

计算机在土木工程中的应用丛书

Jisuanji Fuzhu Sheji

计 算 机 辅 助 设 计

章乃鑫 程金环 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书目的是向从事工程设计的工程技术人员介绍 CAD 技术。书中从应用 CAD 系统的角度,分别叙述了 CAD 系统的硬件配置和软件结构,特别介绍了 CAD 系统中绘图系统的使用方法及其原理。书中列举了应用 CAD 技术的实例,介绍了如何使用 CAD 进行有限元计算的前后处理,同时还介绍了微型机上的 CAD 系统及计算机辅助制造 (CAM) 概念。

本书内容丰富,阐述深入浅出,文字通俗易懂,因此不致使初学者望而生畏。读者阅读后,可得到有关 CAD 的完整概念,并可运用所学知识挑选、扩展和使用 CAD 系统。

计算机在土木工程中的应用丛书

计算机辅助设计

章乃鑫 程金环编

责任编辑 张征宇

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 4.25 字数: 99 千

1988 年 2 月 第 1 版

1988 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—5,730 册 定价: 2.60 元

02-159-189-6

ISBN 7-114-00029-4

U·00027

统一书号: 15044·1908

出版说明

随着计算机的飞速发展，作为一种精确、迅速、有效的计算工具，计算机已经在许多方面发挥了重要作用，并且愈来愈受到重视。中国土木工程学会计算机应用学会，为了进一步推动计算机在土木工程中的应用，在人民交通出版社的大力支持下，决定编辑、出版《计算机在土木工程中的应用丛书》。

本丛书将介绍土木工程各专业中计算机应用的有关知识及应用程序与实例。我们希望本丛书能成为通俗易懂、结合专业及便于应用的读物，并可作为土木工程技术人员在职进修的材料。我们也希望通过本丛书，能帮助更多的工程技术人员掌握和应用计算机。

由于计算机应用的范围愈来愈宽广，我们打算继续选择读者需要的题材陆续编辑出版。欢迎广大读者向本丛书编委会反映你们的意见和要求。

《计算机在土木工程中的应用丛书》

编辑委员会 1987.1.14

《计算机在土木工程中的应用丛书》

编 委 会

- 主 编：**龙取球（清华大学，教授）
副主编：王道堂（北方交通大学，副教授）
编 委：傅作新（华东水利学院，副教授）
赵超燮（北京工业大学，副教授）
沈康辰（上海海运学院，副教授）

前 言

CAD/CAM (*Computer Aided Design and Manufacture*) 技术是计算机应用的一个重要方面。这种技术在问世以来的二十年间, 发展很快。在国外, 虽然近年来资本主义世界发生经济衰退, CAD系统的销售量却能一枝独秀, 依然保持旺盛的势头。在发达国家中, CAD/CAM技术目前已广泛用于工程设计与制造中; 在国内, CAD/CAM技术刚刚起步, 有关CAD的书还不多见。

本书目的是向从事工程设计的工程技术人员介绍CAD技术, 顺便也谈谈CAM。对于搞过一点程序的读者, 他们的经验定能有助于阅读这本书。为了读者的方便, 特别是为使没接触过计算机的读者不致感到困难, 本书的内容是相对独立和相对完整的, 即为叙述我们的主题所必需的计算机的基本知识都尽量事先给出。

本书从使用CAD系统的角度叙述, 因此, 不准备过多涉及数学推导和软件设计中的细节; 但本书又不等同于单纯的使用说明书, 因为本书的主要篇幅是向读者介绍CAD的基本原理和粗略轮廓。读完本书后, 不仅可以得到关于CAD的完整概念, 而且可运用所学知识挑选、扩展和使用CAD系统。

本书对材料的处理着重于分析。CAD系统是个复杂的整体, 为了把问题讲清楚, 必须就它的各个部分, 各个侧面来分析。我们的叙述分为三个层次, 一是功能, 二是原理, 三是使用方法。但实际上, 这三者又是互相关联的, 读者在适当的时候, 应作一些综合的思考, 把散见于各章中有关同一问题的材料融汇贯通, 就会有个完整印象。

