

计算机辅助设计

浙江大学

汪树玉 刘国华 陈福林 等编著



A0925484

中国水利水电出版社

前 言

计算机辅助设计,简称 **CAD**(Computer Aided Design),是计算机技术、现代数值方法与工程设计紧密结合的产物。它起始于 60 年代初期,随着计算机硬件和软件系统的发展、计算机图形学和系统设计理论的不断完善而日益得到广泛应用,特别是近十年来由于集成电路制作技术和计算机硬件的突飞猛进,以及数据库系统、图形生成和显示技术、人工智能等方面的长足进展,使得微机和在其上开发的 **CAD** 技术能够普及应用于中小型企业事业单位,成为工程设计不可缺少的组成部分。当前随着计算机网络与信息工程的发展,传统的工程设计方法与手段正面临着彻底的变革。**CAD** 正在和 **CAM**(Computer Aided Manufacture 计算机辅助制造或 Computer Aided Management 计算机辅助管理)结合形成 **CAE**(Computer Aided Engineering 计算机辅助工程),成为现代工业技术革命的重要内容。因此,计算机辅助设计有关技术已成为未来工程师们必须具备的基础知识和必须掌握的设计方法。

近年来,国内水电行业引进和开发了若干 **CAD** 系统,应用于实际工程设计中,取得明显效果。在数值计算上,90%的设计计算工作量已由计算机完成,不少建筑物的可行性研究和初步设计已能由 **CAD** 系统完成,许多先进的设计单位已甩掉图板而代之以计算机和相应的软件系统。各有关院校也相继开设了这方面的课程,但遗憾的是至今仍缺少供水利水电类专业大学生使用的计算机辅助设计教材。虽然有关 **CAD** 技术的专门书籍很多,但大多针对某一方面的论述,内容过多过细,篇幅过大,难于进行教学。本书准备综合地介绍计算机辅助设计的基本技术;从工科大学生的学习角度出发,着重阐述它的基本组成内容、基本概念与知识、主要方法和应用示例;使读者能有一个较全面的初步了解,为随后从事具体的 **CAD** 系统的开发与使用提供一个技术基础。

全书共分六章。第一章介绍 **CAD** 的基本概念、发展概况和硬软件环境;第二章叙述数据结构与数据库管理系统基本知识,并以微机数据库系统 **FoxPro** 为例,较详细地介绍其组成内容、操作命令和程序设计,指出工程数据库特点和设计原则;第三章是计算机辅助图形设计,包括基本概念、交互技术、图形变换与剪裁和几何造型技术,最后还介绍了 **AutoCAD** 与 **MicroStation** 图形支撑系统;第四章简要介绍专家系统的概念、知识表示方式、推理控制方法、知识获取与机器学习等;第五章概述软件工程与 **CAD** 软件的集成化;第六章叙述水工建筑物 **CAD** 系统基本模式、设计方法和参数化设计,并详细介绍了土石坝枢纽水工建筑物 **CAD** 系统 **HPID** 的情况。书末附有部分源程序和程序使用说明,供读者参考。

本书可供大专院校中水利与土建类学生学习计算机辅助设计课程使用,也可供从事这方面工作的工程技术人员参考。课堂讲授约 40 学时,上机实习约 20 小时/人。通过学习,可以初步掌握工程设计 **CAD** 的基本概念与方法,并具有一定的计算机实践技能。

本书第一章由汪树玉、刘国华编写;第四、五章和第二章第一、二、四、六节由汪树玉编

写;第二章第三、五节由王建江编写;第三章由刘国华编写;第六章由陈福林编写。全书由汪树玉、刘国华统校。本书承浙江大学计算机系何志均教授审校,提出了不少宝贵意见,在此表示衷心感谢。另对施新友、黄志斌同志在程序编调方面所付的心血与工作特此表示感谢。

限于笔者的水平,加上 **CAD** 发展迅速,书中的疏漏不妥和缺点错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

1995.6

第一章 概 述

第一节 计算机辅助设计发展概况

计算机辅助设计(COMPUTER - AIDED DESIGN)简称 **CAD**,它是利用计算机系统来辅助工程或产品设计的技术。**CAD** 不是局限于设计的个别阶段、部分内容上使用计算机,而是将计算机及其相关技术,有机地综合地应用到设计中各个阶段和环节上,形成一个高效、高质的集成系统来完成整个设计过程。

计算机辅助设计系统包括硬件和相应的软件。硬件由电子计算机和其外围设备(存储器、输出设备)组成,软件由系统软件、支撑软件和应用软件组成,用以完成不同用户要求的专业设计任务。

CAD 虽然主要建立在计算机硬件、软件技术的基础上,但它同时还吸收了与设计技术相关的其他学科的理论与技术:如数值分析、计算几何与图形学、信息处理、有限元与边界元方法、优化理论、可靠性设计、系统工程以及设计方法学等。因此,它能够彻底摆脱传统的静态分析、经验估算、近似设计、少方案比较等的框架,进入动态分析、数值仿真、精确分析、优化设计的新阶段。采用 **CAD** 能使技术人员从劳动量大,重复性的手工设计中摆脱出来,从事更有创造性的环节,优质高产地完成设计任务。据不完全统计,在工程设计中应用 **CAD** 技术一般可提高工效 3~6 倍,节约投资 5%~10%。总之,**CAD** 是计算机科学和工程科学中各种先进技术的综合与运用,反映现代设计分析方法的集成,是对传统设计方法的革命。

一个完备的 **CAD** 系统,应具备如下功能:

- (1)科学计算 能进行各种复杂的工程计算、设计优化、动态模拟。
- (2)图形处理 能进行几何构型、交互式图形输入、显示和修改、自动绘图。
- (3)数据处理 有完善的数据库系统,能对设计、计算、绘图中所使用的大量信息进行存取、查找比较、加工与处理。
- (4)分析检验 能对所作设计结果进行检验、性能分析与评价。
- (5)文件编制 能编制各种技术文档资料,包括材料明细表、概预算等。
- (6)人工智能 新的发展是将 **CAD** 与专家系统结合,形成所谓智能 **CAD**,能仿照人类专家的能力进行逻辑与推理、决策等。

