	201
第 9 章	CAD 技术在纺织服装工程中的应用	204
9.1	概述	204
9.2	计算机辅助纺织厂设计	204
9.3	计算机辅助印染厂设计	211
9.4	计算机辅助服装厂设计	217
9.5	AutoCAD 在服装制图中的应用	227
附录 1	AutoCAD 2000 命令简表	238
附录 2	AutoCAD 2000 系统变量表	245
参考文献	258

第 1 章 工程 CAD 绪论

1.1 工程计算机辅助设计 (CAD) 概论

1.1.1 概述

工程计算机辅助设计 (Engineering Computer Aided Design, 简称工程 CAD) 是用计算机硬件、软件系统辅助工程技术人员进行产品或工程设计、修改、显示、输出的一门多学科的综合应用新技术。它是随着计算机、外围设备及其软件的发展而逐步形成的高技术领域。经过最近 30 年的发展, CAD 技术在国内外已被广泛应用于机械、电子、航空、建筑、轻工、纺织、化工、环保及工程建设等各个领域。

从 80 年代开始, CAD 技术应用工作在我国逐步得到开展, 经过“七五”的努力, 取得了明显的经济效益。采用 CAD 技术后, 工程设计行业提高工效 3~10 倍, 航空、航天部门的科研试制周期缩短了 1~3 倍, 机械行业的科研和产品设计周期缩短了 1/3~1/2, 提高工效 5 倍以上, 特别是近些年, 我国在 CAD 应用和开发方面, 取得了相当大的进展, 二维 CAD 技术已经趋于成熟, 三维 CAD 技术正处于蓬勃发展时期。当然, 从总体水平上讲, 我国 CAD 技术水平与国外工业发达国家相比还有很大的差距; 各地、各行业在 CAD 技术的应用、发展上不尽一致, 特别是在 CAD 技术应用的广度和深度以及对 CAD 普及发展作用的认识方面, 仍然存在着需要解决的问题。

众所周知, 人才培养是开展 CAD 应用工程的重要环节之一, 只有广大工程技术人员掌握了 CAD 技术, 才有可能使之转化为生产力, 促进 CAD 技术向纵深方向发展。90 年代初期国家科委、国家教委等八部委就开始联合推广“CAD 应用工程”, 先后建立了八大 CAD 培训基地、400 多个培训网点, 开展 CAD 技术的普及推广工作。推广 CAD 技术的重要意义在于: 它是加快经济发展和现代化的一项关键性技术, 是提高产品和工程设计的技术水平, 降低消耗, 缩短科研和新产品开发以及工程建设周期, 大幅度提高劳动生产率的重要手段; 是科研单位提高自主研究开发能力, 企业提高应变能力和管理水平, 参与国际合作和竞争的重要条件; 也是进一步向计算机辅助制造 (CAM)、计算机集成制造系统 (CIMS) 发展的重要基础。CAD 技术及其应用水平已成为衡量一个国家的科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。了解 CAD 的发展历史, 有助于我们更好地、更有效地应用这门新兴技术。

1.1.2 CAD 的基本概念

1973 年, 当 CAD 处于发展初期的时候, 国际信息联合会就给 CAD 一个广义的定义: “CAD 是将人和计算机混编在解题专业组中的一种技术, 从而将人和计算机的最佳特性结合起来。”人具有图形识别的能力, 具有学习、联想、思维、决策和创造能力, 而计算机具有巨大的信息存储和记忆能力, 有丰富灵活的图形和文字处理功能和高速精确的运算能力, 上述人和计算机最佳特性的结合是 CAD 的目的。

CAD 有广义和狭义之分, 广义 CAD 即指国际信息联合会给 CAD 定义的一切设计活动; 而狭义的 CAD 是指工程 CAD, 是在产品及工程设计领域应用计算机系统, 协助工程技术人员完成产品及工程设计整个过程。

在方案设计及技术设计阶段, CAD 应用尤为广泛。计算机辅助设计系统则是指进行 CAD 作业时, 所需的硬件及软件两大部分集合。一个完整 CAD 系统的硬件部分应包括主机、图形输入设备、图形显示器及自动绘图机。它区别于一般事务处理计算机系统之处, 主要在于 CAD 系统具有较强的图形处理能力。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。也就是在设计人员初步构思、判断、决策的基础上, 由计

算机对数据库中大量设计资料进行检索，根据设计要求进行计算、分析及优化，将初步设计结果显示在图形显示器上，以人机交互方式反复加以修改，经设计人员确认后，在自动绘图机及打印机上输出设计结果。

1.1.3 CAD 技术发展历程

在科学研究工作中运用计算机进行大量计算，以及在管理工作中应用计算机进行数据处理，在 50 年代已早见成效。相比之下，在工程技术中，特别是在具体设计工作中运用计算机则显得较晚。这主要是由于在设计工作中，传统的信息传递方式是工程图纸，在计算机上需用大量数据才能描述各种几何图形，并要求能将图形输入计算机中，以及输出到图纸上。如果没有相应的硬件及软件，这是难于实现的。