本书介绍了CAD的软、硬件, 以及如何应用CAD搞工程设计

计的例子。第一章概述什么是CAD 技术，给读者一个总的印象。第二章介绍CAD 系统的硬件配置。第三章介绍 CAD 系统的软件。第四章介绍CAD 系统的使用方法。由于三维图形动态显示的功能对CAD 系统十分重要，我们用第五章专门对此加以介绍。三、四、五这三章是本书的核心部分。第六章讲如何用CAD 技术作有限元计算的前后处理。

鉴于微型机越来越高的性能价格比，在微机上实现CAD越来越现实了。所以用七、八两章介绍微型机上的 CAD/CAM技术。

作者感谢王卜同志，他为本书的编写提供了一个很好的基础。

作者深感水平有限，难免有疏漏谬误之处，切望读者批评指正。

目 录

第一章 计算机辅助设计及CAD 系统	1
第1节 计算机	3
第2节 什么是设计	7
第3节 人机对比	8
第4节 CAD的流程、工作方式和人机分工	9
第5节 CAD系统	12
第6节 SABRIJ 系统	14
第二章 图形通讯和CAD的硬件设备	17
第1节 图形通讯在CAD中的意义	17
第2节 图形通讯的硬件设备	18
第3节 介绍两个CAD系统的硬件设备	24
第三章 CAD系统软件的结构与模块	29
第1节 通用的CAD系统(GCADS)概念	29
第2节 对GCADS的要求	30
第3节 GCADS的功能	32
第4节 软件设计与结构	34
第5节 数据存贮	48
第6节 与应用系统的通讯	52
第四章 GCADS绘图系统的运行	54
第1节 启动系统	54
第2节 图形输入	55
第3节 菜单系统和图形输入笔的使用	57
第4节 层	60
第5节 文件生成和显示	61

第6节	宏功能	63
第7节	编辑程序	65
第8节	其它功能	67
第9节	三维显示功能	68
第10节	菜单中的用户区	69
第11节	使用绘图系统的实例	69
第五章	三维图形动态显示技术	75
第1节	显示的框图	76
第2节	窗口与剪裁	77
第3节	变换与齐次坐标	79
第4节	立体图形的显示	85
第5节	操纵杆功能及使用	93
第六章	CAD用于有限元计算的前后处理	97
第1节	有限元计算的前后处理	97
第2节	介绍有限元前后处理系统GFEMGS	98
第3节	CAD用于有限元前后处理的实例	101
第4节	三维物体外形描述和网格生成	106
第七章	微型计算机在CAD/CAM中的应用	114
第1节	什么是CAD/CAM系统	114
第2节	CAD/CAM对微型机的要求	114
第3节	CAD/CAM系统中的微型机工作站	116
第4节	如何挑选CAD/CAM用的微型机系统	118
第八章	介绍微型机上的一个CAD/CAM系统	123
第1节	工作站的硬件及操作系统	123
第2节	工作站的功能软件	125
第3节	小结	128

第 一 章

计算机辅助设计及CAD系统

1946年问世的电子计算机，是人类在20世纪最伟大的发明之一。它经历了近40年的发展，越来越深刻地影响着整个人类社会。其意义远远超过了动力机的发明。

任何工具都是人体器官的延长。18世纪末，以发明蒸汽机为开端的工业革命使人从繁重的体力劳动中解放出来，从这个意义上讲，机器的发明增强了人的体力。而电子计算机具有高速数字运算和逻辑运算能力，具有大容量存贮信息的能力，可以把人从繁重的、重复性的脑力劳动中解放出来，去从事创造性的脑力劳动。因此可以说，电子计算机是人脑的延长，在计算机的帮助下，人变得更聪明，更有创造性了。

