

HOPE

微机 CAD 教程

陈 贺 主 编

北京希望电脑公司



微机 CAD 教程

陈 贺 主 编

北京希望电脑公司
一九九一年十一月

内 容 提 要

本书为适应微机 CAD 技术的普及和应用, 在较全面系统地阐述 CAD 基本理论和方法的基础上, 也具体介绍了微机 CAD 的开发技术和方法, 同时还介绍了智能 CAD 的一些发展情况。全书共分九章, 第一、二章介绍了 CAD 的基本概念和方法及 CAD 系统的软、硬件知识; 第三、四、五章介绍了计算机图形学的基本理论和绘图程序的设计问题; 第六章介绍了工程数据库的基本理论和设计问题; 第七、八章重点介绍了微机 CAD 系统的开发和设计的方法和技术; 第九章介绍了智能 CAD 系统开发及其发展情况。

本书可供有关工科院校的师生作为 CAD 课程的教学参考书, 也可供 CAD 系统开发人员在实际工作中参考。

前 言

近年来，计算机辅助设计（CAD）技术发展十分迅速，特别是微型计算机的普及，有力地促进了这一发展，并使 CAD 技术广泛应用于各行业的设计工作中，极大地提高了设计工作的质量和效率，越来越多的人士认识到使用 CAD 技术的重要意义。国外技术先进的国家，已将 CAD 列为工科大学的重要课程，我国各工科院校也普遍开设了有关课程。为满足教学工作的需要，我们根据近年来教学和科研工作的实践，并综合了有关参考书目和科研成果，编写了这本教材。书中，我们在较全面阐述 CAD 基本理论和方法的基础上，还具体介绍了微机 CAD 系统的开发技术和方法，以期读者能在日后的实际工作中运用参考。

本书第 1-6 章由陈贺编写，第 7 章由刘银远编写，第 8 章由陈贺和阎谦编写，第 9 章由陈贺编写。大连铁道学院机械工程研究所 CAD 室提供了铁道车辆 CAD 系统的开发资料，郁惟仁教授审阅了本书的部分内容，在此向他们表示感谢。限于编者水平，缺点错误在所难免，敬请广大读者指正。

2004/11/29

目 录

前言

第一章 计算机辅助设计引论	(1)
§ 1-1 计算机辅助设计的基本概念	(1)
§ 1-2 计算机辅助设计的基本方法	(3)
§ 1-3 计算机辅助设计系统的主要功能	(6)
§ 1-4 计算机辅助设计的发展和应用	(8)
第二章 计算机辅助设计系统的硬件和软件	(11)
§ 2-1 计算机辅助设计系统的硬件	(11)
§ 2-2 计算机辅助设计系统的软件	(21)
§ 2-3 计算机辅助设计系统的型式	(25)
第三章 计算机图形学与绘图程序设计	(35)
§ 3-1 计算机图形学概述	(35)
§ 3-2 基本图形的绘图算法	(38)
§ 3-3 微计算机图形显示原语	(48)
§ 3-4 微计算机图形程序设计	(60)
§ 3-5 一般图形的绘制方法	(82)
第四章 图形变换	(84)
§ 4-1 一维图形变换	(84)
§ 4-2 窗口与剪裁	(94)
§ 4-3 三维图形变换	(99)
§ 4-4 消隐处理	(110)
第五章 几何设计	(118)
§ 5-1 自由曲线	(118)
§ 5-2 曲面	(130)
§ 5-3 几何造型	(141)
第六章 数据结构与数据库	(150)
§ 6-1 概述	(150)
§ 6-2 数据结构	(152)
§ 6-3 文件组织	(159)
§ 6-4 数据库体系结构	(161)
§ 6-5 数据库管理系统	(166)
§ 6-6 数据库系统的建立与使用	(167)
§ 6-7 微型机数据库系统实例及 dBASE 使用介绍	(170)
§ 6-8 工程数据库与分布式数据库系统简介	(176)

第七章 AutoCAD 软件包及其开发技术	(180)
§ 7-1 概述	(180)
§ 7-2 AutoCAD 主要功能简介	(181)
§ 7-3 AutoCAD 的二次开发技术	(188)
第八章 计算机辅助设计系统的开发与应用	(206)
§ 8-1 计算机辅助设计系统的开发技术和要求	(206)
§ 8-2 CAD 系统中的有限元分析与优化设计	(222)
§ 8-3 CAD 系统的开发应用实例	(230)
第九章 人工智能与 CAD	(239)
§ 9-1 人工智能的基本概念	(239)
§ 9-2 专家系统的原理及应用状况	(241)
§ 9-3 专家 CAD 系统	(242)
§ 9-4 机械设计的专家系统	(245)
附录 I dBASE 函数表与命令集	(249)
附录 II AutoCAD 常用命令集	(253)

第一章 计算机辅助设计引论

计算机辅助设计概念的提出和实际应用,到现在只有 30 年的时间,但这种先进技术已普遍应用于机械制造、汽车、航空、计算机、大规模集成电路,造船、土建、工厂设计、铁道、轻纺等许多行业中。在缩短设计周期,提高设计质量,降低成本,以及发挥设计人员的创造性等方面,计算机辅助设计技术起了很大的作用。由于计算机技术(硬件和软件)的飞速发展,特别是小型计算机和微型计算机的大量生产,硬件价格性能比大幅度降低,所谓成套式 CAD 系统(turnkey CAD System)和各种档次的 CAD 工作站大量供应市场,使得 CAD 技术进入了中小企业,大大地推进了计算机辅助设计技术的普及和应用。80 年代以来,计算机已逐渐深入到科技工作者、设计师的办公室和住宅,计算机网络和数据库技术提供了更广阔的天地。