计算机辅助设计是随着计算机硬件、软件技术进展而发展起来的。自从第一台电子计算机 **ENIAC**(Electronic Numerical Integrator and Calculator)在 1945 年问世以来,利用计算机进行工程、产品辅助设计技术的发展大体经历了如下几个阶段。

40 年代末至 50 年代末是孕育、形成阶段。此期间使用的是真空管式计算机,用户要用代码(机器语言)编写求解数学问题的程序,较难掌握,只有专家能够应用。计算机仅起解题中的数值计算作用。少数大公司开始实际使用,如美国通用电气公司曾用于进行变压器、电

动机等的设计计算。

50 年代末至 60 年代中、后期是成长阶段。晶体管成为电子计算机的基本元件, 计算机的运算速度与存贮功能有较大提高, 陆续开发出一批高级程序语言, 如 **FORTRAN II** (1958), **ALGOL - 60** (1960), **COBOL** (1960), **FORTRAN IV** (1960) 以及 **PL/I** 语言 (1965), 能通用于科学计算与事务管理, 且较易为广大工程技术人员掌握和使用。1962 年美国麻省理工学院学者 I. E. Sutherland 提出并阐述了交互式图形生成技术的基本概念与原理, 研制了第一个计算机图形处理系统 **SKETCHPAD**, 采用与计算机连接的阴极射线管 **CRT** 和光笔, 在屏幕上显示、定位与修改图形, 实现人机交互式地工作, 不久又出现了自动绘图机, 解决了图形输出问题。在数据处理方面, 由于直接访问设备——磁鼓和磁盘的出现以及性能改进, 初期出现的文件系统, 到 60 年代中后期得到较大的完善, 形成数据管理方法的雏形。在这阶段后期, 由于计算机软、硬件的迅速进展, **CAD** 技术有很大飞跃, 它从简单的零部构件的设计计算, 推广应用于大型电站锅炉、核反应堆热交换器等成套设备的设计, 其中美国通用汽车公司所开发的 **DAC - I** (Design Augmented by Computer) 系统用于进行汽车车身外表和结构设计, 是这方面的先驱例子。60 年代末, 美国安装的 **CAD** 工作站有 200 多台。

70 年代以后进入开发应用阶段。此时计算机已采用集成电路, 计算速度与内存容量均有极大增长, 发展了“分时系统”, 使大型机可与几十个终端连接。在图形输出设备方面亦获得了进一步发展与质量的提高, 从 **CRT** 显示器发展出光栅扫描图形显示器、彩色图形终端等, 使图形更加形象逼真; 全电子式坐标数字化仪及其他图形输入设备取代了光笔得到广泛应用; 机控精密绘图机能高速高质量地绘制实用图纸。图形信息处理技术问题已基本解决。数据处理亦从文件系统发展成数据库系统, 实现了数据独立和数据以记录、数据项的共享, 使数据管理更趋完善。与此同时, 各种数值分析技术 (偏微分方程的数值解法、数值模拟、数值积分、离散数学、有限元等) 和现代设计方法 (如优化算法、可靠性设计)、系统工程等亦在计算机应用的刺激下有了很大的发展。它们反过来又推动 **CAD** 的应用, 逐步开发出一批工程和产品设计的完整的 **CAD** 系统, 被应用后, 大大提高了设计效率, 设计质量与深度亦达到一个崭新的水平。70 年代末, 美国 **CAD** 工作站已超过 12000 台, 使用人数超过 2.5 万人。

进入 80 年代以来, 电子器件的集成度迅速提高, 随着芯片技术的发展, 使小型机与微型机的性能日益完善, 专门的图形处理与数据库处理机的出现, 软件方面虚拟存贮操作系统、分布式数据库技术与网络技术的应用, 这些都使 **CAD** 技术有了长足的进展。过去因设备价格过于昂贵, 只有大型企业与公司才能使用的 **CAD**, 现在通过开发移植到小型机与超级微机上, 已能为中、小企业甚至个人广泛使用。应用部门亦从航空、汽车、机械制造行业扩展到电子电器、化工、土木、水利、交通、纺织服装、资源勘探、医疗保健等各行各业。**CAD** 步入广泛实用阶段。

80 年代中期以后是 **CAD** 向标准化、集成化、智能化方向的发展时期。**CAD** 技术的集成化主要体现在系统构造由原来单一功能变成综合功能, 出现由 **CAD/CAM** (计算机辅助制造 Computer - Aided Manufacture)/**CAE** (计算机辅助工程 Computer - Aided Engineering)/**MIS** (管理信息系统 Management Information System) 构成的计算机集成制造系统 (**CIMS - Com-**

puter Integrated Manufacturing System)。集成化还体现在下列几方面:一是 CAD 中有关软件和算法不断地被固化,即用集成电路及其功能块来实现有关软件和算法的功能;二是多处理机,并行处理技术用于 CAD 中,使工作速度成百倍增加;三是网络技术在 CAD 中被采用,这样近程和远程资源都能即时共享。随着 CAD 集成化的发展,必然要使用多种多样的计算机软件,必须相互交换产品数据信息,于是制订软件标准就是当务之急。自 1977 年推出 CORE 图形标准以来,近十年来又陆续公布了计算机图形设备接口(CGI)、计算机图形文件标准(CGM)、计算机图形核心系统(GKS)、基本图形转换规范(IGES)以及 CAD 数据库标准等。它们有的是面向图形设备的驱动程序。有的面向计算机的信息处理,也有面向工程制图、产品定义和造型方面。这些标准的制定和采用为 CAD 技术的推广和移植、为资源信息的共享起到了重要作用。当前人工智能和专家系统技术已在 CAD 中逐步被应用,把工程数据库及其管理系统、知识库及专家系统、用户接口管理系统和应用程序系统集成于一体,形成智能计算机辅助设计(AICAD),大大提高了设计自动化的程度。