在我国，自从50年代起，电子计算机就开始用于科学计算和工程计算。60年代初，由我国冯康教授和外国学者同时独立发展的有限单元法，给计算机在工程计算中的应用提供了广阔的前景。目前，我国已引入了一批大型有限元通用程序，如SAP-5，ADINA，ASKA等，国内也搞了许多通用的或专用的工程计算程序。相当多的工程师们业已熟悉并使用这些程序来完成设计过程中的数值分析工作。现在，对许多人来说，上机计算已经是常规的方法了。但是，计算只是工程设计的一部分工作，计算机能不能帮助工程师多干一些事呢？我们知道，工程界的语言就是图纸，一个设计发端于草图，最后又落实到工程图上。计算机能不能参与更多的设计过程就要看它能不能与人进行图形通信。稍早一些的计算机不能胜任这项工作。这是因为，第一，当时计算机

的输入、输出设备是电传打字机，它不能表示图形；第二，计算机只能处理离散的量，要表示连续的图形，只能用离散的点逼近，可以想见，这需要极大量的数据，而早期的计算机没有这么大的存贮容量；第三，从软件技术上说，当时也缺乏有效的方式将大量的图形数据组织起来，即使计算机有足够的存贮容量，也不能解决问题。这里所说的软件，就是今天的数据库。

社会的需要推动着计算机制图的发展。1963年，美国麻省理工学院发明了SKETCHPAD系统。由一个林肯T×2计算机操纵的示波器显示图形，还可用光笔在屏幕上修改图形，这就是最早的交互式绘图系统。这个系统很复杂，占用计算机的资源很多，因而很昂贵。只有那些从事诸如飞机制造等高值产品的工业设计公司才用得起。

由于大规模集成电路(LSI)技术的发展提供了高性能、价格的小型计算机和微型计算机，同时也由于发明了廉价的图形显示终端，使上述的困难迎刃而解，计算机迅速地进入了工程设计领域，发展成计算机辅助设计(*Computer Aided Design* 即CAD)技术。CAD目前已成为计算机科学中的一个重要分支。在一些发达国家中，CAD技术广泛用于工程设计中，特别是对建筑设计、机械设计、集成电路设计，印刷电路板设计、管道设计等，一些公司已有成熟的CAD系统在市场上出售。其中较著名的CAD软件有CV(*Computervision*)公司的CADD S4×和Prime公司的MEDUSA等。

CAD的发展还带动了许多相关学科的发展。“计算机辅助”这个概念渗透到产品制造、产品测试、医疗诊断、教学、学习等领域中，就形成了计算机辅助生产CAM(*Computer Aided Manufacture*)、计算机辅助测试(*Computer Aided Test*)、计算机辅助诊断(*Computer Aided Diagnosis*)、计算机辅助教学(*Computer Assisted Instruction*)和计算机辅助学习(*Computer Assisted Learning*)。在机械行业，CAM若与CAD合起来使用就形成CAD/CAM。由CAD设计好产品后，不用作任

何有形的输出，直接传输到CAM系统，指挥数控（即NC，*Number Control*）机床进行加工，极大地提高了劳动生产率。

第1节 计 算 机

现在，计算机在科学计算和事务管理上都得到了广泛的应用。新的电子器件的发明，特别是集成电路的出现，使得计算机由第一代电子管计算机发展到现在的第三、四代集成电路计算机，功能大大提高，体积减小，而且价格直线下降，使其在各方面的推广应用成为可能。

计算机本身是由中央处理器(CPU)和外部设备组成。除此以外，一个计算机系统还包括一些程序，这些程序管理计算机的操作与计算。通常，组成计算机系统的实体部分称为硬件，而那些程序则称为软件。

CPU是计算机的心脏，它主要由三部分组成：控制器，它顺序检查每个指令并决定计算机做什么动作；运算器，执行最基本的加减运算；内存贮器，当前要用的程序和数据存在里面。过去内存很昂贵，所以大量的数据要用外部设备来存放。

外存，又叫后援存贮，有好多种，它们的价格、容量和存取速度各不相同。最常用的高速大容量外存是磁盘。磁盘可存数据或程序。现代的磁盘存取速度极快，以致可把内存想象地扩大到磁盘上，这就是所谓的虚拟存贮器。磁盘的存取时间一般是数个微秒。