产品的设计、制造和工程管理之间具有密切的关系。近年来,计算机辅助设计(CAD 与计算机辅助制造(CAM)日益密切结合。一个对产品的初始构思和设计、加工制造、直到产品最终装配和出厂检验的全过程实行计算机控制的系统,叫做集成生产系统(IMS)。这种大规模的、功能极强的设计/制造/管理集成生产系统,已在外国一些大企业出现。

计算机辅助设计(以及计算机辅助制造)是崭新的技术,又是活生生的生产力,它已经并将进一步给人类带来巨大的影响和利益。因此,国外把计算机辅助设计和辅助制造列为 80 年代十大关键技术之一是很有道理的。CAD 技术的水平如何,已经成为衡量一个国家工业技术水平的重要方面。虽然,我国 CAD 的研究和开发起步较晚,但是,近年来已日益引起各方面的重视,特别是企业界对应用 CAD 的要求日益迫切。因此,大力开展 CAD 技术的研究和开发,迎头赶上新技术革命的潮流,发挥 CAD 技术在四化建设中的作用,是十分紧迫的任务。

§ 1-1 计算机辅助设计的基础

计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD),是利用计算机强有力的计算功能和高效率的图形处理能力,辅助进行产品的设计与分析的理论和办法,是综合了计算机科学与工程设计的最新发展而形成的一门新兴学科。CAD 技术的产生与发展是与计算机软件、硬件技术的发展和完善,与工程设计方法的革新紧密相关的。采用计算机辅助设计也是现代工程设计的迫切需要。

首先,计算机系统硬件的飞速发展,奠定了 CAD 技术的物质基础。我们知道,自从 1946 年世界上第一台电子计算机诞生以来,至今已经历了四代的变化。计算机的内存容量和运算速度不断增长,而体积和价格却在不断下降,其发展是十分惊人的。特别是 80 年代出现的微机,以其优良的性能价格比,迅速占领了计算机市场,使计算机的普及和应用出现了前所未有的新局面。计算机已成为工程师可以方便利用的设计工具。

具有人机交互功能的图形输入、输出设备是 CAD 技术的关键。图纸是工程界最重要

的信息表示和流通的工具，图形浓缩了大量信息，是比数据和文字更有效的信息交流形式。早期的计算机输入、输出设备，如电传打字机，纸带穿孔机等，难以有效地传递图形信息。自从60年代初期，美国麻省理工学院林肯实验室的Ivan E.Sutherland提出了第一个人机交互式CAD系统以后，计算机图形学蓬勃发展，并推动了图形设备的不断更新和发展。进入70年代后，由于大规模集成电路的采用，光栅扫描式显示器亦随之得到广泛应用。这种显示器，可将被显示的线段、字符、图形及属性都存贮于刷新缓冲存储器中，使得显示的图形更加形像和逼真。与此同时，各类其它图形输入输出设备，也如雨后春笋般的大量出现，除早期的光笔外，还发展了操纵杆，跟踪球，鼠标器、拇指轮等定位、拾取装置。近年来，全电子式坐标数字化仪获得了广泛的应用。这些设备使计算机具有了方便灵活的图形处理能力。同时，也使得计算机的作用发生了根本变化，从单纯的难题求解器变成了设计人员日常使用的辅助设计工具，功能也由数值计算为主转向了更多的包含数据，文字，图形及声音的信息处理，应用的广度和深度进入更高的层次。因此，计算机硬件条件的改善和发展，为CAD技术的发展和实际应用打下了良好基础。

计算机软件技术的发展也是CAD技术的必要条件。50年代末期出现的高级语言，大大方便了程序设计。60年代以后出现的以多道运行和分时系统为特征的计算机操作系统(Operating System)，使人们能够更有效地使用计算机。以后，由于计算机图形学的发展，用于图形生成、图形处理的算法和人机交互图形处理系统软件也有了很大发展。其中涉及到各种坐标变换和几何变换，二、三维图形的生成，等值线的绘制，图形的剪裁，曲线和曲面的拟合、逼近和光滑，体素拚合，几何造型，色彩、阴影、灰度图形的处理，以及各种数据结构的组织，几何信息和拓扑信息的运算等许多内容。其中的某些变换和算法，已日趋成熟和完善，许多已用硬件实现以提高速度。目前图形软件向着通用，高级，标准化的方向发展。此外，数据库技术的发展也成为CAD必不可少的条件。总之，计算机软件，特别是交互式图形系统软件和数据库系统软件的发展，为CAD技术提供了必要的条件。

随着社会生产和科学技术的飞速发展，对产品设计的质量和速度要求越来越高。传统的经验型设计需代之以理论设计，静态分析需代之以动态分析，近似设计需代之以精确设计，手工方式需代之以自动方式，因而，许多先进的现代设计方法被采用，如有限元分析，优化设计、可靠性分析，动态分析等，设计的工作量也随之大为增加。另一方面，商品生产的发展和竞争多变的市场需求都迫使工厂从大批量生产向多品种，中小批量生产类型转化，产品的更新换代周期日益缩短。这样，传统的手工设计方法越来越适应不了这种发展着的需要。迫切地需要采用现代化的设计方法提高设计质量，缩短设计周期，提高设计工效。因此，采用计算机辅助设计是其必然的结果。