关于 CAD 的历史要追溯到 50 年代。值得一提的是，美国麻省理工学院（MIT）在这方面作了开拓性的研究工作。1950 年第一台图形显示器作为 MIT 旋风 I 号（Whirlwind I）计算机的附件诞生了。该显示器用一个类似于示波器的 CRT 来显示一些简单的图形。1958 年美国 Calcomp 公司把联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪，GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。1963 年，MIT 在美国计算机联合会的年会上，集中发表了五篇有关 CAD 的论文。当时他们这样来描述 CAD：设计师坐在荧光屏的控制台前，用光笔操作，从概念设计到生产设计，都可以实现人机交互，设计师可随心所欲地对计算机所显示的图形进行增、删、改，利用这种计算机系统，人们可以在十几分钟内完成通常需要几个星期才能完成的设计工作。这在当时看来，多少带有一些神奇色彩，然而却极大地震动了讲求实效的工程技术界。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外形与结构，这可以说是 CAD 技术用于工程设计的最早例子。这一阶段 CAD 技术处于被动式的图形处理阶段，我们称其为准备和酝酿时期。

60 年代，计算机硬件从晶体管计算机发展到集成电路计算机，计算机运行速度及内存容量有了很大提高，为在更广阔的范围内应用计算机创造了条件。以大型计算机为基础的 CAD 技术，开始在少数大型企业，特别是在汽车与飞机制造业中得到发展。美国洛克希德（Lockheed）飞机制造公司与 IBM 通用机器制造公司联合开发了基于大型计算机的 CAD/CAM 计算机辅助设计与制造系统 CADAM，即“计算机图形增强设计与制造软件包”，它用于设计及绘图，并具有三维结构分析能力。此时有关 CAD 的理论研究也有了较大进展，提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想，从而为后来的 CAD 技术发展奠定了理论基础。60 年代中期出现了许多商品化的 CAD 设备，60 年代末期，美国安装的 CAD 工作站达到 200 多台，可供几百人使用，此时 CAD 技术处于蓬勃发展和进入应用时期。

70 年代，CAD 技术进入广泛使用时期。计算机硬件从集成电路发展到大规模集成电路，使小型计算机性能价格比有了大幅度提高。开始出现了基于小型机的 CAD 成套系统（Turnkey System），即交钥匙系统，1970 年美国 Applicon 公司第一个推出完整的 CAD 系统。出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统，它包括图形输入及输出设备和相应的应用软件，软硬件配套使用。70 年代末，美国 CAD 工作站安装数量超过 12000 台，使用人数超过 2.5 万人，此时中、小企业也开始关注并采用 CAD 技术。

80 年代 CAD 技术进入突飞猛进时期，特别是小型机及微型机的性能不断提高，价格不断下跌。计算机外围设备如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等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 的一般配置，为推动 CAD 技术向更高水平发展提供了必要条件。在这个时期，图形系统和 CAD/CAM 工作站的销售数量与日俱增，美国实际安装的 CAD 系统达到 63000 套，CAD/CAM 技术从大中企业向中小企业扩展，从产品设计发展到用于工程设计和工艺设计。

在此期间，适用于小型机及微型机的软件技术也迅速提高，发展了数据库技术，开发了大量图形软件，以及与现代设计方法相适应的各种应用软件（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 技术的应用与发展。由于国际上商品市场竞争日益加剧,要求加快产品更新换代,产品由原来单一品种、大批量生产模式转向多品种、高质量、小批量生产模式。因而,传统的人工设计方法已不能适应这种市场变化的要求,广大中、小企业纷纷求助于 CAD 技术。广泛的社会需求及应用,又促使 CAD 技术得到进一步发展与提高。

开放式、标准化、集成化和智能化成为 90 年代 CAD 技术发展的鲜明特色。由于微机加 Windows 95/98/NT 操作系统和 workstation 加 UNIX 操作系统在 Internet 环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台,因此现在的 CAD 技术及其系统都具有良好的开放性,图形接口、图形功能日趋标准化。在 CAD 系统中综合应用正文、图形、图像、语音等多媒体技术和人工智能、专家系统等技术大大提高了自动化设计程度,出现了智能 CAD 学科。智能 CAD 技术把工程数据库及其管理系统、知识库及其专家系统、拟人化的用户管理系统集于一体,为 CAD 技术发展提供了更广阔的空间。

1.1.4 CAD 技术的现状

CAD 技术经历了二维绘图、三维线框、曲面造型、实体建模、变量化设计、参数化造型、特征建模、复合建模、装配及参数化、智能化设计等阶段。随着计算机硬件的不断发展,目前 CAD 软件技术的发展具有如下几方面特点。

(1) 易用性

① 硬件平台 微机性能大大提高,价格大幅下降,使得原来只能在 UNIX 操作系统上运行的高档 CAD 软件纷纷转移到微机平台上,从而大大降低了 CAD 系统的总投资。

② 软件环境 大量的计算机用户非常熟悉微机的窗口系统,它几乎成为无需培训便可使用的软件环境。因此大量的 CAD 软件采用窗口系统,提高了 CAD 系统的易用性。

③ 网络环境 并行工程和协同工作已经成为 CAD 行业无可争议的发展方向,因此 CAD 软件还需要解决不同人员,不同地点之间的数据共享问题。Web 技术是解决这个问题的理想手段,是 CAD 软件广泛采用的重要技术。