磁盘容量通常以所容纳的字或字节的数量来衡量。

对大多数计算机，字节定义如下：

1 字节 = 1 字母字符 = 8 比特，其中比特(*bit*)是一位二进制数。有些计算机的字长是固定的，8 比特或16 比特等等；另一些计算机的字是变长的，是一个字节或8 个比特的某一倍数。

不同磁盘容量也不一样，通常自1 MB（百万字节）至1000 MB。

磁盘比起其他形式的外存，显著的优点是信息可随机存取且能以每秒 3 MB 量级的速度传入内存。因此，磁盘可存子程序、数据库等信息，这样在需要时，这些信息可快速地调入、调出内存。

还有一种便宜的磁盘，容量可达 1 MB 以上，用比较软的塑料制成，因此叫软盘，而通常的磁盘是用一张张唱片那样的圆片装成的，也叫硬盘。软盘通常是随微型机系统配置的。

第二种常用的外存是磁带机。信息可以每秒 3 MB 的速率写到带上，也可以同样的速度读回内存。但是，因为磁带要顺序查找，在磁带上找出所要信息的位置很费时间。这样磁带的存取时间就常常是许多秒。显然，对于需要经常检索的各种库信息，不使用磁带存放。

磁带适于存放永久文件，也适合存放顺序存取的文件，这些文件也可很方便地拿到另一计算机上去用。磁带比其他外存便宜，存贮容量很大，现在，磁带密度可达 2.46×10^5 比特/m (6250 比特/英寸)，一盘 732m (2400 英尺) 长的磁带的容量可达 22.5 MB。

现在盒式磁带在计算机系统中用得多了，虽然其容量较通常磁带小，但便宜且便于携带，每个用户可用来放自己的专用文件。

最简单的外存是穿孔纸带和穿孔卡。穿孔速度为每秒 100B，而读卡、读带的速度要快一些。用穿孔卡存放源程序，修改起来很方便，只需调换几张相应的卡片。现在，纸带的应用相应减少了，但还经常用于计算机的输出和控制数控机床。

由于外存的存取速度低，如果每当输入、输出一个数据就访问外存一次，将迫使 CPU 频繁地等待数据的传输，从而降低计算机的效率。因此，计算机设置一固定的存贮空间，当输入、输出时，就向此空间填入信息，满了以后就传送一次，即传输是成批的。这个空间就叫缓冲存贮器。

目前，计算机越来越广泛地用终端来操作。终端是由一个键

盘和一个屏幕组成的，终端直接连在计算机上，通过它，用户可与计算机交换信息。用户的命令由键盘打入，计算机的回答显示在屏幕上。有的计算机连接多个终端，多个用户通过这些终端同时用一个计算机，计算机给每个用户轮流分配很短的时间片，由于计算机运算速度快，每个用户都感觉象自己一个人在用计算机一样。这种计算机系统称为分时系统。计算机通过打印机输出大量的字母数字信息，打印机速度可达每分钟1000行，每行有132个字符。

下面简要介绍几个软件概念：

文件 (File)：由一个或多个逻辑记录组成，在计算机上往往把各种程序和数据以文件形式保存。每个文件都有自己的文件名。用户可以通过文件名来调用文件，而不必知道文件存放的物理位置。用户可建立、修改和删除自己的文件。

程序库 (Program Library)：汇集在一起的标准程序或子程序。用户需要时可以随时调用，而不必重新输入所用的这些程序。这就可避免一部分重编程序的工作。

数据库 (Data Base)：在计算机存贮设备上合理存放的、相互关联的数据集合。这些数据集合尽可能不重复(即最小冗余)，可为多个应用程序共享，存放方式与使用它的应用程序无关，还有一个软件负责维护、更新和检索这些数据。

中断 (Interrupt)：当某种事件发生时，为了对此事件进行处理，中止现行程序的运行而引出处理事件的程序，这个过程叫中断；引起中断的事件叫中断源。一般有以下几种：

