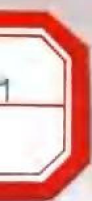
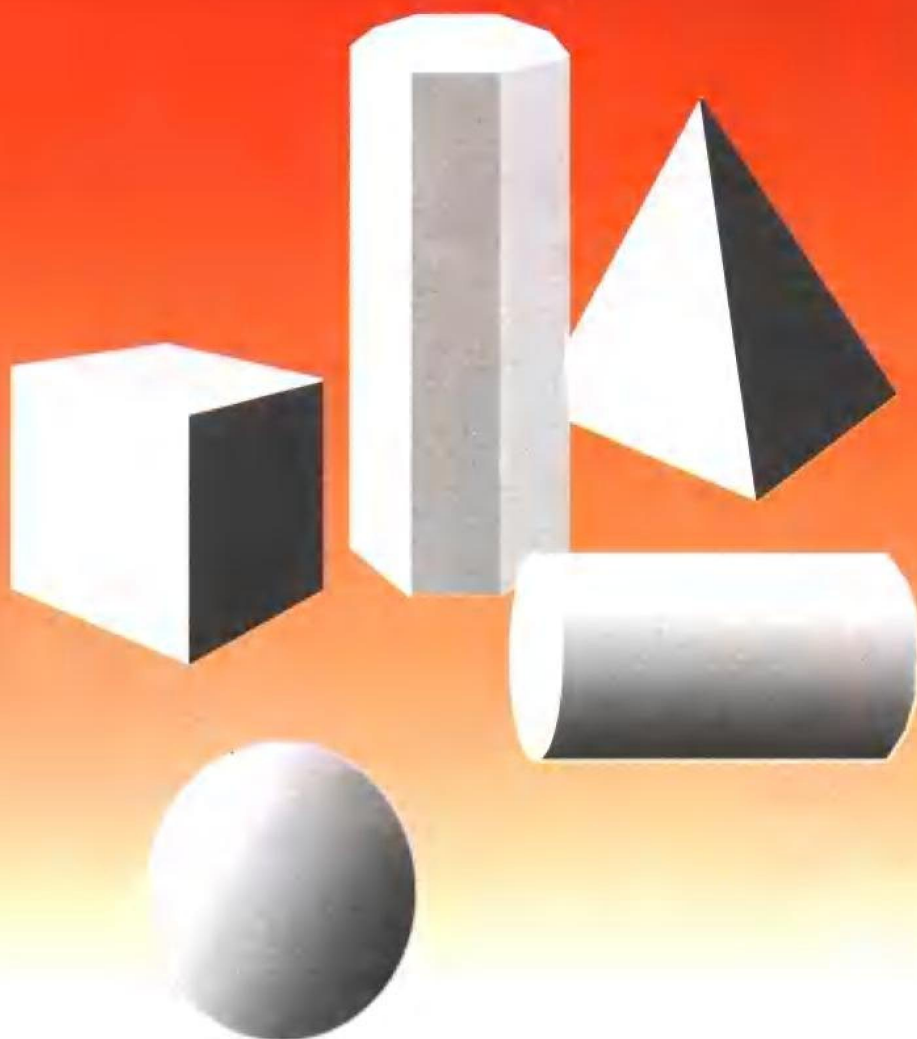


# 计算机图形学基础

● 罗运和 主编

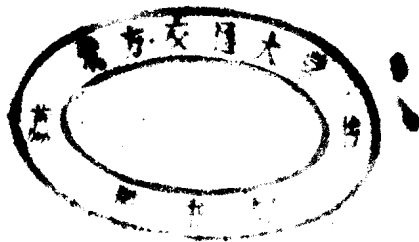
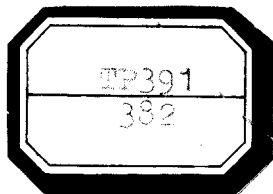
中国计量出版社