(2) 成熟性 经过 30 多年的发展,CAD 的核心技术——几何拓扑学已经趋于成熟,并且逐步形成公认的图形标准。目前使用最为广泛的有 Parasolid 和 ACIS 等图形核心软件。CAD 软件供应商把主要精力集中在如何给用户提供更加方便、有效、快速的设计与分析的使用工具。

软件的成熟性还表现在通用 CAD 系统的功能几乎大同小异,用户无需在软件功能的比较和选型方面下很大的功夫,而应该把更多的精力放在该软件的发展策略和技术服务能力的考察上面。

(3) 智能性 随着 CAD 技术不断发展,设计知识从一个零件的关键尺寸参数化逐渐发展到零件特征的参数化和装配件关键尺寸的参数化等几何知识。近两年设计知识进一步扩充到整体几何设计知识,如零件的体积、表面积、转动惯量等参数控制,甚至于控制非几何的设计知识,如规定装配件中零件的联接方式、运动部分的活动范围,从而大大提高了设计水平和设计效率。

(4) 集成性 为了实现并行工程和协同工作,作为设计的龙头 CAD 软件必须尽早与下游的各项工作进行快速有效地通信,因此 CAD 和 CAE、CAPP、CAM 的集成一直是 CAD 供应商追求的目标。随着产品数据管理要求的日益高涨,CAD 集成到 PDM 系统也成为当前的重要课题之一。人们普遍认识到各个软件孤岛将会给整个企业的管理带来没完没了的麻烦。

在实际应用中用户经常采用混合型,一般高档的 CAD 软件负责复杂的零件设计、分析与加工编程;中档软件负责对一般零件的设计;低档软件负责绘制工程图纸,最后在高档或中档 CAD 软件中实现装配、虚拟样机和干涉检查。这种混合型的应用是比较经济的,但是必须解决好这三档 CAD 软件之间的数据交换,最好选用同一个供应商推出的无缝联接的 CAD 系列软件。

1.1.5 CAD 技术的发展概述

根据当今计算机硬件及软件发展状况, 预计 CAD 技术今后将在以下方面进行重点研究, 并将取得进展。

(1) CAD 系统的智能化 用于设计的 CAD 系统近十年有了迅速的发展, 很多著名的 CAD 系统软件, 在产品设计、分析、计算与绘图等方面发挥了重要的作用。但设计工作并不仅限于此, 在设计过程中, 尤其是方案设计阶段, 还必须根据专家丰富的经验与知识, 作出合理的判断与决策, 才能获得优良的设计成果。

将领域专家的知识与经验, 运用人工智能技术, 归纳成一些规则, 形成知识库。再利用推理机制, 进行推理及判断, 最终应用计算机处理后, 获得具有专家水平的设计结果。这种将人工智能技术与 CAD 技术相结合, 使 CAD 系统智能化的计算机程序, 又称为专家系统。90 年代初, 应用于工程设计的专家系统已取得令人瞩目的成绩, 预计在未来发展过程中它将充分展示应用潜力和广泛的应用前景。

(2) 实体造型与仿真 三维几何造型是近年来为适应 CAD 发展而不断完善的一种绘制三维形体的软件系统。表达一个三维形体的建模方法基本上有三种: 线框建模、表面建模、实体造型。前两种建模方法的缺点是不能惟一地表达空间三维物体, 而且无法对物体进行剖切, 以表达物体的内部结构。因而近年来又发展了实体造型 (Solid Modeling)。实体造型是用基本体素的组合, 并通过集合运算和变形操作来建立三维形体的建模方法。它不仅可静态造型, 还可进行动态造型: 不仅能准确地表达三维物体的形状, 还可以通过彩色、光照、浓淡处理来增强显示物体的真实感; 不仅能对所建立的模型提供几何信息, 还能提供物体的体积、重量、加工要求等非几何信息。目前市场上已推出有多种实体造型功能的商品化软件。整个 90 年代, 实体建模发展近乎成熟, 它将会有很大发展, 并达到高水平实用化程度。

计算机仿真就是在计算机上建立一个工程设计的实际系统 (如机构、机器、机械手、机器人等) 的计算机模型, 并通过运行仿真软件代替实际系统的运行, 以便对设计结果进行试验和考核。仿真的内容十分广泛, 设计阶段的仿真有应力分析、振动分析、机构、动态分析等; 制造阶段的仿真有数控仿真、机器人仿真、搬运仿真、测试仿真、加工刀具轨迹仿真等。仿真与三维实体造型关系十分密切, 它的发展将依赖于实体造型与计算机图形学的发展。

(3) CAD 系统的集成化 CAD 系统的集成化是当前 CAD 技术发展的另一个重要方面。集成化形式之一, 是将 CAD 与 CAM 集成为一个 CAD/CAM 系统。在这样的系统中, 设计师可利用计算机, 经过运动分析、动力分析、应力分析, 确定零、部件的合理结构形状, 自动生成工程图纸文件, 存放在数据库中。再由 CAD/CAM 系统, 对数据库中的图纸数据文件, 转换后记录在磁带上, 直接用它控制计算机数控机床 (CNC) 去加工制造, 形成所谓的“无图纸生产”。CAD/CAM 的优点是技术先进、降低成本、提高产品竞争力。目前在印刷电路板和集成电路设计制造中已取得明显的经济效益。

