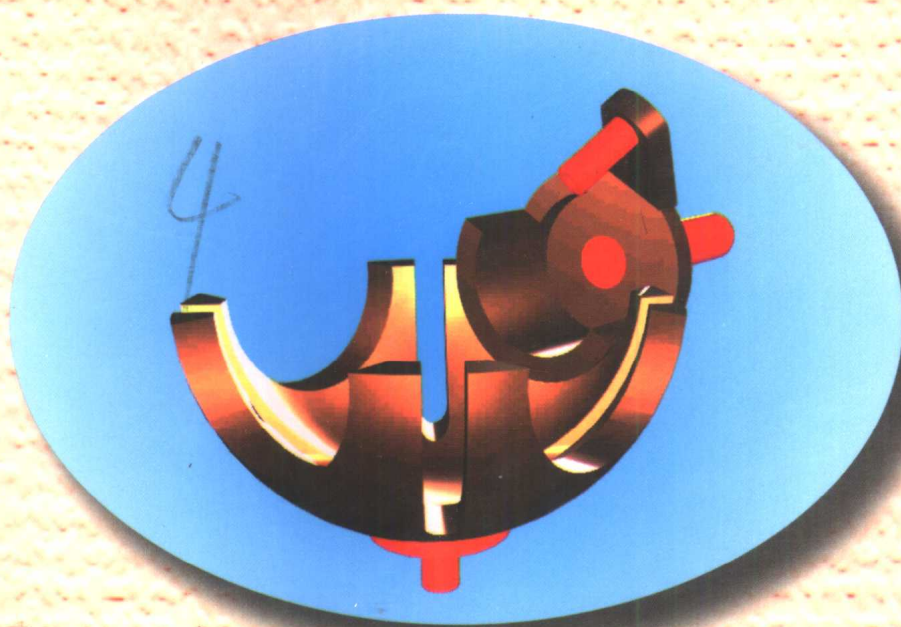


机械CAD与仿真技术

王知行 李建生 王哲 编著



哈尔滨工业大学出版社

机械 CAD 与仿真技术

王知行 李建生 王哲 编著

哈尔滨工业大学出版社

哈 尔 滨

内 容 提 要

计算机辅助设计 CAD 技术和计算机仿真技术对提高产品设计质量、缩短设计周期,降低设计和制造成本正起着越来越大的作用。本书就此为读者提供这方面的基本知识。

本书是国家九五重点图书。全书共分十一章,第一~四章介绍 CAD 技术概况和计算机图形学及几何造型方面的基本知识;第五~八章介绍连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等基本机构的设计理论、方法和计算机仿真技术;第九~十一章介绍机械 CAD 应用软件的开发技术和三维实体造型及运动仿真技术等。书中给出必要的例题和程序,以帮助读者掌握机构分析与设计的理论和方法。有关的设计与仿真软件等已研制完成。

本书可以作为高等工科院校机械设计专业研究生教材,也可以作为其它专业师生和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD 与仿真技术/王知行编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2000.7

ISBN 7-5603-1538-0

I.机... II.王... III.①机械制图:计算机制图—计算机辅助设计②计算机仿真—机械制图 IV.TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 36739 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451 — 6414749
印 刷 黑龙江省教育委员会印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 285 千字
版 次 2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1538-0/TN·84
印 数 1~2000
定 价 15.00 元

如发现印、装质量问题,请与印刷厂技术科联系调换。
地址:哈尔滨市南岗区和兴路 147 号 邮编:150080

前 言

计算机辅助设计（CAD）技术对于提高产品设计质量、缩短设计周期、降低设计和制造成本以满足社会高速发展的需要，正起着越来越大的作用。随着计算机软硬件水平的不断提高，CAD技术也在以极快的速度向前发展着，它已逐步成为一个国家工业现代化和科学技术现代化的重要标志之一。

机械工业在整个工业生产中具有举足轻重的作用，机械CAD对促进工业的发展和科学技术水平的提高是极其重要的。目前，我国的机械CAD技术与发达国家相比，还存在较大差距。为培养机械方面的研究生等高层次人才和提高工程技术人员的机械CAD技术水平，为把计算机仿真技术与机械CAD应用软件开发相联系，特别是把“虚拟现实”技术的核心——实时生成三维动态图技术与机械CAD结合起来开发应用软件，我们将计算机图形学的基本理论、机械CAD的基本知识、实时生成三维实体模型的有关技术与我们在机械学方面的研究成果结合在一起，写成本书，以求为推动机械CAD技术水平的提高并促进机械产品虚拟原型系统“制造”技术的发展作出我们的努力。

本书由王知行（第五～八章）、李建生（第一～四章）、王哲（第九～十一章）编著，并由王知行统稿主编。参加本书软件工作和图形制作的博士生、硕士生有：吴群波、关立文、梁宏宝、宋欣、徐秀敏、王兴法等。