CAD 的生产和应用目前以美国最发达,其次是日本、西欧诸国。据报道美国在设计中应用 CAD 的比例:1983 年为 15%;80 年代后期达 50%;90 年代预计将达 80%左右。总之,CAD 技术的进步与普及,大大促进了社会生产力的发展,正如美国科学基金中心指出的那样:对直接提高生产力而言,CAD 技术比电气化以来的任何发展,具有更大的潜力。它触发了新的产业革命。

第二节 CAD 系统的硬件

硬件是由电子计算机和外围设备(外存贮器、输入输出装置、通讯网络等)组成,如图 1-1。

1. 主机

电子计算机又称主机,是控制、指挥整个系统并执行实际运算与逻辑分析的装置。它包括中央处理机 CPU(Central Processing Unit)和主存贮器(简称内存)。评价主机的指标主要有:

(1)内存量 内存量是指机器具有的随机存取存贮器 RAM 的数量,最小单位称字节(Byte),一个字节由八个字位(Bit)组成(确切地说由九个二进制位组成,其中 8 位表示信息,一位是校验位,供机器内传送信息时检查有无错误用)。内存容量越大,主机能够容纳和处理的信息量越大。

(2)字长 表示一个字由多少位组成,如 8 位,16 位,32 位,48 位,64 位等。字长越长,计算精度越高。应该指出,即使短字长(例如 16 位)机器,可以把二个字(32 位)或四个字(64 位)代表一个数据,使之具有所需要精度。对于只有短字长的硬件运算器的机器,双倍字长

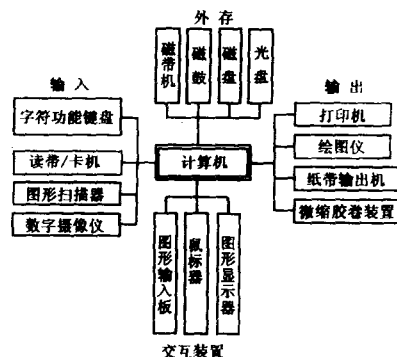


图 1-1 CAD 硬件系统的基本组成

或4倍字长的数据的运算可以通过软件来实现,当然速度会大大降低,这是对于提高精度的代价,而交换的条件。

(3)运算速度 时钟频率是CPU提供产生各种定时信号的时钟脉冲频率,倒数是时钟周期。各种操作均以时钟周期为单位。时钟频率越高在单位时间内计算机的运算速度和数据传输能力越强。实用上还常以计算机的处理速度MIPS(每秒百万次指令)来衡量,如具有20MHz主频的80386速度约3~5MIPS。以往主机常按字长,运算速度和内存容量分档:微机(8~16位,0.5MIPS以下,0.64MB以下);小型机(16~32位,1.0MIPS以下,4MB以下);大中型机(32~64位,1.0MIPS以上,4MB以上)。但这些是80年代的分档指标,随着芯片技术快速进展,高级微机的迅速发展,如奔腾586微机具有字长32位,内存4~16以上MB,速度一般在10MIPS以上,区分大、中、小型机的界限也相应地提高。

2. 输入装置

用于向计算机输入数据、程序以及各种字符信息。有的一步与二步输入两类。二步输入是先在另一台设备上将要输入的字符、信息等记录在某种介质如纸带、卡片上,然后通过这些介质向计算机输入,如卡片输入机、纸带输入机、磁带机等。一步输入是将键盘与计算机连接,然后在键盘上打字,把字符直接输入计算机内,如输入键盘、字符终端等。后者是由字母、数字功能键盘和显示器组成,从功能上讲键盘供输入,显示器供输出,但两者合在一起作一台设备使用。由于它能立刻显示所输入的信息,供检查、修改,直观灵活方便,故是当前广泛使用的一种交互装置。

在图像输入装置方面有数字化图形板、鼠标器、跟踪球、操纵杆、光笔以及扫描仪。

光笔是外形似笔的输入装置。它的前端装有透镜,以收集显示屏上发出的光,笔上还安着触动开关。将光笔笔头对准显示器上的某点,同时按下触动开关,当电子束扫描经过光屏上此点时,光透过笔端的小孔,经透镜聚焦后送出并经光电转换变成电信号,再反馈到图形控制器或计算机。光笔的主要功能是定位与跟踪,与程序配合,就可以用光笔在显示屏上直接画图、修改图以及将图形进行旋转、平移等几何变换,还可用来指点菜单。

数字化图形输入板是平板状的输入装置,类似于绘图板,有一支功能笔或游标定位器和一个控制用键盘。当专用的触笔或游标在平板上移动时,触笔或游标可检测到输入板该位置上的电、磁或声信息(如电位、相位、时间间隔等,取决于不同类型的输入板),这些信息经输入板中的译码器或微处理器处理便可获得笔尖或游标中心的坐标数据,并存入输入板的缓冲寄存器。标准数字化板的尺寸从11in×11in到46in×96in等。对于要输入大量精确图形的,采用图形板较为合宜。

鼠标器、跟踪球和操纵杆,这三种设备都装有电位计,调整电位计可控制各种显示功能,如控制屏幕上的光标位置。操纵杆和跟踪球虽比鼠标器早出现,但它们只适用于自由格式的绘图,不能跟踪已有的设计图像,故现在大都选用鼠标器。

图形扫描仪直接把图形(如工程图纸)和图像(如照片、美术图画)扫描输入到计算机。其主要部件是电荷耦合器件(CCD),它可以把光信号转变为电荷。图形扫描仪的机构很像低速复印机,长条形的光源照射于原稿,反射光线经过光学镜头将一行图形聚焦到CCD阵列上,转换成一行对应的电荷,并以移位寄存器方式和经过模/数转换将逐个像素通过电缆

输入于计算机,类似于复印机方式扫描过原稿,所不同的是复印机将原稿复印到纸上,扫描仪将原稿上图形转变为计算机内图像存储器阵列上一幅相应的电信息图形。根据所转换的图形的不同要求,模/数转换器的精度和存储器上每一单元的存储量要求也可以不同,对于输入线框图,只需要一位(以0表黑,1表白),对于单色的多灰度层次就需要4位(输出16种灰度)以上,对于彩色扫描仪就需要8位(伪彩色)或16~24位(真彩色)。扫描仪的分辨率是指在原稿的单位长度(in)上取样点数,单位是dpi,常用的分辨率在300dpi到1200dpi之间。扫描仪的另一个指标是扫描幅面的大小,如 A_0 、 A_1 到 A_4 。