213.15

# 计算机图形学基础

罗运和 主编



中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础/罗运和主编. -北京:中国计量出版社,1998

ISBN 7-5026-1037-5

I. 计… II. 罗… III. 计算机图形学 IV. TP391.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00353 号

### 内 容 提 要

作为计算机科学的一个重要分支,计算机图形学在我国正处于非常活跃的发展时期,亟待普及和推广。

本书着重介绍计算机图形学的基本理论。全书共分十三章,内容包括:绪论,计算机的图形功能,基本图形生成技术,绘图程序设计,二维图形变换,三维图形变换,曲线,开窗与裁剪,图形数据结构,真实图形的描绘,交互式计算机绘图,Auto CAD 绘图软件和 3D Studio 三维动画软件应用介绍等。

本书可作为大专院校学生学习计算机绘图的普及教材,亦可供从事计算机辅助设计的工程技术人员和电脑爱好者参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013A

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

\*

787×1092 毫米 16 开本 印张 13.5 字数 328 千字

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

\*

印数 1—3500

定价:19.80 元

# 前 言

“计算机图形学”是计算机科学的一个重要分支,近几年来获得了飞速的发展,在许多领域都得到了广泛的应用。为此,各高等院校先后开设这一课程。为适应教学的需要,我们在多年教学工作的基础上,参考国内外最新版本的论著和教材,编写了《计算机图形学基础》这本书。本书有以下特点:

1. 在内容选择上,考虑到不同专业、不同层次读者的需要,注重介绍计算机图形学基本原理和基本知识,为进一步深入学习本学科的知识打下基础。

2. 在结构体系上,尽量增加反映近年来计算机图形学发展的新知识。同时,增加 Auto CAD 和 3D Studio 应用软件介绍,以开阔视野,增强实用性。

3. 在编写方法上,遵循教学规律,内容由浅入深,叙述深入浅出,力求理论联系实际。书中附有一些 C 源程序,能够绘出正确图形。这样不仅可以增加学习兴趣,而且适合于自学。

本书内容主要分为计算机图形学基本理论和应用软件介绍两大部分。第一章至第十一章为第一部分,包括绪论,计算机的图形功能,基本图形生成技术,图形变换,曲线,开窗与裁剪,图形数据结构,真实图形的描绘,交互式计算机绘图等内容,注重介绍理论知识。第十二章、十三章为第二部分,包括 Auto CAD 绘图软件、3D Studio 三维动画软件等内容,注重介绍典型应用软件。两部分内容各自有所侧重,而又有机结合。后一部分内容的增加,不仅为读者掌握应用软件打下一定基础,而且通过知识的互相渗透,使读者对计算机图形学理论知识和应用软件开发,有更加深刻、更为全面的理解。

本书由中国人民解放军电子技术学院罗运和主编。第一、四、五、六章由罗运和编写;第二章由杨岐子编写;第三、七章由马放编写;第八章由陈含新编写;第九、十章由邵兵编写;第十一、十二章由刘学友编写;第十三章由黄社章编写。本书由孙伯鲁教授主审。对于本书的编写,洛明、赵军航同志作了不少工作;在出版过程中,曾得到很多同志的支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,竭诚希望读者批评指正。

编者

1997年10月

# 目 录

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| <b>第一章 绪论</b> .....         | (1)  |
| § 1-1 计算机图形学的发展概况及应用 .....  | (1)  |
| § 1-2 计算机图形系统的组成 .....      | (3)  |
| 习题 .....                    | (8)  |
| <b>第二章 计算机的图形功能</b> .....   | (9)  |
| § 2-1 图形显示 .....            | (9)  |
| § 2-2 绘图机绘图 .....           | (19) |
| 习题 .....                    | (23) |
| <b>第三章 基本图形生成技术</b> .....   | (25) |
| § 3-1 计算机图形系统中的常用坐标系 .....  | (25) |
| § 3-2 直线生成算法 .....          | (26) |
| § 3-3 圆弧生成算法 .....          | (32) |
| § 3-4 线型、线宽的处理与字符生成技术 ..... | (36) |
| § 3-5 尺寸标注生成技术 .....        | (40) |
| § 3-6 剖面线算法程序 .....         | (42) |
| 习题 .....                    | (46) |
| <b>第四章 绘图程序设计</b> .....     | (48) |
| § 4-1 通用绘图程序设计 .....        | (48) |
| § 4-2 常见规则曲线程序设计 .....      | (51) |
| § 4-3 图案程序设计 .....          | (55) |
| 习题 .....                    | (60) |
| <b>第五章 二维图形变换</b> .....     | (61) |
| § 5-1 图形变换基本原理 .....        | (61) |
| § 5-2 二维基本变换 .....          | (62) |
| § 5-3 组合变换 .....            | (67) |
| 习题 .....                    | (70) |
| <b>第六章 三维图形变换</b> .....     | (71) |
| § 6-1 概述 .....              | (71) |
| § 6-2 三维基本变换 .....          | (71) |
| § 6-3 正投影变换与正轴测投影变换 .....   | (75) |
| 习题 .....                    | (79) |
| <b>第七章 曲线</b> .....         | (80) |
| § 7-1 概述 .....              | (80) |