本书的全部工作（文字和计算机软件）得到了国家自然科学基金委员会的项目资助（59675002），特此致谢。

由于作者水平所限，书中定有不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2000年5月

目 录

第一章 机械CAD概论	1
1.1 CAD技术的发展概况	1
1.2 CAD系统的硬件环境	3
1.3 CAD系统的软件组成	6
1.4 机械CAD的主要研究内容	7
第二章 CAD的图形学基础	9
2.1 图形学中的坐标系	9
2.2 窗口与视区变换	11
2.3 图形的剪裁	13
2.4 图形变换技术	18
第三章 几何造型技术	34
3.1 几何造型基础	34
3.2 形体的表示模型	39
3.3 形体的表示方法	46
3.4 参数曲线与参数曲面	49
第四章 工程数据处理	59
4.1 数据结构的基本知识	59
4.2 图形数据结构	65
4.3 图形数据库	71
第五章 平面连杆机构的运动分析与机构运动模拟	74
5.1 运动分析的目的及基本方法	74
5.2 杆组法运动分析的数学模型	76
5.3 连杆机构运动分析及运动模拟举例	83
第六章 平面连杆机构CAD与设计过程仿真	93

6.1	四杆机构的运动特征及设计的基本问题	93
6.2	用解析法设计四杆机构	96
6.3	用数值比较法设计四杆机构	101
第七章	凸轮机构CAD及运动仿真	110
7.1	概 述	110
7.2	从动件运动规律	111
7.3	凸轮机构的压力角和基圆半径	113
7.4	盘形凸轮轮廓廓线设计	117
7.5	凸轮机构的运动仿真	124
第八章	齿轮机构CAD及其仿真	128
8.1	齿轮机构CAD的内容与仿真的目的	128
8.2	共轭齿廓与渐开线齿轮加工原理	130
8.3	渐开线变位齿轮传动设计	139
8.4	渐开线齿轮传动的类型及变位系数的选择	144
第九章	机械CAD应用软件开发技术	152
9.1	概 述	152
9.2	机械CAD应用软件开发	158
9.3	人机交互界面设计方法	162
第十章	三维实体造型及运动仿真	167
10.1	概 述	167
10.2	3DS简介	167
10.3	OpenGL简介	172
第十一章	机械CAD的发展趋势	183
11.1	CAD/CAM系统的集成化	183
11.2	CAD/CAM系统的智能化	187
11.3	CAD/CAM系统的网络化	189
参考文献		191

第一章 机械 CAD 概论

1.1 CAD 技术的发展概况

CAD 技术是在计算机软、硬件基础上发展起来的,它的发展过程与计算机的发展过程密切相关。自从 1945 年世界上第一台计算机诞生以来,计算机技术经历了几个不同的发展阶段,相应地,CAD 技术也经历了几个不同的发展阶段。

一、初步探索阶段

CAD 技术的初步探索阶段大约在 50 年代初至 50 年代末。由于在这一阶段使用的是真空管计算机,运算能力和存储能力都很低,只能使用机器语言,进行一些简单的计算,但毕竟实现了过去人脑才能够实现的计算功能,因而对于从事工程设计的技术人员来说,仍具有很大的吸引力。

1953 ~ 1954 年,美国通用电气公司首先使用计算机来设计变压器,并进而编制电动机、发电机及齿轮箱的设计计算程序。欧洲应用计算机辅助设计开始于 1956 年,日本开始于 1959 年。这一阶段只能使用机器语言,所以只有少数专家能够使用。尽管如此,这些专家的工作还是为 CAD 技术的发展作了初步的、有益的探索,开创了 CAD 技术的先河。

二、成长发展阶段

CAD 技术的成长发展阶段大约在 60 年代初至 60 年代末。在此阶段,晶体管计算机取代真空管计算机,计算功能大幅度提高,各种高级程序语言相继出现,如 1958 年制订出的 FORTRAN II 算法语言,1960 年出现的 ALGOL - 60 算法语言、Cobol - 60 通用商用语言,1962 年出现改进的 FORTRAN IV 语言,1965 年正式发表的 PL/I 语言。

在数据处理方面,60 年代初出现了文件系统,它是数据管理的雏形。用户的数据文件主要存储在磁带上,它的组织方式是顺序的,只适用于成批处理,不能用于实时访问。60 年代后期出现了直接访问存储器——磁鼓和磁盘,文件系统的性能有了很大的改善,对文件中的记录可顺序和随机访问。在管理软件中,还增加了安全、保密检查机制,一些系统允许用户之间以文件为单位共享数据,但未能实现以记录和数据项为单位的数据共享。显然,此时的文件系统不但适合于成批处理,也可用于实时联机作业。