总之，CAD是计算机软件、硬件技术发展一定阶段的产物，是计算机科学与工程科学中多学科交叉、渗透的结果，代表了计算机技术发展和应用的新水平。

§ 1-2 计算机辅助设计的基本方法

工程设计的含义十分广泛，对于不同的设计对象有着不同的具体内容。但是作为广义的工程设计过程，可用图 1-1 所示的流程图表示。当产品的设计任务书确定之后，则需要构思设计方案，建立设计模型。这时除了依据设计规范、标准，凭借经验和惯例，参照以往的设计方案外，还需要经常地绘制设计草图，构造几何模型以及进行可行性论证，经济成本分析等总体方案设计工作。然后进行必要的分析计算，并将结果进行审查分析，判断设计是否满足要求。如果不满足，则要进行方案的修改设计，并重新加以计算分析，逐步优化，直至满足设计要求为止。经过多次修改，分析优化，到最终设计方案确定后，即可以进行产品的结构设计工作，绘制产品的结构总图和零部件图，编制相应的技术文件（材料明细表，设备表，工艺规程等），这是设计中工作量最大的一部分。然后进行产品的试制和试验，测试产品性能，如果仍不满足要求，则需对设计模型作进一步的改进，修改图纸和技术文件。否则，可投入生产，结束产品的设计工作。

上述设计过程表明，设计工作的特点是整个设计过程以迭代往复的形式进行的，在各个设计阶段之间有信息的反

馈和交互作用。在此过程中需要进行大量的分析计算和绘图等繁琐、重复的劳动。传统的设计要由设计者本身来完成所有环节的工作，因而可以说这样的设计是一个低效的工作过程。随着产品设计要求的提高和市场竞争的加剧，传统的设计方法越来越难以发展的需要，而需要采用自动化的设计方法，来缩短设计周期，提高设计的质量和效率。

计算机具有高速的计算功能，巨大的存储能力和丰富、灵活的图形、文字处理功能。充分利用计算机的这种优越性能，同时，将人的知识、经验、逻辑思维能力结合起来，形成一种人与计算机各尽所长，紧密配合的系统，以提高设计的质量和效率。这种人机结合的交互式设计过程，构成了计算机辅助设计的工作过程，这种作用应当而且也能够贯穿于