CAD/CAM 进一步集成是将 CAD/CAM (计算机辅助制造)、CAPP (计算机辅助工艺规程)、CAT (计算机辅助试验)、PDM (产品数据管理) 集成为 CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程系统), 使设计、制造、工艺、数据管理、测试工作一体化。

设计与制造更高层次的集成, 即当今所谓的计算机集成生产系统 (Computer Integrated Manufacturing System, 简称 CIMS)。CIMS 是把产品规划、设计、制造、检验、包装、运输、销售等各个生产环节均包含在内的计算机优化和控制系统, 以期实现产品生产的高度自动化。为提高产品在国际市场的竞争力, 目前不少大型跨国公司都在致力于 CIMS 系统的开发与研究, 我国在这方面的研究也取得了可喜的成就。

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手段, 计算机辅助设计方法也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。因此, 对一位跨世纪的工程技术人员来说, 尽早掌

握 CAD 技术是十分必要的。

1.1.6 CAD 技术的内涵

CAD 是一种用计算机硬、软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。

基础的 CAD 工作涉及以下一些技术:

- ① 图形处理技术,如自动绘图、几何建模、图形仿真及其他图形输入、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、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,带动了先进设计技术的同步发展,使传统 CAD 技术有了很大的扩展,我们将这些扩展的 CAD 技术总称为“现代 CAD 技术”。

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,但也有些活动尚难用 CAD 技术来实现,如设计的需求分析、设计的可行性研究等。将设计过程中能用 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,设计过程中越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此 CAD 技术的覆盖面将越来越宽,以至整个设计过程就是 CAD 过程。设计过程与 CAD 过程的关系值得指出的是:不应该将 CAD 与计算机绘图、计算机图形学混淆起来。下面叙述后者的技术内涵。

1.1.7 计算机绘图的内涵

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。目前它以二维交互绘图方法为主要研究内容。

计算机图形学(Computer Graphics, CG)的内涵: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(根据 ISO 在数据处理词典中的定义)。CG 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、图形的消隐与裁剪、真实感图形生成等等。近年来,CG 向更深的方向发展,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。涉及广阔的应用领域,如统计管理、测量、生物、医学、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 CG 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 CG 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 技术的重要基础之一;CG 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。

1.2 CAD 的工作过程及特点

1.2.1 传统产品的设计过程

讨论 CAD 的工作过程以前应对传统产品设计过程有所了解。该设计过程可概括为以下

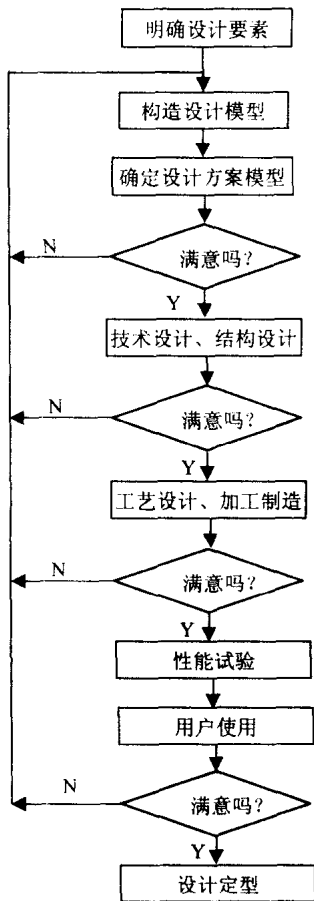


图 1-1 产品设计流程图

几个阶段。

(1) 提出设计任务 通常，人们是根据市场或社会需求提出任务的。产品设计的目的是将提供的资料（如原材料、能源等）设法转化为具有某种功能的技术装置，以满足社会需求。因而，产品设计任务的提出应以社会需求为前提和目标。

(2) 明确设计要求 根据设计任务，通过对现有同类产品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，形成具体的设计任务书。

(3) 方案设计 在满足设计要求的条件下，由设计人员构思多种可行的方案，并用方案图和原理图表达出来。经过对各方案的比较和筛选，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 在既定设计方案的基础上，完成产品的总体设计、部件设计、零件设计。将设计结果以工程图纸及计算说明形式确定下来。

(5) 加工制造及试验 经过加工制造、样机试验或生产现场，将加工、试验过程中发现的问题反馈给设计人员作为进一步修改的依据。

设计过程可以图 1-1 表示。由图中产品设计工作流程可见，产品设计是多次“设计—评价—再设计（修改）”的反复过程，它是以满足社会客观需要及提高社会生产力为目标的一种创造性劳动。设计工作是新产品研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，直接关系到产品质量、性能、研制周期和技术经济效益。因而，在商品竞争激烈的市场经济条件下，使设计方法及手段科学化、系统化、现代化是十分必要的。应用计算机辅助设计就是实现设计现代化的重要途径之一。