60 年代研制成功的图形显示系统解决了图形处理的问题,与此同时,自动绘图机的出现也解决了图形输出的问题。

上述计算机软、硬件技术的发展,使 CAD 技术在这一阶段也得到了很大的发展。具有里程碑意义的是 1962 年美国麻省理工学院研究生 I. E. Sutherland 发表的博士论文“人机

图形通信系统”，论文提出了交互图形生成技术的基本原理。在他所研究的 SKETCHPAD 系统中，可以用光笔在图形显示器上实现选择、定位、修改和绘图的交互功能，这一系统还引入了分层存储符号和图素的数据结构，因而一幅完整的图可以通过分层调用若干子图来产生。SKETCHPAD 系统被公认为是交互图形生成技术发展的奠基石。

在这一时期，CAD 技术已推广应用于大型电站锅炉、汽车、航空、核反应堆热交换器、动力机械、化工和电站等成套设备的设计中。例如美国通用汽车公司研制的 DAC / 1 系统，在大型计算机上开发了作为计算机辅助汽车设计的软件，美国 CDC 公司也开发了作为商品出售的 CAD 系统。这一阶段 CAD 系统规模庞大、价格昂贵，只有少数大型企业或重要的研究机构才能应用这一技术。但由于高级语言的出现，CAD 技术已不再仅仅为少数专家所掌握，而逐步扩展到了广大的工程技术人员中。

三、快速发展阶段

进入 70 年代后，大规模集成电路技术的应用使计算机技术的发展产生了一次飞跃，计算机速度可达每秒数亿次，内存容量也大大提高。在此阶段，数据处理技术已从文件系统发展到数据库系统，对数据的管理日趋完善，实现了数据独立和以数据项或记录为单位的数据共享。从此，计算机辅助设计过程中所需大量数据实现了检索、存储、处理的自动化。

此外，图形处理软、硬件技术的进一步发展和质量的提高，使人机交互图形生成技术趋于完善，在显示器上可显示任意图形，并使图像在显示屏上移动、旋转、缩放和进行即时修改和处理。人机图形交互设备已由操纵杆、鼠标器、图形输入板、数字化仪等取代使用不便、易于损坏的光笔。而光栅扫描图形显示器的出现使图形更加形象、逼真。计算机控制的精密绘图机能高速地输出高质量的生产图纸，并能对图形进行缩放处理。可以说，图形信息处理的一些关键问题已基本得到解决。

与此同时，与 CAD 息息相关的各种现代设计计算和分析方法，如有限元、边界元、数值积分、优化设计、可靠性设计、系统工程等，也得到了极大的发展和完善。

由于上述计算机软件技术及相关学科的迅速发展，CAD 技术逐步走向成熟，达到完全实用的水平。70 年代，以小型计算机为基础的 CAD 系统开始进入市场并成为主流，出现了一批专门经营 CAD 系统的公司，例如美国的 Computervision、Intergraph、Calma、Application 等。

80 年代以来，32 位超级微机工作站及微型计算机的出现对 CAD 技术的普及起到了极大的推动作用。超级小型机是在分时操作系统的管理下工作的，而 32 位超级微机工作站是一个用户使用一台计算机，在交互操作时有响应时间短的优点，因而特别适用于作辅助设计之用。同时，工作站联网后可共享资源，有利于减少投资，因而以超级微机工作站为基础的 CAD 系统得到迅速发展。

进入 90 年代以来，PC 机在运算速度、内存、外存等几个关键因素上与小型工作站都已相差无几，因而很多 CAD 系统开始开辟 PC 机市场。由于 PC 机的用户市场大大超过了工作站，因而以 PC 机为基础的 CAD 系统很快得到了普及应用。同时，随着 PC 机软、硬件技术的不断提高，以其为基础的 CAD 功能亦将得到不断提高。

1.2 CAD 系统的硬件环境

如上节所述, CAD 技术的发展是与计算机技术的发展密切相关的, 可以说, CAD 技术水平的高低, 在很大程度上受到它所依赖的计算机硬件水平的制约。一套完整的 CAD 硬件系统应该包括以下几个部分: 主机、显示设备、存储设备和输入输出设备。

一、主机

随着 CAD 技术的发展, 各种 CAD 系统的功能越来越强, 同时也就对主机提出了越来越高的要求。主机是硬件系统的核心, 目前各种 CAD 系统所应用的主机主要可以分为工作站和微机两种。

目前所流行的 Pentium II 微机的主频有 266 MHz、300 MHz、330 MHz、350 MHz、400 MHz、450 MHz 等, 主频的不断提高使得计算机处理图形的速度大大加快, 也使得许多过去无法在微机上实现的 CAD 功能得以实现。