随着CAD技术的不断发展,提出了虚拟现实的概念,而三维输入设备成为虚拟现实环境中不可缺少的部分,目前这方面设备,如控制球(指示空间位置变化)、操纵盒(具有三个自由度的操纵杆)、指套、数据手套(模拟手指动作)等,已在实验室中使用。

3. 输出装置

供输出所得的中间或最终结果的设备,亦可分二类:软拷贝与硬拷贝设备。软拷贝的特点是只产生暂时性的影象,如显示屏幕上的字符或图形,上面所说的字符终端以及图形显示器便是这类设备。硬拷贝的特点是将输出的信息转变成永久性的物理记录,如穿孔纸带或卡片,打印出的报表(图形),对应的设备是纸带穿孔机,卡片穿孔机和行式打印机等。

(1)图形显示器 核心部件是阴极射线管(CRT)。它是利用电磁场产生的经过聚焦的高速电子束,轰击屏幕表面的荧光材料而产生光亮点,通过控制电子束的偏转和强度在荧光屏上画出图形。常用的图形显示器有随机扫描式和光栅扫描式两种,所谓随机扫描是指电子束不必在整个屏幕上顺序扫描,只需在有图像处扫描,并可以从一处跳到另一处,要显示的图形由计算机加工成为显示指令送到图形显示器的存储器中,然后由控制器依次取出执行。这类图形显示器的优点是光点可以做得很小。因此,图形清晰、曲线光滑,缺点是难以画出特别复杂的图形,且价格较高。

光栅扫描显示器的电子束扫描整个屏幕,屏幕按行按列分割成若干小块(称为像素),在帧存贮器中存放的不是显示指令而是各像素的明暗、灰度或彩色信息(称为位图),当电子束作光栅扫描时,控制器亦同步扫描帧存贮器中的位图,把位图中信息转换成亮度或色彩信号来控制电子束强度,从而显示出所需的图像。一个位图的光栅显示器只能产生黑白两种亮度等级,四个位图能输出16种颜色或灰度等级,八个位图的光栅扫描显示器可输出256种颜色或灰度等级的图形。为了得到稳定的图像,还需对帧存贮器作重复扫描,进行刷新操作。

光栅扫描图形显示器的优点是灰度和色彩丰富,能产生真实感很强的复杂图形,可和电视机兼容,价格远低于随机扫描图形显示器;缺点是当像素较少时,显示的曲线不光滑,造成所谓的阶梯效应。分辨率与显示速度是图形显示器质量的重要指标,目前分辨率高的已达到 2048×2048 点,一般微机CAD的图形终端常用 1024×768 分辨率,15"或19"屏幕。

(2)打印机 按其结构分有击打式与非击打式两类。前者又有字轮式与点阵式,后者可分为喷墨式、热敏式、静电式与激光式等。按功能分有打字符的和字符图形兼打的。

(a)点阵式打印机 这是目前常见的击打式打印机用9~24根排列的针击打色带,从而在纸上形成图像与字符。先进的彩色图形打印机采用了矢量—光栅转换技术,能够满足

CAD图、商务图、表格、文件各方面的需求。击打式打印机响应快、价格低,但噪音大和色带寿命短。

(b)喷墨式打印机 这是利用连续射流或指令喷滴技术在纸上产生图像。连续射流向纸上喷射墨水液滴,通过静电荷精确控制墨水流。滴墨指令通过压电传感器压缩充满墨水的细管,使墨水从打印头喷到纸上。此外还有一种用固态彩墨杆的,机器熔化固态墨水,将其喷到纸上并很快使其固化,这种技术几乎可在任何纸上形成鲜艳的彩色。

(c)热敏式打印机 热敏技术以蜡为基础涂敷有几种颜色的色带,通过电子笔尖组成的打印头,将色料溶化在打印介质上(纸或胶膜),每点的熔点由编码器精确地控制。这种打印机输出速度很快,打印出的图形是干式的,不会模糊和褪色,图形质量好,有发展前途。

(d)静电式打印机 它使用一种特殊的涂有绝缘材料的纸、液体颜料和很小的针尖,当电压有选择地通过针尖加到纸上时,便形成了一个电圆点,带电的纸通过装有颜料的容器时,颜料微粒便粘附在带电圆点上,形成所要的图形。这种设备的优点是速度快、成本低。

(e)激光打印机 通过计算机中的数据产生激光输出,激光束扫描一个光敏滚筒,出现图像后再转移到纸上。

(3)绘图机 有笔式绘图机、喷墨绘图机和静电绘图机等几种。笔式绘图通过矢量构成图像,将小段矢量相接可形成各种曲线。常用的又有平板式和滚筒式两种。

(a)平板式绘图机 绘图介质(纸、胶膜等)放在平台上,大的台面还有真空吸附装置,机上安装有X方向和Y方面的步进马达以及抬落笔装置,它们在绘图机控制器的控制下带动笔架按指令要求绘制图形。平板绘图机还可在玻璃、金属板和木板上画图和刻画。

(b)滚筒式绘图机 绘图纸卷在滚筒上,笔架只在单个方向上运动,另一个方向上的运动是通过滚筒旋转带动绘图纸作相对于绘图笔的运动而产生。滚筒式构造简单,价格便宜,但滚筒式精度不会太高,平板式速度快(每分钟可达120m),精度高、维修方便,但价格贵。一般国产绘图仪步距为0.1~0.00625mm,而0.005mm的步距肉眼已察觉不到阶梯状波动。

(c)静电绘图机 静电绘图机上的纸沿一个方向运动类似滚筒绘图机,在整幅宽度上布满针尖,用来代替绘图笔。针尖电极将在纸上产生静电荷,通过增色剂显示出图像。图像分辨率可达每英寸400点,还可以做得更细。它以多通道技术实现彩色绘图。静电绘图机能绘制很高密度的图像,可以画阴影或填色彩。静电绘图机生产效率高、无噪声,但其价格较高。