1.2.2 CAD 工作过程

CAD 作业过程可以图 1-2 表示。CAD 工作内容主要有以下三个方面。

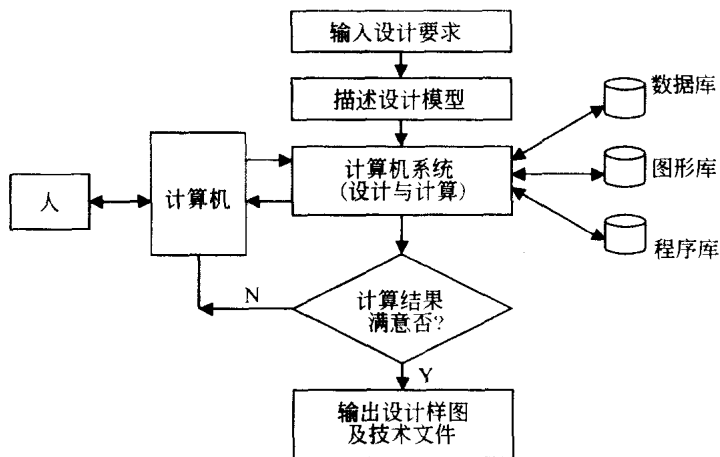


图 1-2 CAD 工作过程

(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

数据的管理及数据共享。将有关行业设计手册中的数据录入光盘供各有关行业设计工作者使用，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 利用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，建立标准零、部件图形库等处理工作。

(3) 建立应用程序库 就是汇集解决某一类工作设计问题的通用及专用设计程序，如通用数学方法计算程序、常规设计程序、优化设计程序、有限元方法计算程序等。在建立了产品设计数据库、图形程序库、应用程序库的基础上，就能开展以下 CAD 工作。

① 向 CAD 系统输入设计要求，以及根据设计要求建立产品模型。包括几何模型和诸如材料处理、制造精度等非几何模型，并存于数据库中。

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。

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 利用图形处理和动画技术，对产品模型进行图形仿真，为评估设计方案提供逼真和直接的依据。

⑤ 输出设计结果，其中包括设计计算数据、图样及文档等，甚至还能提供 CAPP 和 CAM 所需的信息。从广义讲，CAD 为 CIMS 提供生产制造和管理的一切必须信息。

1.2.3 CAD 技术的优点

通过以上对 CAD 的描述，不难理解应用 CAD 技术具有如下优点。

① 提高设计工作效率，缩短设计周期，设计工作效率可提高 3~10 倍。

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，同时在产品结构、能耗、材料等方面取得最佳效果，使产品设计的一次成功率可达 80% 以上。

③ 使设计人员从繁琐重复的设计工作中解放出来，将聪明才智及精力投入到新技术开发研究和现代设计理论与方法研究之中，进行计算机所不能替代的创造性设计工作。

④ 有利于产品标准化、系列化、通用化。应用 CAD 方法，只需改变输入参数，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，实现产品设计与制造一体化。

1.3 CAD 硬件系统

1.3.1 CAD 系统的构成

CAD 技术集中体现在 CAD 系统上，CAD 系统是最终用户用来实现设计思想、加速产品和工程设计的信息化工具。通常，将用户可进行 CAD 作业的独立硬件环境称作 CAD 系统。它除了有主机外，还配备图形显示器、数字化仪、自动绘图机、打印机等交互式输入输出设备。其基本构成如图 1-3 所示。从其体系结构讲可以分为三个层次：基础层由计算机、外围设备、系统软件组成，系统软件在工作站上流行 UNIX 加 MOTIF 操作系统，在微机上常用 Windows 95/98/NT 操作系统，系统软件还包括支撑软件、系统开发和维护的工具软件；支撑层包含了图 1-3 所示内容，随着网络的广泛使用，异地协同虚拟 CAD 系统将是 CAD 支撑层的重要发展趋势；应用层针对不同应用领域的需求有各自的 CAD 专用软件来支持相应的 CAD 工作。

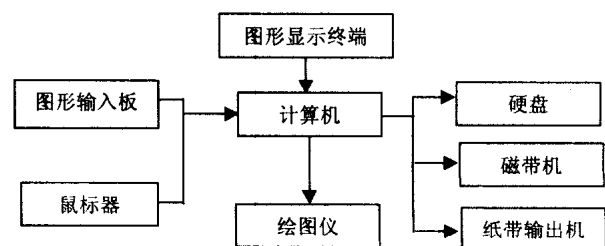


图 1-3 CAD 系统的硬件基本组成

1.3.2 CAD 系统分类

计算机技术及通讯技术的发展,为构成多种形式的 CAD 系统创造了条件。目前国内外为了适应各个层次和不同规模 CAD 作业的要求,组成了形式众多各具特色的 CAD 系统。CAD 系统按其采用的计算机形式、外围设备以及它们之间的联系方式,其硬件系统大致可以分为以下几种类型。

(1) 集中式大(中)型机 CAD 系统 这类系统是以一台大(中)型机为中心,用分时操作系统集中支持十几个,甚至几十个 CAD 终端运行。集中式 CAD 系统主要优点是:具有高速、大容量的内存和外存,可配置高精度、高速度、大幅面的图形输入和输出设备;它是一个多用户的系统,共用一个集中的大型数据库,全部由一个数据库系统统一管理;可运行规模较大的应用软件,有功能强的图形支撑软件,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。它的主要缺点是:一旦主机出现故障,将影响所有用户;随着同时使用终端的增加,或计算工作量加大时,系统响应将变得很慢,这种情况在曲面模型处理、消除隐藏线、大型有限元分析时尤为显著;原始投资较大。因而,这类 CAD 系统适用于大型厂矿企业。