1. 硬件故障，如电源掉电；
2. 程序事件，又可分为两种：1) 程序性错误，如数值溢出；2) 程序性要求，即程序向操作系统提出某种要求。有时也称此类中断为软中断；
3. 其他中断源。

栈 (stack)：是一个特定的存贮区，它的一端是固定的，另一端是浮动的，对这个特定存贮区，所有的信息存入和取出都只能

在浮动一端进行，并且符合“后进先出”的原则。

操作系统(Operating System):这是为了提高计算机的利用率、方便用户使用计算机而配备的一种软件。它是用户与计算机之间的接口，用户通过操作系统在计算机上运行他的应用程序。它的主要功能是管理中央处理机、内存和外部设备，控制作业的运行以及处理中断等。大型计算机的操作系统常把编译程序、编辑程序和装配程序作为它的子系统包括在内。

✓ **小型计算机和微型计算机**的内存容量有限，其操作系统常驻在磁盘内，使用时，根据需要分块调入内存，这种操作系统称为磁盘操作系统或DOS(Disk Operating System)。微型机的芯片和操作系统决定了微型机的大体性能。过去，每种微型机通常配有一种或几种DOS。现在已经出现了一种通用型的操作系统UNIX。它是当前国际公认的相当成功的操作系统，具有高度的可移植性，适用于多种机型。该系统已被广泛使用，很受欢迎。

模块(Module):大型的程序常常在结构上分解成许多相对独立的模块程序。每个模块具有特定功能。每个模块都只有一个入口和一个出口，可以调用别的模块也可被别的模块所调用。这种程序的编写和调试都可分块进行，程序的可读性好，维护和修改也比较方便。这种程序就是模块化程序。

划分模块时，如果只是按功能划分，各模块之间可以互相调用，不存在固定的先后次序关系，则当模块数目很多时，模块间的关系就变得很复杂。因此有必要将模块分层，每个模块都处于某一层上。上层模块可调用下层模块，反之不行。下层模块实现上层模块分配下来的一部分功能。这就是程序的层次化。本书所介绍的CAD系统，其软件就是模块化和层次化的。

与程序结构的变革相应的是程序设计方法上的改革，即结构化程序设计的方法。按照这种方法，程序设计要贯彻自顶向下和逐步求精的原则。在程序设计中，要从高层模块到低层模块，逐层编写和调试，使整个程序由粗到精，逐步实现其全部功能。有关程序的模块化、层次化和结构化问题，详见本丛书的《结构化

程序设计》一书。

图形软件包(*Graph Software Package*): 这是一组处理图形的子程序。它们直接与图形输入、输出设备打交道。图形软件包中的子程序可以分为三级: 基本软件、功能软件和应用软件。基本软件是最低的一级, 它们执行最基本的绘图操作, 如画直线、选择比例等。功能软件是中级软件, 它使用户摆脱了最基本的绘图操作, 画圆、矩形、曲线拟合等都可仅用一个命令完成。最高一级是应用软件。有了它, 用户不用编写任何程序, 只要为它提供数据并选择一个程序加以运行, 就可得到预期的图形输出。

CAD系统的图形功能要通过调用图形软件包中的子程序来实现, 因此, 图形软件包的好坏在一定程度上影响着CAD系统图形功能的强弱。

第2节 什么是设计

为了搞清什么是计算机辅助设计, 就不能不简单地提一下什么是设计。一般地说, 设计就是根据一个既定目标, 从技术可能性和经济合理性等方面作分析研究, 并给出实现这一目标所需要的全部技术信息和指令。设计一般分为四个阶段: 计划书阶段, 战略设计阶段, 技术设计阶段和生成生产指令(施工详图)阶段。

从信息加工的角度来看, 设计的流程如图1-1:

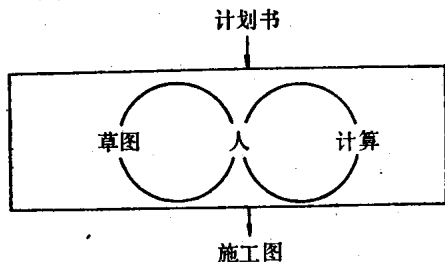


图1-1 人工设计过程

第一框是计划书阶段, 接收设计环境等设计要求的初始信

息，形成计划书。第二框是战略设计阶段和技术设计阶段。人根据计划书的要求，探讨各种技术方案并对某一个方案进行深入的技术分析，在此过程中需要反复画草图，反复计算。最后在第三框中，根据业已形成的技术途径，给出施工详图，即设计过程的输出信息。不难看出，在不同阶段，由于所要加工的信息不同，所要做的工作也不同，在初始阶段，主要依赖人的观察力、创造力和判断力，随着设计过程的深入，具体而繁琐的计算、绘图等机械性劳动急剧增加。这种性质的工作正是可以用计算机帮助人去完成的。

下面分析一下设计的工作方式。

在战略设计和技术设计阶段，设计者掌握的资料有：过去已有的类似设计、设计规范、技术数据卡片。所用的工具是：计算尺或台式计算机，各种图表。其效果往往是：不及时、不准确、不可靠、不经济。复杂的问题算不了，多种方案的比较算不起。

在生成施工详图阶段，所用资料是：技术分析的数据，绘图规则和规范；工具是：绘图板、鸭嘴笔、纸；其效果是：慢、繁、重复性的、机械性的劳动。

第3节 人机对比

总的来讲，计算机只能实现那些特定的、简单的脑力劳动，它比较死板，但很认真；人能胜任创造性的脑力劳动，有学习能力，可以凭经验、直觉进行判断，比较灵活巧妙。

从信息加工的角度，我们可对人机进行更详细的对比（见下页表）。

我们可以看出，由于人和计算机的不同特点，整个设计过程的一部分工作可用计算机来完成，这就接触到我们的中心问题。准确地说，计算机辅助设计就是人机混合编队，共同解决设计问题的一种技术。这里，最重要的是“混合编队”的思想。我们说混合编队，就是要分清哪个工作由谁来干最好，充分发挥人机的

人

计算机

综合与分析能力	能凭经验、想象力和判断进行直觉分析,能迅速学习,能一下子抓住重点,但有时智力不可靠,数值分析能力不强。	只能系统地分析,学习能力不强,不能抓住重点,但智力可靠 数值分析能力强。
信息输入	大量、并行	顺序
信息输出	慢、顺序	顺序、迅速
信息组织	非形式化、直觉	形式化、详尽
信息存贮	容量小,易忘记	大量、不忘
出错率及处理能力	易错,特别是重复性工作。靠直觉能发现错误、能改错。	不易错,出错后只能系统地查找。不能自行改错。

各自优势。人、机的优缺点几乎是互补的,干起工作来可以相辅相成,可以断言混合编队比任一方单干要好得多。事实上,CAD技术就是要把人从设计工作中的重复的、枯燥的简单劳动中解放出来,使之集中于创造性的劳动,控制设计的全过程,以赢得时间,提高质量。采用CAD技术取得明显效果的例子是很多的。美国的波音公司设计波音727飞机比英国三叉戟飞机晚两年,但由于采取了CAD技术,缩短了设计周期,使波音727飞机与三叉戟飞机都在1964年投入商业飞行。

第4节 CAD的流程、工作方式和人机分工

实现CAD后,设计工作的流程发生很大变化。

如图1-2所示,在CAD系统中,人与计算机之间以图和字母数字字符的形式进行信息交流,即人机会话。这是手工设计中所没有的。在CAD系统中,人和计算机是合作者,它们之间要交流信息以协调工作,这是必然的。具体来说,在设计过程中,由于发现了错误,由于更动设计或由于翻改旧设计为新设计,修改是不可避免的。在这个过程中需要很多人机对话。对于查找错误,人和计算机各有各的办法。比如校核一根梁,计算机的办法是系统地