此外还有热敏式、激光式和直接成像绘图机。绘图机输出图形质量高,但速度慢、价格高;而图形打印机价格低、速度快,但出图质量差一些。因此,常可将打印机与绘图机组合配置,以便能根据不同工作需要,兼顾速度和质量的要求。

4. 外存贮器

用来存放大量当前不参与运行而等待调用的程序与数据,作为增大内存容量、降低主机成本的一种辅助存储装置。当然任何指令、数据都必须先读入内存后再成批地转入外存,输出时则必须先经内存再到达输出装置。外存常用的有2种类型:

(1)顺序存取存贮器 如果要读一个特定的文件记录,必须先读过这个记录前面的所

有记录后才能读出,如磁带;高中档计算机系统要配置磁带机,以便存贮大量资料与数据。

(2)直接存取存贮器 如磁鼓与磁盘,每个记录都可以迅速地存入与输出,而不必读所有的记录。

磁盘是在金属盘片(硬盘)或聚脂薄膜片(软盘)表面涂覆薄层磁性物质。为了能在磁盘上指定区域写入或读出数据,要将磁盘划分为若干有地址编码的区域:磁道与扇段。磁道是指沿径向划分的同心圆区,由外向内编号;每条磁道沿环向又划分为若干扇形区,每区称为扇段,它是磁盘地址的最小单位。磁盘机分硬磁盘机与软磁盘机,硬磁盘机是由多层金属盘片(硬盘),读写头及驱动装置组成的密封装置,它的旋转速度很高,容量目前一般为 500MB~1GB,甚至更高。软磁盘机由软磁盘、读写头与驱动装置组成。软盘有单面与双面、单密度与高密度。尺寸有 $3\frac{1}{2}$ in、 $5\frac{1}{4}$ in 与 8in 三种, $5\frac{1}{4}$ in 盘双面双密度的存贮容量在 360KB 左右(每面 40 个磁道,每个磁道九个扇区,一个扇区存贮 512 个字节,故每面为 180KB), $3\frac{1}{2}$ in 盘存贮容量为 1.44MB~2.88MB。

光盘是采用激光技术实现的一种海量存储器,单片双面光盘的存储容量可达 2GB,和软盘一样具有可置换性,是正被广泛采用的一种外存储器。

CAD/CAM 硬件的配置一般分为中心式与分布式两种。早期的 CAD 系统都是中心式的硬件配置,它是一个中心主机联接许多终端,将一个公司或企业单位所有的数据处理任务,如设计、工程分析、制造、计划调度、业务管理等都包括在内。由于各用户合用一台主机,成本较低且能按全面的综合方式管理与维护;但需有完善的通讯网络;随着计算负荷增加、系统响应缓慢,一旦 CPU 失效,影响全部用户;此外机内数据易遭到破坏。这种方式在 70 年代较为流行。

相反,分布式的概念是用各种各样的计算机承担数据处理的局部任务,为了保证数据的集成处理,需要用网络把各类计算机连接起来。网络中各计算机可有各自的操作系统,启动/失效也是独立的,但可共享输出等外部设备和整体数据资源。

80 年代中、末期,工作站逐步普及成为支持 CAD/CAM 的主要手段。CAD 工作站是具有计算、图形交互处理功能的计算机系统(一般有 16/32 位或完全 32 位字长的 CPU、内存 8~32MB、自带磁盘或磁盘箱 80~1000MB),能个人独立操作也可联成网络。由于它能为用户提供很强的计算和图形功能,单台价格又低于过去需要主机支持的图形终端和转键式专用系统,因而成为 CAD 硬件的主流。在我国应用较多的是 SUN、Apollo 和 DEC VAX 工作站。

随着微电子技术突破性的发展,微型机不能胜任 CAD 需求的观点已被打破。事实上,由于微机功能的增加以及价格的降低,使 PC-CAD 愈来愈受到人们欢迎;大量第三方硬件资源的兼容为用户的扩机、升级带来了方便,使用户有充分的选择余地;微型机可以配上高性能的图形卡,能完成许多复杂运动、仿真和动画作业;可以将若干台微机联成网络,再配上服务器,从而增加网上吞吐存储大量数据的能力,此外 PC-CAD 应用软件的价格比较便宜亦是它的一个优势。现在已经很难在联成网络的高档微型机与工作站之间划出一条明显界限,预计最终要统一考虑两者的发展和应用。

第三节 CAD 系统的软件

软件亦称软设备,是由控制、指挥计算机操作、运行、解算等一串程序所构成。**CAD** 系统的软件是决定该系统的效率与使用是否方便的关键因素。**CAD** 系统的软件大体上可分为三类或三个层次:系统软件(一级软件),支撑软件(二级软件),工程(产品)应用软件(三级软件)。

一、系统软件

系统软件用于计算机的管理、维护、控制和运行,提供了整个 **CAD** 系统内部的支持功能,控制着存贮操作、指令执行与外围设备的动作。系统软件按其不同的用途可分为三个方面:

(1)面向用户的服务系统 包括多种语言(**FORTRAN**、**C**、**BASIC**)的语言处理系统,多种编辑服务程序,数据库管理程序,以及常用数学库等。