(2) 独立型成套 CAD 系统 这类系统是从事 CAD/CAM 技术开发的公司专门为用户配置的计算机软硬件配套系统。系统配有专用应用软件及硬件(如高性能图形处理机),两者紧密结合配套使用。这类 CAD 系统工作的针对性很强。它所采用的主机一般为小型机,CAD 作业的水平主要取决于所配置的软件功能。这类 CAD 系统适于中等规模工厂企业的应用要求。缺点是这类系统针对性很强,用户在此基础上难于进一步开发,应用范围受到限制。

(3) CAD 工作站系统 随着 CAD 在工业、军事、建筑等领域的应用,原有大型计算机和小型计算机由于系统庞大已不能适应 CAD 的要求,于是人们专门为 CAD 研制了专用计算机,这就是早期的工作站,目前工作站通常为单用户。相对于微机,工作站有着更鲜明的特点,主要表现在:①先进的操作系统,如 UNIX 操作系统,它具有可移植、可伸缩、可链接、兼容性好等特点,有优越的多用户、多任务功能;②极高的运算速度,主频通常在 200MHz 以上,有时其运算峰值可达更高的水平;③巨大的内存,内存有时可达 100 至 300MB,为三维图形显示及其有限元分析计算提供了物质基础;④强有力的联网能力,通过联网能够很方便地提供分布处理环境,进行网络计算,充分利用其他工作站资源;⑤强大的图形功能。

工作站可以明显地提高产品设计的质量、缩短设计周期、节省原材料和加工时间,并可以给出详细的工艺要求,从而可以及时地设计出适销对路的产品。特别对于那些小批量多品种的产品,工作站更能大显身手,在激烈的竞争中取胜。工作站对于许多企业来说,是技术改造的一个重要手段;对产品设计、质量、成本、时间、管理、市场有着十分重要的意义。当前工作站在科学计算、图形图像处理、网络工程、软件工程、CAD/CAM、事物处理、信息管理各个领域大显身手,形成了与微机平分秋色的局面。目前在我国市场上的国外工作站产品有 HP、SGI、SUN、IBM、DEC、三星等型号,国内常见的品牌有华胜、大同、海信等工作站。

(4) 微机 CAD 系统 以 32 位超级微机作为主机,配置有高分辨率图形显示系统、数字化仪、大幅面自动绘图机、10~30GB 硬磁盘等 CAD 必备的硬件,保证 CAD 作业的顺利进行。在微机 CAD 系统上有丰富的商品化支撑软件及应用软件,不少过去只能在大中型机上运行的著名支撑软件如 SAPV、CADAM、CADKEY、Pro/E、I-deas、Catia、UG 等,目前均有移植到超级微型机上的版本,支持微机 CAD 工作,使微机系统不仅具有较强的分析计算能力,还可以满足处理三维图形的要求。

微机 CAD 系统类型很多。目前,微机 CAD 系统的发展已经呈现出非常迅速的趋势,大有与工作站相媲美之势,二者的差异正在日益缩小,甚至已经没有什么区别了。这些微机及工作站其中大多已引进国内并投入运行。国内较著名的是长城、联想、实达、TCL、海信

等系列微机。以长城联想系列微机为主机，配置各种图形输入输出设备，配上国内自行研制的 GHCAD、PICAD、InteCAD、开目 CAD 等交互式图形支撑软件，具有较好的二维图形处理功能，如果速度、内存、硬盘能够满足要求，可以运行三维图形设计软件。微机 CAD 系统的优点是：原始投资少，见效快；支撑软件及应用软件十分丰富；具有良好的可扩充性。这类系统受到中小企业普遍欢迎，预计它将成为 90 年代国内中小企业开展 CAD 工作的主要形式。

(5) 网络型分布式 CAD 系统 微机 CAD 系统虽能独立进行 CAD 工作，但毕竟由于其硬件资源有限而受到限制。为了增强微机 CAD 系统的功能，并使分散于同一工厂企业不同部门的微机及工作站能共享软、硬件资源，这就要求在微机及工作站的基础上，发展一种新的 CAD 系统形式。这种迫切的社会需求，促使网络型工作站 CAD 系统在近几年得到迅速地发展。

网络型分布式 CAD 系统是应用计算机技术和通讯技术，将分布于各处的多台各类计算机以网络形式联接起来。目前应用较多的是近距离的联网形式，距离一般在 2km 以内。如在一座大楼、整个工厂、一所学校范围联网。常用同轴电缆作为传输媒体可以在各个联接点之间传输数据、图像、声音。这种在小范围内松散联接的联网形式，称为“局域网”（Local Area Network，即 LAN）。它按联网方式又分为通道式、星式、环式等分布形式。

1.3.3 CAD 系统硬件

CAD 系统的硬件配置与通用计算机系统有所不同，其主要差异在于 CAD 系统硬件配置中，应具有较强的人机交互设备及图形输入、输出装置，即 CAD 系统有专门的输入及输出设备来处理图形的显示和输出，为产品的 CAD 过程提供一个良好的硬件环境。下面扼要介绍 CAD 系统的主要硬件设备。