此外, 由于现在的 CAD 系统要处理的数据量往往很大, 因而要求有更大的内存, 以提高 CAD 系统运行的速度。一般要求微机的内存应不低于 32 M, 如果能配置 64 M 或更高, 则可大大降低图形处理过程中与外存储设备(如硬盘)的数据交换频率, 从而提高处理速度。

与微机相比, 工作站在图形处理方面仍然具有其固有的优势。工作站是由过去的大中型机转变来的。但它克服了大中型机体积庞大的缺点, 增强了图形处理、网络互联和硬件可扩展性的能力, 大幅度降低了成本和价格, 使得工作站的使用得到了一定程度上的普及。目前所应用的工作站主要有 SUN、HP、DEC、IBM、SGI 等公司的产品, 它们所配备的操作系统主要是 UNIX 系统。虽然工作站与微机相比, 仍具有计算速度、虚拟存储、图形处理等方面的优势, 但在价格上仍大大超过微机, 这也成为制约其广泛应用的一个主要因素。

选用何种计算机系统, 应取决于选用何种 CAD 应用软件和开发应用方面的要求。一般来讲, 微机适用于中小型 CAD 系统, 如二维绘图、CAD / CAM、产品信息管理等, 而工作站适用于集成化 CAD / CAM / CAE 系统, 包括三维建模、数控加工和数据库等。

二、显示设备

目前使用最为广泛的显示设备是光栅扫描式显示器。根据显示屏幕的大小, 可以分为 14"、15"、17"、20"、21" 等几种不同规格, 屏幕尺寸越大, 则用户在进行交互式 CAD 设计时的工作区域就越大, 显示的图形范围也就越大。显示器上像素尺寸的大小有 0.39 mm、0.28 mm 和 0.25 mm 等几种, 也就是通常所说的 .39、.28 和 .25 显示器。像素的尺寸越小, 说明显示器的分辨率越高, 显示的图形也就越清晰。分辨率通常用屏幕在水平方向上的像素数和垂直方向上的扫描线数来表示, 如 640 × 480 的分辨率表示在水平方向上有 640 个像素, 在垂直方向上有 480 条扫描线。目前常用的显示器分辨率有: 640 × 480、

600 × 800、1024 × 768、1600 × 1280 等几种。需要说明的是，显示器的分辨率只是说明了物理上能够实现的最大像素数和扫描线数，实际显示分辨率还要受到显示卡内存的制约。

显示卡是微机的必备硬件之一，它是显示器与主机之间进行数据交换的桥梁，并在很大程度上影响着图形的显示效果。每一个显示卡上都配有显示内存，屏幕上的显示信息均存储在显示内存中，因而显示内存的大小影响了屏幕的实际分辨率。显示卡内存有 1 M、2 M、4 M、8 M 等几种，并有进一步扩大的趋势。显示卡内存越大，则它所支持的实际分辨率就越高。当然，在选择显示卡时不能一味追求大的显示内存，它应该与所配的显示器相协调，如果显示器分辨率不高，再大的显示内存也不能实现更高的显示分辨率。为了提高三维图形处理的速度，出现了以硬件方式处理三维图像的 3D 图形加速卡，为三维图像的处理提供了良好的硬件保障。

三、存储设备

存储设备是指计算机的外存设备，用于存储 CAD 系统的程序、图形和数据库信息。目前应用较为广泛的有硬盘、软盘和光盘。

1. 硬盘

硬盘已成为微机不可缺少的部件，它不仅用于存储数据，而且用于安装操作系统和各种 CAD 软件系统。大容量的硬盘是各种 CAD 系统正常运行的一个基本保证，目前常用的硬盘容量有 6.4 G、8 G、10 G、13 G 等。硬盘除了向着容量大的方向发展外，还在向着体积小的方向发展。例如，美国 IBM 公司于 1998 年 9 月首次推出并于 1999 年 6 月重新发布的 MicroDrive 超小型硬盘，其容量为 340 MB，资料传输速度 22.6 ~ 45.2 MB/s，体积 42.8 mm × 36.4 mm × 5 mm，质量 16 g。

2. 软盘

过去常用的软盘为 5 $\frac{1}{4}$ "软盘，其容量为 1.2 M 或 360 K。现在常用的软盘是 3 $\frac{1}{2}$ "的软盘，其容量为 1.44 M 或 720 K。软盘作为一种方便的数据存储介质得到了广泛的应用，通常用来存储用户编制的程序或一些不太大的图形数据，也常用在两台计算机之间的数据传递。由于软盘的存储容量有限，大的图形根本无法用软盘来存储。而且随着网络技术的发展，各种广域网、局域网使得计算机之间的数据交换极为方便，软盘用作数据传递的作用也逐步失去意义。近年来发展起来的大容量软盘，每张存储容量可超过 100 M，这种新型软盘有可能取代传统的小容量软盘。