(2)面向管理人员的计算机维护系统 包括错误诊断和检查程序,纠错程序,日常事务管理程序(如运行记录,用户会计记录)等。

(3)面向计算机的操作控制系统 包括计算机管理程序,操作系统和网络通讯系统等。

系统软件是由计算机专业工作者研制的,与硬件一起提供或单独购置,对用户来说,仅需了解它的功能与如何应用。图 1-2 给出了系统软件的一般组成情况。

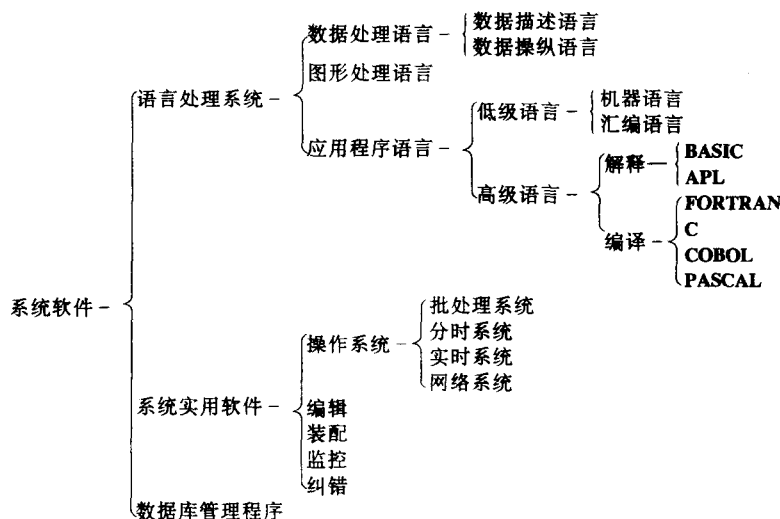


图 1-2 系统软件

1. 语言处理系统

主要指计算机语言及其编译程序、解释程序或汇编程序等。**CAD** 系统工作过程中要用到多种语言,如编写应用程序中要使用 **BASIC**、**FORTRAN**、**C**、**PASCAL** 等,每种语言都应有相应的语言处理程序,以便变成机器能执行的目标指令(**FORTRAN** 等高级语言要由编译程序转换成目标程序,**BASIC** 要由解释程序转换成目标程序)。又如在人机对话中要用到会话语言如图形处理语言,在检索数据库中所存放的数据时要使用数据处理语言,包括数据库

管理系统用来表示数据结构的数据描述语言 **DDL** 和实现存取与控制的数据操作语言 **DML** 等。

2. 操作系统

操作系统是对计算机系统的资源(硬、软件)进行管理和控制的程序,是用户与计算机的接口

(1)操作系统的作业方式 在操作系统控制下,用户作业处理的方式有:

(a)批处理 将多个用户的作业先存放在外存缓冲存储器中形成一个队列,然后系统按照一定的调度原则,从队列中调出作业进入主存予以处理。此种方式,用户与作业之间没有交互作用,不能直接控制作业的运行,一般又称为脱机操作方式。

(b)分时处理 把 CPU 执行程序的时间分成许多的片断,轮流分配给各个用户的作业,为各个终端提供服务,由于时间片断分割得很小,使各用户感觉好像独占着计算机,这种方式可以克服批处理中用户不能与机器直接交互对程序操作带来的不便。

(c)实时处理 当计算机直接用于工业控制系统或事务处理系统时,要求机器能随时接受外部输入的信息与数据,即时进行处理并在规定时间送回。

(d)网络操作 管理计算机网络上多个计算机的操作。

(2)操作系统的功能 操作系统主要应具有:处理机管理、存贮管理、输入输出管理、文件管理等功能,同时为了使用户方便地使用机器,还应提供用户接口的功能。

(a)处理机管理 功能是管理 CPU,如将 CPU 的工作时间按一定的调度策略合理地分配给要执行的各道程序,使多终端计算机能有条不紊地为各个终端服务等。

(b)存贮管理 这是解决主存贮器充分、有效地使用与分配的程序,根据用户命令能自动将所需程序、数据及时调入内存并分配地址,克服主存容量小与运行程序数量多的矛盾。

(c)输入输出管理 这是一组统一管理外存与外部设备的程序,核心是输入输出控制程序、设备驱动程序及中断处理程序,保证主机与这些设备间协调有效地工作,使用户不必过问这些设备复杂的指令。

(d)文件管理 通常需要将程序、数据等信息以文件形式存放到外存贮器上,由文件管理程序实行统一管理,既能充分利用外存空间又便于调用,用户同样不必了解该文件在外存上的实际地址。

(e)用户接口 用户在机器运行程序时,需要告诉机器如何运行这一程序,如编译、连接以及各种不同的出错处理等,操作系统应提供一组系统调用命令,以使用户在程序中提出有关资源请求和服务请求,还应提供各种操作命令和作业控制语言。

当然不同机型,其操作系统是可以不同的,如 **VAX-11/750** 超级小型机配 **VMS** 操作系统, **IBM4341-11** 中型机配 **VM/SP** 操作系统, **DEC** 系列机型配 **UNIX** 操作系统,微机 **IBM PC/XT** 配 **PC-DOS**、**MS-DOS** 等操作系统。

二、支撑软件

支撑软件是 **CAD** 系统的核心软件,它以系统软件为基础,又是作为开发应用软件的基础。支撑软件可由 **CAD** 厂商提供,亦可由用户自编。随着 **CAD** 技术日新月异,支撑软件的内容与功能亦在发展,一般来说包括:

(1)图形设备驱动程序 国际上普遍采用的是 **CGI**(Computer Graphics Interface)程序包。

(2)几何造型系统 几何造型或建模是研究如何将工程设计者考虑的现实物体(外部模型)用计算机能理解的形式来定义、和合适的数据结构来描述,构成机器能处理的物体(内部模型),以便在计算机内存贮、运算、产生各种所需信息,如三维实体参数、质量与截面特性、曲面拼合、阴影表示等。

(3)图形软件系统 这是 **CAD** 的重要支撑软件,包括面向应用的图形程序包,如已成为国际标准的 **GKS**、**PHIGS** 和以各种图形程序包为基础构造起来的面向用户交互地设计图形系统,如 **AutoCAD** 和 **MicroStaton** 等。

(4)真实图形生成系统 使设计出的物体更具真实感。

(5)计算分析软件系统 包括工程常用的计算与分析通用程序,如方程求解、有限差分、有限元、边界元分析等。在 **CAD** 系统中,有限元法既作为结构分析工具又应与交互式图形系统紧密结合,成为重要的支撑软件。因此有限元程序不仅有分析模块,还应有前处理模块,以解决计算模型与环境的描述、网格生成、数据配备与检验等任务,和后处理模块以实现对计算结果的显示、处理与绘图等。