(1) 主机 主机由中央处理机（简写 CPU）及内存储器（简称内存）两部分组成。

中央处理机包括运算器和控制器两部分。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等操作，并控制指令的执行顺序，访问（查找）存储器等操作。内存储器是存放指令和数据的部件。

主机是整个 CAD 系统的核心，衡量主机的指标主要有三项。

① 运算速度。以中央处理机每秒可执行指令数目或可进行的浮点运算次数表示，常以 MIPS 为单位，即每秒执行一百万条指令。或以取决于芯片类型的时钟频率表示运算速度，时钟频率越高速度越快。

② 字长。中央处理机在一个指令周期内能从内存提取并进行处理的数据位数称为字长。字长越多计算速度越快，计算精度越高。字长取决于微处理器芯片类型，目前超级微机均为 32 位，大中型机则在 64 位以上。

③ 内存容量。内存单位为字节（Byte），或 KB（1 千字节）、MB（1 兆字节）。内存容量越大，主机能容纳和处理的信息量也越大。现在一般微机内存容量为 16~32MB，超级微机为 64~128MB，工作站通常在 256MB 以上。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。微型机由于体积小、价格便宜、性能可靠，可用于开发中、小型 CAD 项目，已成为当前国内中、小企业采用的主要机型。

(2) 外存储器（简称外存） 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，信息量很大，要求有较大的内存。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作为内存的后援。将暂时不用的部分程序及数据“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，由于程序及数据在内、外存之间交换，会影响 CAD 系统的工作速度和效率。因此人们又研究了如何合理地进行内、外存信息交换的方法，以期对此缺陷有所弥补。经过计算机工作者长期的努力，目前已有不少成熟的调度算法可供使用。外存分为以下几种。

① 磁带。磁带存储容量一般在 20~200MB，工作可靠、价格低廉，高速磁带机带速已达 5m/s，数据传输速度可达 1.25MB/s。在磁带上记录的信息只能顺序存放，因而存取某些信息时往往要卷带及倒带，影响存取速度。它适用于使用不频繁的数据。

② 磁盘。磁盘分硬磁盘、软磁盘、光盘三种。a. 硬磁盘。它存储容量大，目前在微机中配备的硬磁盘通常有 10G 以上的存储单元，有时高达 30G。硬磁盘采用磁盘和磁头一体化的密封结构，可靠性很高。硬磁盘存取方式为直接存取，存取速度比磁带快得多，可以作为随机存取装置，已成为 CAD 系统中不可缺少的设备。b. 软盘。以其使用方便，价格低廉吸引了广大用户。目前常用的是 3.5in 规格的，其容量为 1.2~1.44MB，应用非常广泛。软盘的容量及存取速度虽不如硬盘，但携带方便，价格便宜。用户可用它保存个人的软件及计算结果。随着多媒体技术的广泛应用，以及计算机处理大量数据、图形、文字、声像等多种信息的能力的增强，磁盘存储器存储容量不足的矛盾日益突出，在这种情况下，人们研制了几种新型磁盘驱动器，例如 ZIP（软盘容量为 100MB）、LS-120（软盘容量为 20MB）、JAZ（软盘容量为 1~2GB）等，其盘片可以像软盘那样自由取出和插入，当然其价格也比较昂贵。c. 光盘。它是利用激光进行读写，比软磁盘具有更大的存储容量，被誉为“海量存储器”，又由于激光头与介质无接触，没有退磁问题，所以信息保存时间长，但其读写速度不如硬盘，且价格尚贵，预计随着光盘技术的不断发展，它在存储信息和数据方面将占有越来越重要地位。

1.3.4 图形输入设备

在 CAD 作业过程中，常需输入产品设计初始方案的结构与图形，以及建立常用零部件标准图形库。用户不仅要求能快速输入图形，而且还要求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）。因此，图形的输入设备占有重要的地位，目前，CAD 系统的输入设备常用的有如下几类。

(1) 键盘 键盘属于输入设备，其上设有字符键、功能键及控制键等，因此它可以用来输入数据和程序；输入命令或执行命令；或者对屏幕、图形、程序进行特殊的处理。当然，键盘方式输入图形还不能满足 CAD 作业快速图形输入要求，理想的交互式图形系统中还应包含使用方便、质量可靠的其他图形输入设备。

(2) 鼠标器 鼠标器主要用来控制屏幕上光标位置。当鼠标器在平面上移动时，显示屏上的光标也随之移动。光标的位移与鼠标器在平面上的相对移动有关而与鼠标器的绝对位置无关。它一般用于显示屏幕上指示图形输入位置和点“菜单”。鼠标器分为有线和无线两大类，常见的有线鼠标器有两种，机械式和光电式；无线式鼠标器也有两种，红外线型和无线电波型，目前常用的是有线鼠标器。

① 机械式鼠标器在其底部装有一个小球，当它在桌面上移动时，小球和桌面发生摩擦而滚动，与小球相啮合的机械装置（滚子）同时发生转动，滚子探测出移动后的 X、Y 方向和距离，将该信息输入计算机后，就可控制屏幕上光标的位置。

② 光电式鼠标器是近年来研制的一种新产品，在底座上有两只光电管当光电管式鼠标器在一块特制的栅格形铅板上滑动时，光电管接受的亮度变化，决定了它相对移动的距离和方向，以此控制光标的移动。