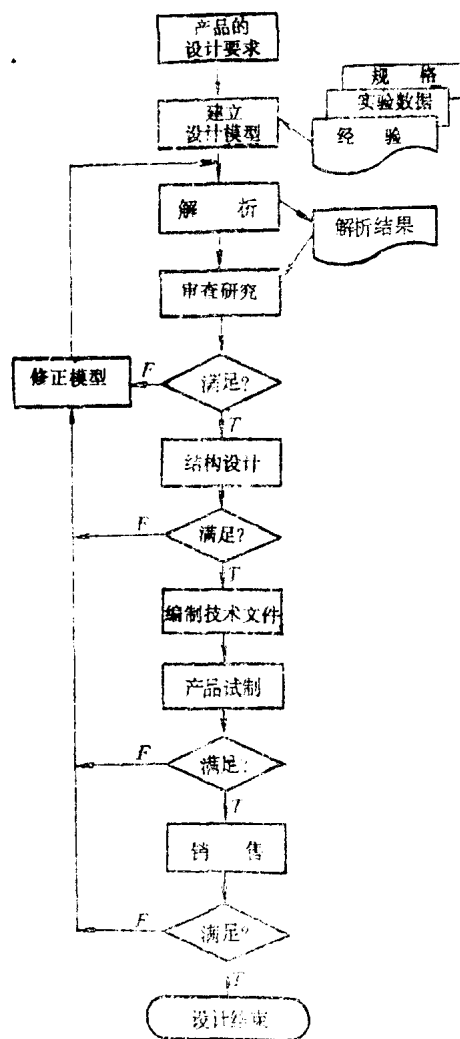


图 1-1 设计工作的流程图

设计的全过程。这种计算机辅助设计系统如图 1-2 所示。

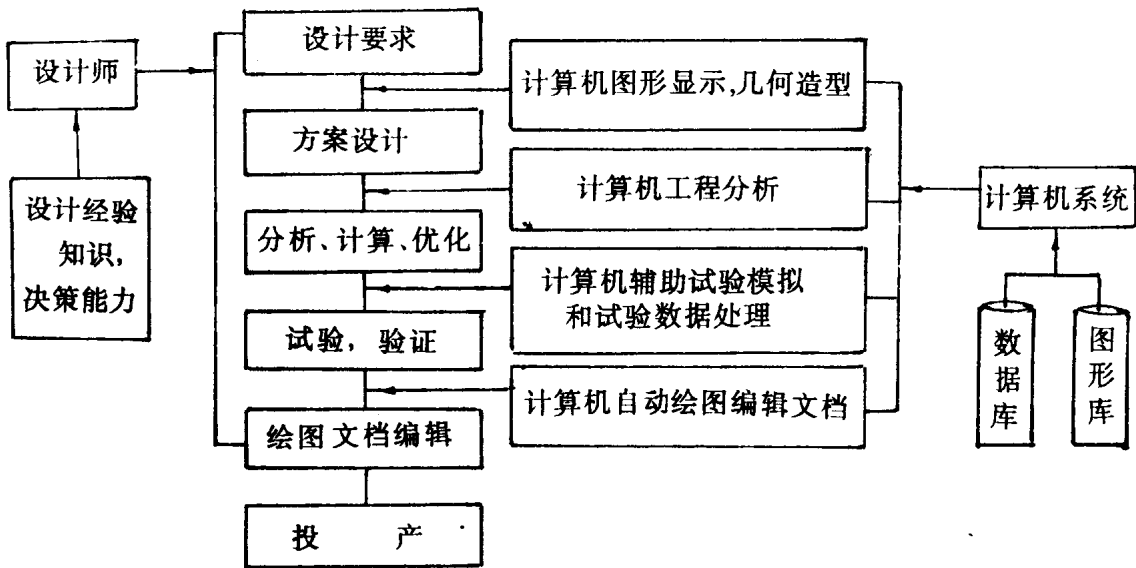


图 1-2 计算机辅助设计系统示意图

由图中可以看出，现代的 CAD 已经不再局限于在个别设计阶段或环节中、部分地使用计算机给予帮助，而是将计算机科学的技术和方法与各种工程领域的专业技术在以计算机为基础的系统结合起来，在设计每个阶段和所有环节中尽可能地利用计算机系统来完成那些重复性高，劳动量大，计算复杂以及单纯靠人工难以完成的设计工作，辅助整个设计过程的完成。特别是作为 CAD 特征的交互式计算机图形显示和工程数据库管理系统，为工程师提供了非常方便灵活而且高效率的设计环境，使他们有更多的时间和精力，使用现代化的设计工具进行创造性的设计工作。整个设计工作在计算机系统的协调和控制下，逐步朝着集成化和自动化的方向发展。

下面我们先来看几个 CAD 应用系统的情况：

1. 计算机辅助几何设计 (Computer Aided Geometry Design-CAGD)。

这是 CAD 在飞机、汽车等外形设计中的重要应用。飞机、汽车、机车的外形是一些复杂的空间曲面，其设计工作是十分复杂的。采用 CAD 技术，设计者可利用计算机输入设备，输入初始设计外形的若干插值点的坐标和控制信息。然后调用三维图形生成系统以及专用图形软件中的程序，生成表示飞机或汽车外形的空间曲面并在屏幕上显示出来。它们可以用网格线表示的曲面图像，也可以是具有彩色、阴影、不同灰度和浓淡效应的形状逼真的实体模型 (Solid Model)。设计者可以用光笔或数字化仪等直接修改，删补几何模型，也可以对图形进行平移、旋转、剪裁、缩放等几何变换。这些操作是以人机交互方式进行的，并且具有足够高的响应速度。几何图形可以用绘图机自动绘图，也可以将图形的几何参数、相互关系、属性等数据，在外存贮器上长期保存，以供随时调用，还可以用穿孔机制成数据纸带，供数控加工使用。

在这种交互式的几何模型构造和图形编辑的方式下，设计者能够迅速完成飞机、汽车等的外形设计和各种复杂的、难以想像和表示的空间形体设计，并通过工程数据库的数据

管理和传递，为后继的加工制造提供必要的几何数据。

2. 计算机辅助建筑结构设计

这也是 CAD 技术应用较早的领域之一。在建筑设计的方案设计阶段，工程师可以利用计算机图形显示功能和通过调用图形数据库中的标准图形元素，在图形显示屏幕上构画建筑物的三维模型，进行建筑外形，周围环境，场地规划，日照效应等的设计。然后，对每一楼层进行平面布置设计，安排门窗，开间，房间内部设施布置。门、窗、桌、椅、柜、橱等基本设施的图形都可以从图库中随时调出，在图上摆放，移动，插入、删除。可以绘制各种剖面图和立体图，进行成本概算。在结构设计中，CAD 系统中的结构分析程序可供工程师进行结构内力分析和动力响应计算，对不同的荷载工况进行内力组合，根据计算得出的内力分布按规范选配钢筋。由配筋结果从数据库中提取材料表，快速绘制施工图纸，在图上标注尺寸，写明钢筋规格，数量，尺寸，形状等。有各种专用软件供电气，水暖，结构工程师生成用于设计和施工用的图纸，一览表和材料表。各种设计数据由统一的数据库管理，对设计方案做局部修改时，能够迅速修改相关数据，保证设计的一致性。而且，能够通过干扰碰撞检查，最大限度地保证各个专业设计之间的相容性，防止在传统设计方法中不可避免的由于设计发生矛盾而造成的返工和浪费。

3. 机械设计 CAD

在机械设计的 CAD 中，工程师可以在图形终端上直接绘制图纸，画线，画圆和画弧，标注尺寸和公差等都可以通过输入少量的控制点、参数和简单的命令而方便、迅速地完成。用一些简单的立方体、圆柱、锥体，球体等作为基本的图形元素，经过图素的交、并、差、配等逻辑运算构成各种另部件的几何形体。计算另部件的表面积、体积、重心等几何参数，根据另部件之间的关系和动态模拟来研究设计的正确性，如部件安装是否正确？机构运动是否正确？公差分配是否正确？……。由程序系统自动编制数控加工程序，并检查数控机床的刀具和另部件运动轨迹，装配工艺的控制程序设计和产品检验等等。