(6)优化算法软件系统 包含有各种不同的优化算法程序,且应与几何建模、有限元分析、交互图形软件联接起来。例如将需要优化的部、构件塑造成几何模型,在屏幕上显示,接着抽象为优化的数学模型,经优化软件包优化,其中可能要进行有限元计算以获得性态的约束值,得出最优参数后再回到图形数据库,对原参数作出修改,并与有关其他部件联接等。

(7)工程数据库及其管理系统 亦是 **CAD** 的重要支撑软件,以实现工程或产品设计中大量数据的动态存贮、传输和管理。

(8)窗口管理系统 窗口是一种多任务编程的屏幕显示和用户界面,它用直观的图形符号表示按钮开关、页面滚动、程序的执行等待,提供生成各种菜单、对话区、标题栏、图符工具,大大简化了应用程序的商品化包装和不同机型之间的移植,被誉为微机的第二代操作系统。运用窗口系统可以在屏幕上生成多个窗口,显示多道程序的活动。各种图形标准都要基于某种窗口管理系统。**MS Windows** 和 **X Windows** 现在基本上已成为微机和工作站上应用软件的标准界面。

(9)网络通讯系统 不同 **CAD** 系统之间的接口:国际上普遍采用 **IGES**(Initial Graphics Exchange Specification)作为不同 **CAD** 系统之间数据转换的接口。

(10)汉字管理系统 当有中文文档、图纸需有中文说明时,应有矢量汉字处理功能。

(11)知识库及其管理系统 存贮有关的专家知识,规范和工程经验等,并具有推理、解释、维护与学习等功能,是实现 **CAD** 化智能化应有的系统。

三、应用软件

这是设计人员和 **CAD** 系统的界面,用户针对工程设计利用系统软件和支撑软件开发的,不同对象有不同的专用程序,在水工中如重力坝 **CAD**、土石坝 **CAD**、拱坝 **CAD**、水闸 **CAD** 等,本书后面将作较详介绍。

第四节 水利水电工程 CAD 现状

我国的 CAD 的研究工作始于 70 年代中期,进入 80 年代以后,微处理机从 8 位发展到 32 位,出现了装有图形处理器和 32 位微处理机,和能够独立作为计算机使用的分布式工作站,价格亦能为较多设计单位所接受,CAD 技术的应用开始进入了发展阶段。当时主要是计算机绘图。80 年代中期,各部门分别引进了一批 CAD 设备包括软件,开展了二次开发和应用软件的研制,逐步形成了一定的应用规模。在土木、水利领域已有不少 CAD 系统投入运行,如:高速公路 CAD,公路桥梁 CAD,重力坝 CAD,建筑总图 CAD,高层建筑 CAD 等,它们使用后的设计质量、工效方面都收到了很好的效果。

水电工程与其他土建工程相比,由于环境特别复杂,与水文、气象、地形、地质、交通、工农渔林业都有密切的关系;且各个工程彼此均不相同;投资基数大,不同方案造价差别很大;因素值与各种指标的不确定性等等,致使工程设计过程十分繁复,工作量亦十分巨大,例如,一个普通的水电工程往往包括大小几十个专业,需处理几十万或更多的设计信息,绘制几百甚至上万张图纸,如果仍主要依赖于人工设计,则效率低下、劳动量大。另一方面,我国水能蕴量达 6.76 亿 kW,其中可供开发的为 3.78 亿 kW,居世界首位,而目前水电装机容量只有 3000 多万 kW,仅占 8% 左右。按国家计划到 2000 年翻一番的目标,根据经验概算,水利水电设计的装机容量必须每年增加 1600~2000 万 kW,这大大超过全国现有的设计能力。要解决上述需求与现实的矛盾,唯一的出路在于推广计算机辅助设计技术。80 年代中期,国家给水利水电系统先后投资数百万美元,为各直属勘测设计院装备了 CAD 工作站(Gecalma 的 Apollo 系列 25 台,Intergraph 的 Micro VAX 系列 9 台),使水利水电 CAD 系统的应用起步有了良好条件。按 1989 年的初步统计全国水利水电勘测设计系统约有各种中、小型机 70 多台,各种微机上千台,当时大致形成 3 个层次:

第一层 由 32 位中型机和小型机组成,功能较强,目前直属院和流域机构均有配备,主要承担信息管理、数据处理、复杂的分析计算。

第二层 32 位超微机 CAD 工作站,地方院大部分配备,主要承担图形处理和各项设计。

第三层 各种微机,主要是 286 以上的 PC 机,承担简单的 CAD 和分析计算任务。

在应用软件方面,自 80 年代中期开始,水电系统若干大设计院以美国原 Calma 公司的 DDM 为软件支撑环境分工开发水工 CAD 软件,如 1989 年中南勘测设计研究院开发的拱坝 CAD 和水能规划 CAD,华东勘测设计研究院的重力坝 CAD,东北勘测设计研究院的地面厂房 CAD,上海勘测设计研究院的弧形闸门 CAD 等等。随着芯片 RISC 技术取代 CISC 技术,以及高级微机的迅猛发展,由网络和服务型计算机构成的客户/服务器结构型计算机环境比小型机和中型机更灵活方便,而且微型机基本上能实现原 Apollo 工作站上开发软件功能,因此一批微机 CAD 软件陆续推出,例如天津勘测设计研究院在 386 微机上采用 DOS 3.3 以上、UCDOS2.01、AUTOCAD 10.0 和 CdBASE III 的软件平台开发出微机重力坝 CAD 系统和微机厂房 CAD 系统等。同时近年来随着微机功能的提高和价格的下降,水电系统的

微机数量有了成倍增长(1995年,设计部门已平均10~15人拥有一台386DX以上档次的微机,有的设计单位已逐步走向告别图板、一人一机的新格局),不少大单位正在建设局域网络。看来,当前CAD应用将在工作站和微机2个方向上发展。