鼠标器结构简单，价格便宜，是 CAD 作业中经常使用的设备。它的品种很多，如 Microsoft 鼠标器、Mouse system 鼠标器都是国内常用的形式。使用时注意它与计算机的联接方式，有时需要用专用的接口卡，有时则利用 RS-232C 串行输入输出通道。

(3) 数字化仪 也称图形输入板。数字化仪是由一块输入板和一个游标定位器组成。游标也可由感电笔代替，游标定位器背面的十字准线相当于电笔的笔尖。数字化仪按其工作原理可分成电磁感应式、静电耦合式、超声式等类型。目前常用的是电磁感应式数字化仪。

数字化仪有以下基本功能：①“指点操作”。在显示屏上指示作图点的位置，或指定欲

修改图形的对象；②“点菜单”。在显示屏上点菜单，或在数字化仪上专门设立的子图区上点菜单；③“徒手作图”。当游标在台面上移动时，其移动轨迹经数字化仪转换为数字信号，输入到交互式图形系统中，可在显示屏上或自动绘图机上输出。“徒手作图”功能为快速输入图形创造了良好的条件。只要将图纸固定在台面上，然后用电笔（或游标的十字线）对图形描绘一遍，就可将图形输入。其工作方式几乎就像描图一样，输入图形快速而方便。

数字化仪分辨率高，一般在 0.025~0.25mm 之间，作图精度也高。传输速度快，一般为每秒几十到几百个坐标点。它使用方便、功能强，通常是大中型 CAD 系统中必不可少的图形输入设备之一。

(4) 工程图纸自动扫描输入系统 80 年代末推出了一种大幅面图纸自动扫描输入机。如美国 IMAG 公司的 SK-1000 系列大幅面图纸自动输入扫描系统、H.I (休斯顿仪器公司) 大型滚筒扫描仪 LDS4000 等。这类图纸输入设备利用光学扫描原理，能对大幅面图纸自动进行高精度扫描并形成点阵图像信息，经过专用的矢量化软件进行处理后，输入到计算机系统或存于磁盘或光盘中。经过矢量化处理的图样信息，可应用交互式图形软件，在显示屏上进行修改和编辑。采用扫描仪的输入系统见图 1-4。

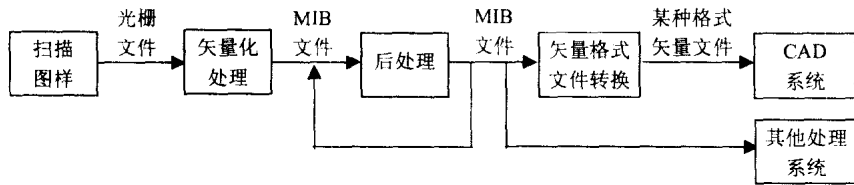


图 1-4 采用扫描仪的图形输入系统

大幅面工程图纸自动扫描输入系统可高速完成图纸输入任务，约 1min 就可输入一张 A0 图样，能对蓝图进行消蓝、去污以及平滑处理。利用光盘存储，每张光盘可存储 4000 张 A1 图样。用数字化仪输入图样需要几个月的工作量，用自动扫描输入几个小时便可完成。这种设备国内已开始使用，随着扫描硬件和软件的发展，这是一种建立大型图库理想的 CAD 设备。

其他图形输入设备，如光笔、操纵杆、跟踪球等，一般均与专用 CAD 系统一起配置，目前应用不多，不再一一介绍。

1.3.5 图形输出设备

(1) 图形显示器 图形显示器的主要器件是阴极射线管 (CRT)，它有三种类型：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。目前交互式图形系统中广泛应用的是光栅扫描式显示器，它的工作原理与电视机相似。不同之处在于电视机是使用摄像机产生的模拟信号构成屏幕上的图像，而光栅扫描计算机图形显示器则是用计算机产生的数字信号来构成屏幕上的图像。衡量图形显示清晰程度的重要指标是分辨率。同样尺寸的屏幕，在屏幕水平方向分辨线的数目与每条分辨线上的扫描点数目多少，决定了图形显示器分辨率的高低。一般按屏幕在水平方向分辨线的线数，将分辨率大致分为三等：400 线以下为低分辨率；400~800 线为中等分辨率；800 线以上为高分辨率。分辨率愈高，则存储每个象素的图形信息需要的随机存储器 (RAM) 容量也随之增大。例如分辨为 1024×1024，以一个字节表示一个象素的状态，就需 1MB 存储容量。在计算机图形显示系统中，均以图形卡 (图形控制芯片) 来支持图形显示工作，以免过多占用计算机内存。

图形显示系统分辨率高低取决于硬件环境，即配套的计算机、图形卡、图形显示器 (显示器)。近年来，国内外市场上商品化的图形显示系统规格众多，常用的有：IBM PC、AT 上的 CGA 卡，分辨率为 640×200；EGA 卡分辨率为 640×400；长城 GW286 上的 CEGA 卡，分辨率为 640×480；386 及 486 系列微机上采用的 TVGA 卡，分辨率为 1024×768；美国 Imagraph 的 AGC 高分辨率图形卡，分辨率可达 1280×1024。

选择 CAD 图形显示系统时，分辨率愈高，显示结果也愈好，但价格也随之升高。由于