从上述几个例子中我们可以看到计算机辅助设计的概貌和一些特点，它与我们已经比较熟悉的有限元，边界元等数值计算不同，也不仅仅限于计算机自动绘图的功能。CAD 系统不仅具有数值计算和数据处理功能，而且能够实时地处理大量的图形信息。图形是工程中最常用，最有效的交流媒介，正是在解决了图形信息处理的问题后，计算机才真正进入了广泛的工程设计领域。特别是交互式图形显示和图形输入输出成为有效的设计工具，使传统的设计方式发生了根本的变革。完整的 CAD 系统将不同专业在整个设计过程中联结起来，形成集成化的辅助设计系统。在工程数据库基础上实现各部门协同作业，数据和资源共享，以及有效地保存和修改设计方案。CAD 是辅助而非代替人的设计，它将计算机强大的计算、存贮能力与工程师的智力、经验、创造才能结合起来，极大地增强和扩展了人的记忆存贮能力、计算与推理能力，并提供了几何造型、动态模拟等特殊功能，把人们从日常的重复性工作中解脱出来，有更充分的机会发挥聪明才智和经验，更加主动地进行创造性的设计工作。由于有计算机的参与，使得设计工作的面貌大为改观，使传统的设计方法转变为人机结合的高效的设计方法，因而 CAD 成为现代设计工作的一个重要发展方向。与传统的设计方法相比较，计算机辅助设计有如下的优点。

1. 能提高工作效率，缩短新产品的设计周期。

CAD 系统综合了人和计算机各自的特长。设计中的分析计算和绘图等繁琐的工作可

由计算机完成，而经验判断和探索性的假设可由人来进行，从而可及时提供设计方案，提高设计效率。据统计，在机械产品设计中，采用 CAD 缩短设计周期 2/3，劳动生产率提高 4-5 倍。

2. CAD 提供了形象化设计的手段。

由于在 CAD 系统中，采用了方便灵活的人机交互式图形处理技术，设计的结果能够直观清晰地显示在屏幕上，设计师能对设计结果迅速方便地作出判断，及时纠正设计中的错误，也可以随时干预设计过程，引导计算机向有利于解决问题的方向进行。直观形象的产品造型，也有助于加深设计师对设计对象的理解和认识，完成某些人工不易或不能完成的任务。

3. CAD 可对产品进行精确的计算分析。

CAD 系统有可能对产品设计进行更详细的工程分析。如可以利用有限元法或优化方法精确地计算结构的强度和刚度，并可以通过各种前、后处理软件，对计算结果进行分析。设计师可以利用计算机提供的各种技巧和快速计算能力进行多种设计方案的比较，并采取一定的措施对设计进行优化，以取得较佳设计方案。计算机还可以帮助设计师对产品与设计说明书的一致性进行检查，以保证在设计各个阶段的正确性。这些都能有效地提高设计质量。

4. 完善的数据库系统给用户在新产品开发中带来莫大的好处。

CAD 系统中数据库的共享，易于修改和更新，为用户使用数据带来极大的方便。不仅设计者可以随时方便地从数据库中取得需要的数据，其它人员如工艺师，管理人员，也可以充分利用这些数据资源。在设计过程中，功能完善的数据库能保证当某一处数据有所更改时，系统会自动地修改库中与它有关的内容。在数据库的支持下，十分有利于设计的快速修改和更新，易于使用已有的零部件设计出新的产品。

5. 可以促进产品设计的标准化工作。

采用 CAD 技术，要求在设计的各环节中采取统一的标准，从而促进产品设计的标准化工作。采用 CAD 技术，要求对设计对象有规范化的描述方法，设计中使用的图形，符号也应趋于标准化，否则十分不利于使用 CAD 技术。在 CAD 系统中标准化了的数据和软件模块又将成为全行业的共享资源。标准化在提高设计质量及工作效率，节约人力、财力方面的作用是十分值得重视的问题。

6. 有利于发挥设计人员的创造性。

采用 CAD 技术以后，设计人员可以摆脱繁琐的事物性劳动，而把精力集中在更富有创造性的工作上。如采用计算机自动绘图技术，改变了过去设计师常年在图板上画图的工作模式，减轻了劳动强度。从而可以说，计算机大大解放了劳动力，可以帮助人们设计出更好的产品，创造更多的财富。

§ 1-3 计算机辅助设计系统的主要功能

不同的工程领域和专业部门对 CAD 系统的要求很不相同，但是从整体来说，CAD 系统的主要功能可以概括为：

1. 交互式的图形显示与几何模型构造。

2. 工程计算分析和对设计的模拟、验证、优化。
3. 计算机自动绘图和辅助文档编辑。
4. 工程数据库的管理与共享。
5. 知识库基础上的专家系统和人工智能型辅助设计、决策。
6. 具有良好的人机界面。