|             |                            |       |
|-------------|----------------------------|-------|
| § 7-2       | 二次圆锥曲线 .....               | (82)  |
| § 7-3       | 三次参数样条曲线 .....             | (84)  |
| § 7-4       | Bézier 曲线 .....            | (92)  |
| § 7-5       | B 样条曲线 .....               | (98)  |
| 习题          | .....                      | (101) |
| <b>第八章</b>  | <b>开窗与裁剪</b> .....         | (102) |
| § 8-1       | 概述 .....                   | (102) |
| § 8-2       | 直线段的裁剪 .....               | (103) |
| § 8-3       | 平面多边形的裁剪 .....             | (109) |
| § 8-4       | 窗口与视图区变换 .....             | (111) |
| 习题          | .....                      | (114) |
| <b>第九章</b>  | <b>图形数据结构</b> .....        | (115) |
| § 9-1       | 数据结构的基础知识 .....            | (115) |
| § 9-2       | 线性表 .....                  | (116) |
| § 9-3       | 树 .....                    | (121) |
| § 9-4       | 图形处理中常用的数据结构形式 .....       | (125) |
| 习题          | .....                      | (127) |
| <b>第十章</b>  | <b>真实图形的描绘</b> .....       | (128) |
| § 10-1      | 凸多面体隐藏线的消除 .....           | (128) |
| § 10-2      | 凹多面体隐藏线的消除 .....           | (134) |
| § 10-3      | 曲面立体隐藏线的消除 .....           | (143) |
| § 10-4      | 隐藏面的消除技术 .....             | (144) |
| § 10-5      | 真实图形的描绘 .....              | (146) |
| 习题          | .....                      | (152) |
| <b>第十一章</b> | <b>交互式计算机绘图</b> .....      | (153) |
| § 11-1      | 概述 .....                   | (153) |
| § 11-2      | 基本交互任务及其技术 .....           | (154) |
| § 11-3      | 组合交互任务及其技术 .....           | (158) |
| 习题          | .....                      | (162) |
| <b>第十二章</b> | <b>Auto CAD 绘图软件</b> ..... | (163) |
| § 12-1      | Auto CAD 概述 .....          | (163) |
| § 12-2      | Auto CAD 的启动及主要设定 .....    | (165) |
| § 12-3      | 图形的绘制 .....                | (168) |
| § 12-4      | 图形编辑 .....                 | (173) |
| § 12-5      | 图形的显示 .....                | (179) |
| § 12-6      | 辅助绘图命令 .....               | (180) |
| § 12-7      | 块操作 .....                  | (183) |
| § 12-8      | 尺寸标注 .....                 | (185) |
| 习题          | .....                      | (187) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| <b>第十三章 3D Studio 三维动画软件</b> ..... | (189) |
| § 13-1 概述 .....                    | (189) |
| § 13-2 3DS 基本操作 .....              | (189) |
| § 13-3 五大模块功能 .....                | (192) |
| § 13-4 综合举例 .....                  | (196) |
| 习题 .....                           | (204) |
| <b>参考文献</b> .....                  | (205) |