3. 光盘

光盘是采用激光技术实现的一种海量存储器。常用的光盘存储容量大约在 600 M 左右。光盘分为只读光盘和可读写光盘两种。前者存储的数据只能用于读而不能重写，光盘的数据是通过刻录机刻录上去的，其成本较低，计算机上只需配备普通的光盘驱动器，因而应用广泛。后者类似于普通的软盘，是可以反复读写的，其成本较高，且需要配备价格昂贵的可读写光盘驱动器，目前应用不十分广泛。光盘驱动器可以按其倍速的高低确定其

读盘的速度，单倍速光驱的读盘速度为 150 K / s，高倍速光驱则应乘以相应的倍速数。光盘除了向高倍速发展外，也在向着小型化发展。例如，日本奥林巴斯（Olympus）公司于 1999 年 7 月发布的第一代超微型磁性 MO（Magneto - Optical Disk）光盘，容量为 730 MB，资料传输速度 10.5 MB/s，体积 59.5 mm × 56.5 mm × 4.8 mm，质量 13 g。

四、输入输出设备

在进行 CAD 作业时，必须有相应的输入和输出设备。常见的输入设备包括键盘、鼠标、数字化仪、扫描仪等，输出设备包括打印机、绘图机等。事实上，显示器也是一种标准的输出设备。而且，随着 CAD / CAM 一体化的逐步完善，输出设备甚至可以包括各种数控机床、雕刻机等。下面仅就 CAD 系统常用的几种输入、输出设备作简要介绍。

1. 鼠标

鼠标是除键盘之外最常用的输入设备，特别是在目前 Windows 为主流的图形界面操作系统中，鼠标的作用就显得尤为重要。鼠标分为机械式和光电式两大类。机械式鼠标靠底部小球的运动来实现光标的移动；光电式鼠标必须配备一块专用的印有极密的明暗栅格的平板，当鼠标在板上移动时，由栅格的明暗变化可直接测出鼠标的位移量，从而实现光标的移动。

2. 数字化仪

数字化仪是专门为二维绘图作业设计的，它由一块图形输入板和一游标定位器组成。图形输入板的下面沿 x、y 方向分布着极细的网格状金属丝，游标定位器装有感应线圈，游标移动时，不同的位置产生不同的感应电压从而代表不同的 x、y 坐标。数字化仪可实现两种基本功能：点取菜单和图形录入。图形录入需要将图纸固定在图形输入板上，然后用游标定位坐标进行描图，从而将图形录入到计算机内。

3. 图形扫描仪

图形扫描仪可以将图像通过光电扫描生成点阵信息存储到计算机内，再经过专门的矢量化处理程序将这些点阵信息处理成矢量图形。这种技术可以大大缩短已有图纸的录入时间，对于那些希望利用已有的设计图纸建立 CAD 图形库的用户来说是最方便的一种途径了。其缺点是这种方法对图纸的质量要求很高，而且矢量化处理软件的正确识别率也难以满足要求。

4. 打印机

打印机是最普通的输出设备。打印机一般是用来输出文字资料，但通过适当配置也可以用来输出图形。打印机的种类很多，按生成图像的方式不同，可分为针式打印机、喷墨式打印机和激光式打印机三大类。

针式打印机是以点阵的方式来输出文字或图形的，因而在输出的文字或图形中一般均能看出明显的点阵痕迹。喷墨式打印机是按光栅扫描的原理工作的，其打印质量的高低通常是按每平方英寸内在水平和垂直方向上的扫描线数的多少来衡量，扫描线数越多，则打

印质量越高。在喷墨式打印机上安装不同颜色的墨盒,可以得到彩色的图像。激光式打印机是这几种打印机中打印质量最好的,其工作原理类似于喷墨式打印机,只不过它是利用碳粉按类似于复印机感光的方式实现图像的输出。激光式打印机一般只能输出黑白图像。

5. 绘图机

绘图机是 CAD 系统的主要输出设备。按照输出图形的方式不同,可分为笔式和喷墨式两大类。按照图纸的安装方式不同,可分为平板式和滚筒式两大类。

平板式绘图机有一个很大的绘图平板,图纸可以平铺在上面。在绘图平板上安装有一个活动横梁,横梁上安装有可移动的笔架,横梁的运动实现 x 方向的输出,而笔架的运动则实现 y 方向的输出。平板式绘图机具有绘图精度高、绘图幅面大、便于设计人员监控绘图过程等优点,但价格昂贵,多用于大型企业的 CAD 系统。

滚筒式绘图机图纸安装在一个滚筒上,利用滚筒的转动带动图纸移动实现纵向输出,而笔架的运动则实现横向的输出。滚筒式绘图机的绘图精度一般低于平板式绘图机,但其价格便宜,且图纸可以不受长度限制,因而应用较为广泛。