交互式图形输入、生成、显示、修改、输出是 CAD 最突出的特点和最重要的功能。CAD 的开端是以实时图形处理为标志的，计算机从单纯的数值计算发展到图形信息处理，才真正大规模地进入工程设计领域。交互式的计算机图形处理极大地改变了设计工作的环境和方式，工程师不仅可以用他们最熟悉的图形方式表达设计思想，而且具备了先进的图形处理手段和工具，这就是交互图形实用软件和各种图形输入/输出设备。工程师可以在终端前，用光笔、图形板等图形输入设备在屏幕上画图。纸上已画好的图可以通过数字化仪输入给计算机。图形库中存贮着常用的基本图形元素和标准图型，可供设计者调用，构造所需的复杂图形。图形编辑的功能允许设计者随意地插入、删除、移动、拼装图形，进行旋转、剪裁、缩小、放大、消除隐线等图形变换。彩色、阴影、着色、浓淡、动画等特殊的图形显示技巧，使得计算机图象比图纸更逼真，形象，易于理解。交互图形的功能，使设计者能够用 CAD 系统进行飞机、汽车、机车车辆、模具等的初步设计，而且能够设计飞机、汽车、车辆的外形，这些靠手工是非常困难的。CAD 系统还能对图形进行相容性检查，如发现管道铺设，设备布置是否发生“碰撞”。

工程分析、计算是 CAD 系统不欠缺的功能。经济分析，成本概算在初步设计阶段是非常重要的，经济分析也是 CAD 系统与科学计算软件的一个明显区别。CAD 系统还应按照具体设计要求配有各种计算的应用程序，用于应力、位移、动力响应等结构性态的计算，这种计算主要是采用有限元法。与传统的有限元法分析程序不同的是，CAD 系统中的有限元分析要面向工程数据库，与其它应用软件或分析前后的设计要通过数据传递连接起来。作为完整的设计系统，CAD 使几何设计，工程分析，方案择优，绘制图纸等设计阶段通过良好的接口相联系。特别是要解决有限元等数值方法中数据前、后处理的自动化、图形化问题，这里主要包括计算模型构造，从几何信息到有限元网格等计算数据的转换，计算结果的提取、编辑、整理以及图形输出等问题。现在真正具备这样能力的 CAD 系统还是不多的，但这是 CAD 软件发展的必然趋势。

CAD 中对设计方案的优化有两层含义，一是利用计算机的高速计算能力和系统的高效率，在合理的时间内进行多个方案的构思，分析，评价，从中选择最优方案；另一种是采用最优化技术 (Optimisation)，通过数学规划法，最优准则法等比较成熟的算法，用计算机进行自动的优化设计。在优化的过程中，用图形显示等方式及时输出设计变化与算法收敛等状态；由设计者根据经验进行分析，判断。适当的时候输入必要的控制信息，人机交互地寻求较好的设计方案。

计算机绘图是 CAD 的重要内容，因为在许多工程或产品设计中绘图的工作量都是相当大的，便如：在建筑工程设计中约占 50%，在铁道车辆设计中约占 60~70%。计算机自动绘图使得工程师、绘图员从这些烦琐的手工作业中解放出来，提高了制图的劳动生产率。同时计算机绘图质量高，无错漏，便于实现设计图纸的规范化。

工程设计中的信息量是非常大的，而且信息的形式、属性、关系也是多样、复杂的，

CAD 系统就是建立在对这些工程信息的有效存贮、管理、传递和共享的基础上,这就依靠工程数据库和图形库及其管理系统。CAD 利用外存贮器的容量和数据库技术,统一管理工程数据和图形,为各个专业设计提供共享数据的用户模式和它们之间的接口。支持多个用户协调作业,各自独立而又互不矛盾地完成对设计信息的存取、加工、转换,实现预定的设计目标。在数据库和图形库的支持下,用户的应用软件开发也可以与存贮设备无关,与数据结构无关,使 CAD 系统具有良好有可扩充性。

人工智能是一门具有潜在吸引力的学科,它有着几乎和计算机一样长的历史,有关的研究正在深入进行中,第五代计算机就将是微电子学与人工智能的产物。专家系统是人工智能的一个重要分支,它建立在知识库和推理机制的基础上,能够综合运用某门学科的知识 and 经验,进行推理、判断、决策,解决人们一般能力难以解决的问题。CAD 也不例外,它将越来越多地吸收人工智能的研究成果。近年来,人们利用专家系统来扩大 CAD 的功能,形成智能 CAD 系统(亦称专家 CAD 系统)。智能 CAD 系统,综合了设计师的知识和经验,并通过系统本身提供的高智能推理和人机通讯能力和大量存贮、快速转换的能力,在设计的过程中,可以适时地提供设计方案和建议,帮助设计师进行更加有效,富有创造性的设计工作。这样的 CAD 系统无疑是十分具有吸引力的,开发智能型的 CAD 系统是目前 CAD 研究的一个方向。

除了上述功能外,CAD 系统应具有良好的人机界面,努力提高人机友好程度。一般说来,多重菜单驱动,多窗口功能,用户自定义菜单和窗口,有效的用户引导信息等方便用户使用和提高使用效率的功能是必不可少的。

总之,CAD 技术以其强有力的功能,使工程设计工作提高到一个新的水平,它的应用是工程设计史上的一个新的突破。

§ 1-4 CAD 的发展和应

一、CAD 的发展

与 CAD 有关的早期工作,有美国麻省理工学院五十年代初期开发的 APT (Automatic Program-ming Technique) 语言。APT 是从设计产生的图纸到 NC 纸带自动完成时面向过程的语言,用于计算机数控机床的研制。这种用计算机表现图形形状的处理技术在今天的 CAD/CAM 的研制中起着重要的作用。另一个进展是光笔概念的提出。