# 第一章 绪 论

## § 1—1 计算机图形学的发展概况及应用

图形是人们用来表达思想、传递信息的一种重要手段。在现代人类的生产活动及日常生活中,经常要绘制各种图样、美术图案、广告及动画等。手工绘图是一项细致而繁重的劳动,不仅效率低、劳动强度大,而且绘图精度不易保证。随着现代科学技术的发展,对绘图精度的要求越来越高,图样越来越复杂。如超大规模集成电路掩膜图、印刷电路的布线图、航天飞机及宇宙空间飞行器复杂的曲面外壳等,都是手工绘图难以胜任的。同时,现代社会的重要特征是节奏加快,各种产品的更新换代十分迅速,要求新产品的的设计绘图必须高效率地完成,利用计算机的高速运算及数据处理能力,实现计算机辅助设计与绘图势在必行。图形学、应用数学、计算机科学等学科的互相渗透,产生了一门新兴学科——计算机图形学。计算机图形学是应用计算机,通过算法和程序,研究图形生成、显示及绘制的图形综合技术。

### 一、计算机图形学的发展概况

计算机图形学的发展历史应追溯到 50 年代。当时的计算机主要应用于科学计算,使用尚不普及,但已配置了图形显示器。50 年代末期,美国麻省理工学院林肯实验室研制的 SAGE 防御系统,就已具备了指挥和控制功能。这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形获得所需要的信息,这一功能的出现标志着交互式图形生成技术的诞生。

1963 年,美国麻省理工学院的 I. E. 萨瑟兰德(I. E. Sutherland)在他的博士论文中提出了 SKETCHPAD 系统。该系统可用光笔在图形显示器上实现选择、定位等交互功能。计算机还可以跟踪光笔,从原来所在的点到指定的点画出直线,或在给定圆心和半径后画出圆等。

70 年代以后,由于集成电路技术的发展,计算机性能不断提高,体积缩小,价格降低,特别是廉价的图形输入、输出设备及大容量磁盘等的出现,以小型机为基础的图形生成系统开始进入市场并形成主流,在计算机辅助设计、事务管理、过程控制等领域得到了比较广泛的应用。

80 年代以后,工程工作站的出现,极大地促进了计算机图形学的发展。与小型机相比,工工作在用于图形生成方面具有显著的优点。首先,工作站是一个用户使用一台计算机,交互绘图时,响应时间短;其次,工作站联网后可以共享资源,如大容量磁盘、高精度绘图仪等,而且它便于逐步投资、逐步发展,使用寿命长。因而,工作站已经取代小型机成为图形生成的主要环境。

90 年代后期,微型计算机的性能迅速提高,运算速度加快,内存不断增大,硬盘容量加大,新的机型不断出现,如 586、686 等,且配以高质量的显示器,可在网络上运行,价格较工作站便宜,因此,微机绘图系统获得了越来越广泛的应用。



## 二、计算机图形学的应用

计算机生成图形快速、准确、省时、省力,而且计算机硬件的价格逐步降低,功能日益增强。因此,计算机图形学的应用领域正在以惊人的速度扩大。代表性的领域有:

### (1)计算机辅助设计

在计算机辅助设计中计算机图形学广泛应用于机械、电子、土木建筑、汽车、船舶、飞机制造等工业部门。最常见的情况是绘制出所设计对象的图形,另外还可以构造出设计对象的模型,然后对它的机械性能、电性能或热性能进行分析计算并用图形显示结果。

### (2)地形地貌和自然资源图形

应用计算机图形技术产生高精度的地理图形或其它自然资源的图形是另一个重要的应用领域。包括显示绘制地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象图等。

### (3)事务管理

在事务管理中绘制工作进程图,库存、生产进程图以及其它的图形。所有这些都以直观的形式呈现出数据的模型和发展趋势,以帮助正确决策。

### (4)科学计算可视化

随着科学技术的进步,越来越多的数据需要进行处理。这些数据来自高速计算机、人造地球卫星、地质勘探和核磁共振等途径。科学计算可视化,就是应用计算机图形技术将科学及工程计算的中间结果在屏幕上以图形、图象形式显示出来,使人们能观察到用常规手段难以观察到的自然现象的规律,实现科学计算环境和工具的进一步现代化。科学计算可视化广泛应用于计算流体力学、有限元分析、气象科学、天体物理、分子生物学、医学图象处理等领域。

### (5)过程控制

在过程控制中,常常将计算机与其它设备连成一个系统。通过屏幕显示系统中关键部位的状态,如炼油厂、发电厂和电力系统的状态,在显示器上显示由传感器送来的压力、温度、电压、电流等数据,从而使操作人员对异常情况作出反应。机场上的飞行控制人员从雷达显示器上观察到标志及状态信息,因而可以更快、更准确地进行空中交通管理。