笔式绘图机是利用墨水笔或圆珠笔与纸的相对运动来绘图,而喷墨式绘图机则与喷墨式打印机相似。喷墨式绘图机具有出图速度快、不易堵塞等优点,因而有逐步淘汰笔式绘图机的趋势。

1.3 CAD 系统的软件组成

CAD 系统的软件分为三个层次:系统软件、支撑软件和应用软件。系统软件与硬件和操作系统环境相关,支撑软件主要指各种 CAD 工具软件,而应用软件是指以支撑软件为基础的各种面向工程应用的软件。

一、系统软件

微机上的操作系统 DOS、Windows 95 / 98、Windows NT,工作站上的操作系统 UNIX,互联网上的 TCP / IP 网络协议等等,构成了当前 CAD 系统的通用开发平台。在这类开发平台上开发的软件容易移植,可运行于各种流行的机型上;用户界面统一,便于掌握和使用;开放性好,容易与其它软件衔接和进行二次开发。

系统软件还应该包括各种高级语言的编译系统。在 CAD 技术的发展过程中,高级语言的出现和发展是一个重要的推动力量。目前流行的面向对象的设计方法广泛地应用于各种 CAD 软件系统的开发之中,Visual C++ 是最为流行的一种面向对象的程序设计语言,很多成熟的 CAD 软件系统,均给用户提供了二次开发的接口,通常也都是利用 C++ 语言进行二次开发。

此外,各种由高级语言至输出设备的图形接口程序也应该属于系统软件的一部分。例如,Borland C++ 的 DOS 版提供 BGI 接口向显示器输出图形,Windows 的 GUI 提供窗口操作、消息管理及与设备无关的绘图函数,UNIX 系统由具有统一接口的 Xlib 库来提供窗

口管理、消息处理和绘图等用户接口，SGI 提供了 Open GL 图形接口标准。利用这些标准所提供的接口函数，应用程序可以很方便地输出二维和三维图形。

二、支撑软件

支撑软件是在系统软件基础上开发的满足用户共同需要的通用软件或工具软件，目前市场上所见到的各种商业化的 CAD 软件大多属于支撑软件。支撑软件主要用来实现几何建模、绘图、工程设计计算和分析等功能。

1. 集成化 CAD / CAM 软件

集成化 CAD / CAM 软件支持二维和三维图形方式下进行产品及其零件的定义。早期的软件主要致力于实现交互式二维绘图，如 CADAM、AutoCAD、MEDUSA 的早期版本均是如此。但近年来随着实体造型技术的日趋完善，不少 CAD 系统转向采用实体造型技术来定义产品的几何模型，进行分析、数控加工、输出工程图等。目前较为成熟的 CAD / CAM 集成系统包括：UG、Pro - Engineer、CATIA、DUCT、CADD5 - 5 等。

2. 计算和分析软件

计算和分析软件主要用于解决工程设计中的各种数值计算和分析。包括：① 数学方法库及其可视化，如 MATLAB、MATHCAD 等。② 有限元分析软件，如 I - Deas、SAP - 5、ADINA、ANSYS 等，目前有限元分析的理论和方法已日趋成熟，这些软件还包含了较强的前、后处理功能。③ 优化设计软件，如 IBM 公司的 ODL、我国的 OPB - 2 等。

3. 数据库管理系统软件

目前流行的数据库管理软件很多，如 FoxPro、Oracle、Access 等，它们都属于关系型数据库管理系统，常用于商业和事物管理中。适用于 CAD 工程数据库的管理系统必须是管理量大、类型及关系很复杂的数据，且信息模式是动态的。目前流行的数据库管理系统很难满足上述要求。因此，研制一种能够适用于工程数据库的管理系统是今后的一个重要课题。

1.4 机械 CAD 的主要研究内容

在很多人的头脑里可能会有这样一种错误的观念：机械 CAD 就是用计算机绘图。事实上，机械 CAD 的含义是非常丰富的，用计算机绘图只是机械 CAD 的一个应用方面。学习机械 CAD 主要应掌握以下几方面内容。

1. 掌握图形处理的一般知识

利用计算机进行辅助设计，就是要把人们在生产实践中遇到的问题简化成计算机可以接受的模型，并利用计算机的绘图能力直观地在计算机上显示出来。为了实现这一目的，必须对计算机图形处理过程有一个清楚的了解。这一部分内容一般属于计算机图形学的研

究范畴,但要想掌握机械 CAD 技术,必须精通这一部分内容。

2. 掌握有关几何造型的知识

几何造型技术已成为机械 CAD 技术的一个热点。现在流行的 CAD / CAM 集成化软件,大都提供几何造型的功能。为了能够很好地利用机械 CAD 技术实现产品设计的自动化,几何造型是一项关键的技术。