CAD的开发和应用已使水电设计工作发生了根本性的变革。目前设计中80%~90%的计算工作量已由计算机完成,与之相应的一大批各专业的设计分析软件逐渐成熟。就CAD而言,虽还不能由一个CAD应用系统贯穿工程设计全过程(未形成CAD集成系统),但在工程的前期勘测、可行性研究、初步设计和技施设计等阶段,在重力坝、拱坝坝型及厂房布置的方案优选,在土坝断面优选,在混凝土坝施工详图设计 and 水工钢筋混凝土隧洞设计以及其他若干单项设计工作方面,都基本上实现了计算机辅助设计。当然侧重有不同,例如在勘测阶段,CAD主要用于搜集工程的地形、地质、气象资料,输入到系统的数据库中,建立数字化的地形地质模型,提供后续设计所需的信息。在可行性研究阶段,CAD主要应用于数据库的建立和应用,并对照政策法规、规划要求、已装入系统的其他工程资料,进行可行性分析与比较。在初步设计阶段,CAD主要用于方案设计,进行几何建模,分析计算与优化。在施工图设计阶段,CAD主要用于具体的计算与分析,相关结果的后处理,施工图绘制,并能综合各专业成果,进行碰撞检查,完成分析、计算、绘图、材料统计、文件报表、预概算等系列工作。

应该看到水利水电系统目前计算机辅助设计的深度与水平,与先进国家和国内某些兄弟行业相比,差距还是很大,距离实现设计过程的彻底变革还有很长一段路程。

首先水电行业中CAD的覆盖面还不够广,应用深度亦不够。已开发的CAD软件主要用于各设计阶段的图纸生产,而对于设计过程中各专业之间的配合协调的复杂技术信息管理工作,还刚刚着手进行。

其次不论是数值计算还是CAD和信息管理系统(MIS)的开发,基本上还停留在单项开发的水平上,计算机环境也是单机作业,而在发达国家已流行着“计算机就是网络”的提法。在他们的企业和咨询部门中计算机应用已不再停留在一个个孤立的“点”上(所谓孤岛技术),而是从生产各部门间,到管理层各部门间,再到决策层间统统由计算机的硬件与软件联成一个网络整体,从而构成了一个计算机化和信息化的企业模型,这种做法称为“信息工程”。

除了在硬件方面实现计算机网络外,在软件开发方面着眼于CAD集成化,即要把一个应用部门或一个工程的各个专业项目的CAD应用软件以软件工程学为指导、采用系统分析技术,进行CAD总体设计,并在它的安排下,以网络为支撑、工程数据库为核心,应用现代化计算机接口方法,把各单项CAD应用软件连接成一个有机整体,互相协调、共享资源与信息,发挥出更好的整体效益。

当然配合CAD集成化,要进行工程数据库和信息管理系统的研究、开发与建设。它们是集成化的基础。由于需在众多的计算机软件间相互交流信息,必需开展软件标准化的工作。在这方面可以借鉴已有的国际标准,根据我国颁发的《CAD通用技术规范》来进行,并在这一总体框架下制定水利水电计算机辅助设计技术规程,作为行业的规范与约定。

此外加强CAD智能化,提高决策自动化水平,免除过多的人机通信而造成系统运行速

度下降且使用不便,以及并行处理的研究亦都是重要的课题,使我国水利水电的 CAD 能在不远将来尽快赶上国际水平。

思考与练习

- 1-1 CAD 技术的发展大致经历了哪几个阶段?今后的发展趋势是什么?
- 1-2 试述 CAD 系统硬件的组成,请列出你现在所用的主机与输入/输出设备的主要性能指标。
- 1-3 试述 CAD 系统的软件组成,支撑软件应包括哪些主要内容。
- 1-4 你学习 CAD 课程的目的与要求是什么?预备用 CAD 技术解决什么问题?

第二章 数据结构与数据库

第一节 数据结构

数据是指用来描述客观事物的数字、字母、符号等所有能输入到计算机中并能被机器处理的符号集合。数据的基本单位常称为数据项或数据元素,有时也指由若干数据项组成的记录作为一个数据元素。在电子计算机发展的初期,计算机主要用于处理数值性的问题(数值计算),随着计算机使用领域的扩展与深化,大量非数值性问题,如文献检索、档案管理、图像模式的识别、金融和商业系统的数据处理等也要应用计算机,这些问题已不完全是数值型的数据,数据元素间所具有的特定联系也不能用普通数学方程来描述。探讨包括数值性与非数值性的数据集合及其各种内涵与关系便是数据结构的任务。因此,数据结构是研究数据元素之间的抽象化的关系和这种关系在计算机中的存储表示,即所谓逻辑结构与物理(或存储)结构。

数据的逻辑结构是指用户或应用程序员对数据的表示和存取方式,它反映数据元素间的逻辑关系。数据的物理结构是指数据在计算机存储设备上的表示与配置,诸如存储方式、顺序、单元分配等,故又称为数据的存储结构。

一、数据的逻辑结构

常见有如下几种:

1. 线性表

线性表是最简单、最常用的数据结构。它是有限个数据元素的序列。特点是:除了第一个和最后一个数据元素外,其余任一元素仅与它前面一个(直接前趋)和后面一个(直接后继)元素相联系。适用于表达数据间简单的顺序关系。

数组与向量的逻辑结构便是一个简单的线性表。数组元素便是线性表的数据元素,下标值对应于数据元素的逻辑序号。对于二维数组,可按列、行逐个元素排序,即把一列或行看成是一个数据元素,列(行)号便是数据元素的序号,而这个数据元素本身又是一个一维数组,相当于一线性表。按照数据进出的方式,又可分为:

(1) 栈 一种后进先出的线性表。它限定只能在表的一端进出,在表的允许插入数据和删除数据的这一端称为栈顶,另一端叫栈底(图 2-1)。恰如货栈中常将同类货物自下而上叠起来,最后进栈的物品位于最上层,故总是最先出栈。在程序设计中,对子程序调用就需设置一个返回地址栈,每当调用子程序时,把相应的返回地址顺次送进栈,而当子程序执行完毕时,再从栈顶顺

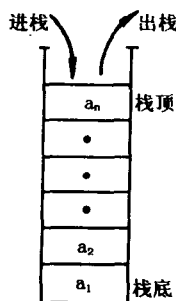


图 2-1 栈的示意