真正在设计中使用的 CAD 系统,是 1963 年美国麻省理工大学的博士研究生 I.E.Sutherland 研制成功的 SKETCHPAD 系统,这是世界上第一个实时计算机图形显示和交互图形处理系统。该系统设想,设计者坐在显示终端前,用光笔在屏幕上作图,并可以随意地修改和增删图形,能在 10~15 分钟内完成通常要花费几周才能完成的手工作业。这一工作开创了计算机图形学这个新的学科领域,一般也公认它是 CAD 技术的开端。

另一个代表性的系统,也是同一年代由美国通用汽车公司(GM)所开发的用于汽车玻璃型线设计的 DAC-I 系统。SKETCHPAD 是作为包括拓扑信息在内的具体图形处理技术的开发,DAC 则是作为应用于具体对象的最早的一例。这些工作都是开拓性的。

其后的一些工作,集中于计算机图形学的研究。例如 Coons 提出一种用空间曲线构

造空间曲面，由若干小的曲面去拟合任意空间曲面的方法，这就是后来在几个模型设计中广泛使用的 Coons 曲面法。Freeman 等人进行了消隐算法，Bézier 曲线的研究等。

这一时期，美国洛克希德公司的 CADAM 系统和马库塔列鲁图形公司的 CADD/GNC 系统等，在飞机工业领域里进入了实用阶段。

到了 70 年代，由于大规模集成电路的出现，电子电路的设计越来越复杂，人们不得不求助于电子计算机的图形显示和图形编辑功能来满足复杂电路的设计要求，如 1972 年 RCA 研制的 GOLD 系统就是用于集成电路的设计。同时，由于电子计算机硬件技术的发展，以汽车、飞机工业为中心，CAD 迅速地发展起来。

到 70 年代中期，CAD 的发展潮流推出了“成套系统”，也称转钥匙 (Turnkey) 系统。这是可置于设计人员身边，能方便使用的分散型 CAD 系统，它具有完整的硬件和软件，特别是应用软件包，接上电源，打开“钥匙”，就可以进行设计，使用非常方便。这种系统的出现，揭开了第二代 CAD 的序幕，从而使 CAD 得到了迅速的普及和应用，出现了一批 CAD 系统，如 1976 年，由 NASA (国际宇航中心) 支持开发的 IPAD (Integrated Program for Aerospacevehical Development) 系统，不仅可用于飞行器的设计，而且可用于汽车和土木工程设计，特别是能有效地进行大量的数据处理，并且为制造提供接口数据。又如通用汽车公司的 CAD-I 系统，IBM 公司的 SMS、SLT/MST 等设计自动化系统。小型、微型机的 CAD 系统也不断出现，很受欢迎。并且随着计算机硬件和软件及图形输入输出设备的发展，CAD 系统进入到实用阶段。与此同时，也出现了许多 CAM 系统，如 CAM-I, ICAM 等。但是此时真正能够使用 CAD 系统的还是大企业，因为计算机的费用和 CAD 系统的价格是比较昂贵的。

从 70 年代末至今是 CAD 高速发展的阶段，由于超大规模集成电路的发展，使计算机成本大幅度下降，图形设备迅速向优质廉价方向发展。这些新技术，给 CAD 带来巨大的动力，CAD 系统的功能不断增强，价格却迅速下降，应用的范围不断扩大。

特别是进入 80 年代以后，微型机和超微型机的大量涌现，为 CAD 的应用推广开辟了广阔领域，使 CAD 从大、中型系统向微型化发展。其中以 IBM PC 系列微机为主流开发的 CAD 工作站进展惊人。这种普及型微机 CAD 系统以优越的性能价格比，受到了工程界的欢迎，而且软件丰富，功能日趋完善。经过二次开发，与应用软件接口，可以完成相当可观的设计任务。这样的系统使 CAD 技术真正得到普及，成为工程师办公桌上的设计工具，这种局面是前所未有的。这种系统还可以联成网络，与大型机通讯，形成丰富的系统层次。

总之，当前 CAD 系统的发展有如下一些特点：

1. 应用的范围不断扩大，日益普及。
2. CAD 系统的性能价格比不断提高，硬件成本下降，软件成本提高。
3. 具有强大的图形处理功能的超级微机 CAD 工作站和分布式网络 CAD 系统被普遍采用。
4. CAD 软件系统集成化程度提高，出现各种软件商品。
5. 图形和数据接口等软件标准化。
6. 重视对工程数据库，智能 CAD 专家系统的研究。
7. 计算机辅助设计，制造和管理密切结合。

二、CAD 技术的应用

在一些技术先进的国家，CAD 技术已经广泛应用到飞机、汽车、船舶、模具、印刷电路板、集成电路、管道布置、容器曲面、建筑、机械另件等领域中。

日本百分之八十的公司已不同程度地引用了 CAD 系统，其中运输机械、普通机械、精密机械都有半数的工作由 CAD 完成。

美国通用汽车公司，福特汽车公司，通用电器公司等大型企业已有近二十年的 CAD/CAM 的应用历史。美国通用汽车公司车身制造厂的车身设计，是由工程技术人员用非接触扫描器对泥塑模型进行点线测量，然后将测得的数据输入数据库。这样，可以通过计算机绘图系统进行复制和修改，制作三维形状的车身图，然后以该图为基础，为车内的座椅、车身的凸缘等部位进行设计，最后制作数控纸带，控制机床加工。由于 CAD/CAM 系统具有较好的结构分析程序，从而使制造出来的车身具有最轻的重量和最高的强度。