3. 掌握有关工程数据库的知识

任何工程问题都必将涉及大量的数据,包括图形数据、文字数据等等,这些数据的管理就成为机械 CAD 要研究的一项重要课题。目前流行的数据库管理系统还难以处理工程数据库的内容,因此,针对具体的工程问题,还需要用户自行编制一些辅助接口程序。

4. 掌握有关机构 CAD 的知识

任何复杂的机器均是由一系列简单的机构组成的。常用的机构包括齿轮机构、凸轮机构、连杆机构等,这些常用机构的设计计算已有成熟的理论,必须首先掌握有关这些机构的 CAD 知识,才能在此基础上进一步扩展到复杂机械的 CAD 工作。

5. 掌握最新的三维图形处理技术

有关三维图形的处理技术是近几年来 CAD 技术中发展最为迅速的一个领域。如常用的 3DS 软件,可以生成逼真的三维立体图像,但其缺点是不能实时地生成并实时改变参数。近年来发展起来的 OpenGL 和 Direct 3D 等图形接口,使用户可以通过编程来实现三维机构图形的实时生成,并可实时地改变参数。这些技术使得过去只能在工作站上实现的三维仿真,现在在微机上也可以实现了。

第二章 CAD 的图形学基础

2.1 图形学中的坐标系

图形的输入和输出都是在一定的坐标系中进行的。为了提高图形处理的效率和便于用户理解,在输入输出的不同阶段需要采用不同的坐标系。图形学常用到的坐标系基本上有以下三级。

一、世界坐标系 (World Coordinate System, WC)

在实际应用中,用户针对不同的实际问题而定义的原始坐标系称为用户坐标系。常用的用户坐标系有直角坐标系、极坐标系、球坐标系、柱坐标系等。但是,在计算机图形学中,由于大部分的输入输出设备均以使用直角坐标系最为方便,如显示屏幕、绘图机等;因而直角坐标系(又称笛卡尔坐标系)成为计算机图形学中最常用的用户坐标系,也称为世界坐标系。

世界坐标系有右手坐标系(见图 2-1(a))和左手坐标系(见图 2-1(b))之分,可以是二维的,也可以是三维的。用户在这一坐标系内处理各种实际形体,由于不同实际问题所研究的形体可能很小,也可能很大,因而各坐标轴的取值范围为整个实数域。世界坐标系是与设备无关的坐标系,它不受输入输出有效幅面的限制。

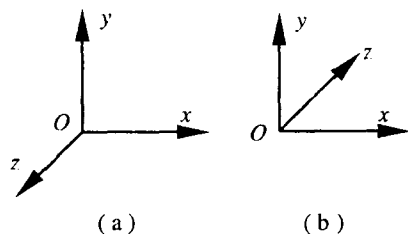


图 2-1 世界坐标系

二、设备坐标系 (Device Coordinate System, DC)

设备坐标系是指图形系统对图形进行输出的坐标系,大多数是二维的,也有个别是三维的。坐标轴的取值范围受输出设备有效幅面的限制,坐标轴的刻度单位则与输出设备的精度有关,例如对于光栅图形显示器屏幕来说,坐标轴取值范围为水平和垂直方向上的光栅格数,其最小刻度单位为一个光栅单位。

设备坐标系的坐标原点往往因设备而异,如显示器屏幕以左上角为坐标原点,自左向右为 x 轴正方向,自上而下为 y 轴正方向,如图 2-2 所示。

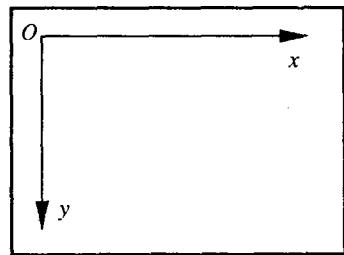


图 2-2 显示器上的设备坐标系

有些绘图机的设备坐标系的坐标原点选在左下角(见图 2-3(a)),有些则选在输出幅

面的中心 (见图 2-3(b))。现在很多绘图机则可以让用户选择坐标原点的位置。

三、规格化设备坐标系 (Normalized Device Coordinate System, NDC)

规格化设备坐标系是介于世界坐标系与设备坐标系之间的一种坐标系，它也是与设备无关的坐标系，约定坐标轴的取值范围是从 0.0 到 1.0，如图 2-4 所示。用户坐标系的取值范围因实际问题而异，而设备坐标系的取值范围又因设备而异，所以，为了提高图形应用程序的可移植性，引入了规格化设备坐标系。

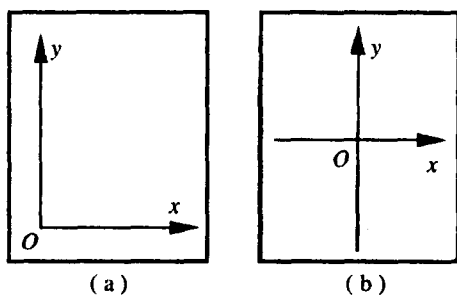


图 2-3 绘图机上的设备坐标系

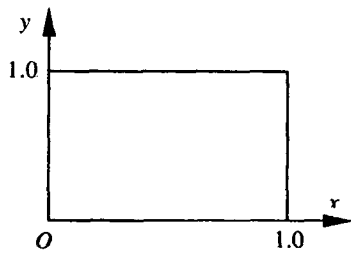


图 2-4 规格化设备坐标系

四、三种坐标系之间的关系

由于设备坐标系具有设备依赖性，因而如果图形应用程序直接将图形由世界坐标系变换到设备坐标系，则该程序仅适用于所对应的设备。引入规格化设备坐标系后，可以先将图形由世界坐标系变换到规格化设备坐标系，之后可根据不同的输出设备乘以适当的系数，而将图形由规格化设备坐标系变换到具体的设备坐标系，从而提高了图形应用程序的适应性。图 2-5 所示为三种坐标系之间的关系。

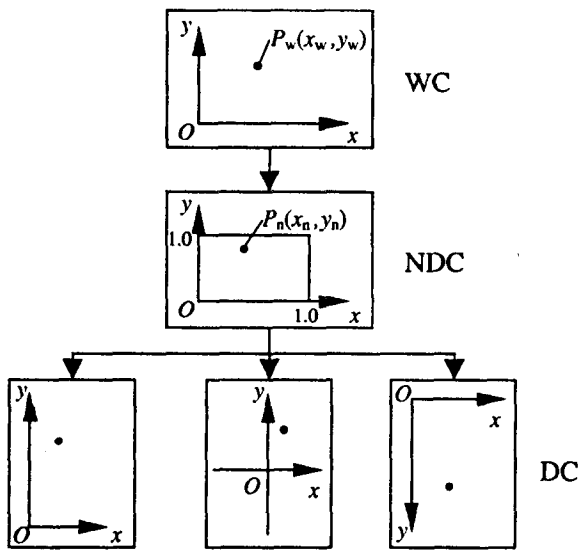


图 2-5 三种坐标系之间的关系

2.2 窗口与视区变换

一、窗口与视区

1. 用户域与窗口

在上述世界坐标系中，能够包容用户所要处理的所有形体的整个空间称为用户域。在进行图形的显示时，并非总是要把所有的形体都显示出来，而是可以由用户来指定所要显示的部分。在用户域之内由用户指定的任一区域叫做窗口。通常，在二维的世界坐标系中，窗口为一矩形区域。

窗口是用户域的一个子域，它小于或等于用户域。当窗口域等于用户域时，可以显示出图形的整体面貌。当窗口域小于用户域时，则只显示窗口域内的局部图形，窗口之外的图形将被剪裁掉。在用户域内定义一个窗口的过程称为开窗口。开窗口涉及到的图形剪裁问题，将在下一节介绍。

窗口可以嵌套，即在第一层窗口内可以再定义第二层窗口，在第二层窗口中可以再定义第三层窗口，依次类推。在某些情况下，根据需要用户可以定义圆形窗口或多边形窗口。

2. 屏幕域和视区

屏幕域泛指图形输出设备最大可行的输出区域，是一个有限的整数域，也代表了上述设备坐标系中坐标轴的取值范围。由于大多数输出设备都是二维的，因而屏幕域也多是平面的。

并非所有的图形输出都是要占满全部屏幕域，而是可以由用户将部分图形指定输出到屏幕域的部分区域内。这种由用户定义的图形输出区域称为视区。视区一般是屏幕域内的一个矩形子域，常用矩形的左下角点和右上角点在屏幕域内的设备坐标来定义，也可以用左下角点的设备坐标和矩形在 x 、 y 方向上的边长来定义。

在一个屏幕域内，可以定义多个视区，分别用于显示不同的图形或同一图形的不同部分。在交互式图形软件中，通常把显示器屏幕分成几个区，有的用于图形显示，有的用于菜单条，有的用于信息提示等，如图 2-6 所示的 AutoCAD 软件的显示屏幕。

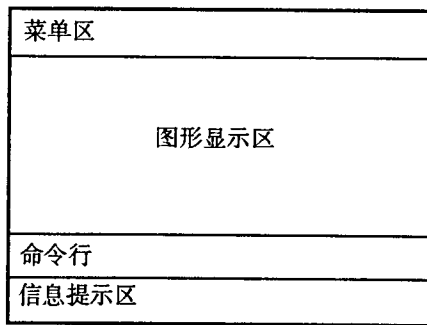


图 2-6 AutoCAD 软件的显示屏幕

二、窗口和视区的坐标变换

在指定了窗口和视区后，就可以利用窗口和视区之间的变换关系将用户域窗口内图形