从 1976 年以来，世界上大多数 CAD 系统都用于机械工业方面，大约占 40~50%，而电子工业约占 20%。据 1985 年统计，世界上大约有 7 万台工作站在使用，1984 年 CAD/CAM/CAE 工业总收入约 27 亿美元。随着工业自动化程度的提高，CAD 技术正以惊人的速度渗透到各个工业领域中去，其中土木建筑工程中 CAD 的应用发展更为迅速。土建工程中的 CAD 应用，国外已有相当成功的例子。例如国际著名桥梁专家林炎同教授设计的钢索斜拉桥，著名建筑师贝聿明对罗浮宫的改建设计，美国芝加哥旧城改造等，都是成功地使用 CAD 系统，而获得了几倍于购置 CAD 系统投资和经济效益。有人对建筑设计使用 CAD 的情况作了统计，一个好的建筑 CAD 系统投入使用后，可以节省方案设计时间 90%，投标时间 30%，设计费和建筑费各 15%，重复绘图作业费 90%，在机械产品设计中采用 CAD 技术，可缩短设计周期 2/3~4/5，工艺周期 4/5~9/10，降低基建费用 10~30%，改善经济技术指标 10~25%。在一般工程设计中，可提高工效 3~6 倍，节约投资 5~10%，增加企业利润 10%。因此国外已经把是否有 CAD 系统作为工程投标资格的条件之一。

在我国，70 年代，已经开始了 CAD 的研究工作，80 年代是 CAD 技术蓬勃发展的时期。至今已相继开发了多种实用的 CAD 系统，用于超大规模集成电路，飞机、船舶、汽车、机械制造、模具、服装、铁路等部门的各种设计工作中。在铁道车辆设计工作中，由有关院校，科研部门的推动，采用有限元法的结构分析技术已在设计部门得到普及。CAD 技术的应用也日益受到重视，货车设计的 CAD 系统开发已取得了成果，客车设计的 CAD 系统也在研究中。

虽然，我国近年来越来越多的人认识到 CAD 的重要性，但是由于计算机技术特别是硬件条件限制，我国的 CAD 技术与世界先进水平还有很大差距，现在正处于学习，起步的阶段。这就需要我们认识到 CAD 技术是设计领域的重大技术革命，我们要不失时机地迎接这场技术革命的挑战。CAD 是一门多学科交叉，渗透的新领域，综合性特别强，特别需要计算机专家与工程师的结合，根据本行业的特点，开发出适合我们国情的 CAD 系统。

第二章 计算机辅助设计系统的硬件和软件

CAD 系统包括硬件系统和软件系统两部分，硬件系统由电子计算机 (Computer) 及其外围设备 (Peripheral) 组成，它是 CAD 技术的物质基础，软件系统是 CAD 技术的核心，它决定 CAD 系统的功能。研究和开发 CAD 技术必须具备一定的硬件和软件方面的知识。

§ 2-1 计算机辅助设计系统的硬件

所谓硬件(hardware)，就是组成计算机的物质设备，它一般由金属构架、机械、电子器件和磁性器件所构成。一个典型的 CAD 系统基本上应由如下几部分硬件组成 (图 2-1)。

一、主机

主机主要是指计算机的中央处理机 CPU (Central Processing Unit) 和内存贮器 (简称内存) 两部分。它是控制和指挥整个系统运行并执行实际运算、逻辑分析的装置，是系统的核心。CAD 系统的主机可根据不同需要采用大、中型机器，也可采用小型机、微型计算机及专用的分布式多处理机。

计算机的主要性能指标有：

寄存器位数 (bit)，时钟频率 (MHz)，执行速度 (Mips，每秒执行的百万次指令数)，内、外存容量 (K byte 或 M byte)。

二、图形输入装置

它是向计算机输入数据、图形、程序以及各种字符信息的设备。常用的数据输入装置有光电式 (或电容式) 纸带输入机、卡片输入机、键盘和字符终端等。随着 CAD 技术的发展，出现了大量性能良好的图形输入设备，如操纵杆，跟踪球、鼠形输入器 (亦称鼠标器)，光笔、触摸屏和图形输入板 (数字化仪) 等。这些设备的发展又推动了 CAD 技术的应用。

图形输入装置的主要作用是将平面或空间上点的坐标输入计算机，其基本功能是定位 (Locator) 和拾取 (Pick)。定位是确定和控制光标在图形上的位置，拾取是指示图形上的特定内容。理想的图形输入设备应兼有上述两种功能。这类设备主要的技术指标是：分辨率，直线性，重复精度和工作范围。

分辨率：是指在单位距离内设备所能鉴别的点数，可用每英寸线数表示 (单位 lpi)。

重复精度：是测度设备从某点出发并返回该点时所产生的最小误差，一般以绝对距离表示。

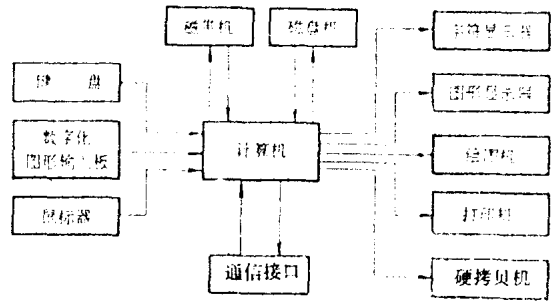


图 2-1 CAD 系统的硬件组成