### (6)计算机动画及广告

由于计算机图形系统的硬件速度提高,软件功能增强,使计算机制作动画成为现实。在制作动画过程中,为了避免画面闪烁,符合人的视觉,放映1秒钟的动画,就要制作24幅画面。因而手工制作动画的工作量很大,三维动画就更为困难。但是,利用计算机制作动画,可以在两幅关键画面之间自动插入中介画面,从而大大节约了时间,提高了效率。目前,利用计算机图形技术制作的二维、三维动画作为电视节目的片头或广告,已随处可见。

### (7)计算机艺术

将计算机图形学与人工智能技术结合起来可构造出丰富多采的图案或图象,这是近年来计算机图形学又一个应用领域。利用专家系统中设定的规则,可以构造出形状各异的图案并实现合理的颜色配置。

### (8)办公自动化及电子出版系统

随着微型计算机及桌面印刷设备的发展,计算机图形学在办公自动化及电子出版系统中逐渐得到应用。以前需要提交给专门印刷机构出版的资料,现在可以在办公室印刷了。办公自动化及电子出版系统可以产生传统的硬拷贝文本,也可以产生电子文本,包括正文、表格、图形

及图象等内容。

图 1—1 列举了利用计算机绘制的图案、女孩头像、房屋透视图及汽车外形图的实例。

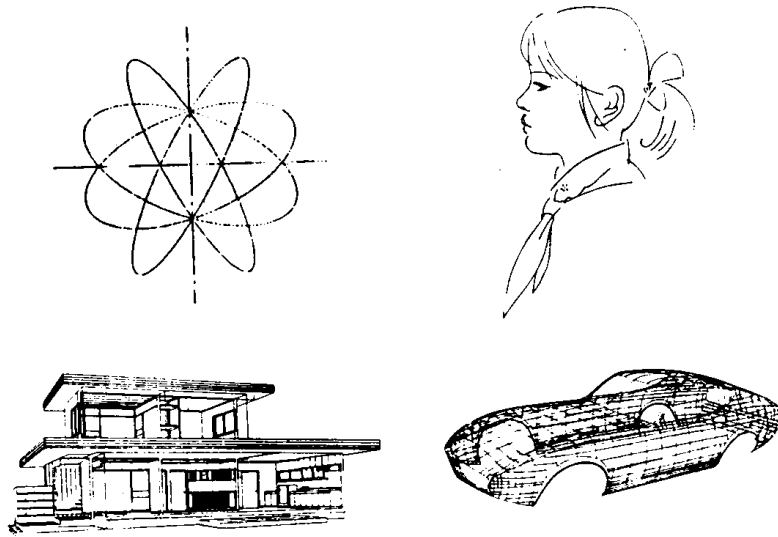


图 1—1 计算机绘图应用举例

## § 1—2 计算机图形系统的组成

### 一、系统的组成

计算机图形系统由硬件设备及相应的程序系统(即软件)两部分组成。

硬件包括主计算机、图形显示器、鼠标器等基本设备,以及图形输入板、绘图机、图形打印机等输入输出设备。软件包括操作系统、高级语言、基本图形软件和应用软件。

在整个系统运行时,人始终处于主导地位。一个完整的图形系统,是人与计算机图形系统协调一致的,如图 1—2 所示。计算机图形系统根据其功能的强弱,即所配置的硬件规模、软件丰富程度、价格高低,大体可以分为三类:

#### (1)以大型机为基础的图形系统

这种系统在发达国家多用于飞机制造、汽车制造等大型企业。它以大型计算机为基础,具有容量庞大的存储器和极强的计算功能,并具有大量的显示终端及高精度、大幅面的硬拷贝设备,这种系统往往还拥有自行开发、功能齐全且不外传的应用软件系统。应用这种系统可实现计算机辅助设计、实体造型、结构分析、运动模拟、工程和科学计算、项目管理、生产过程控制等。

#### (2)以工程工作站为基础的图形系统

80 年代以来,出现了工程工作站和以它

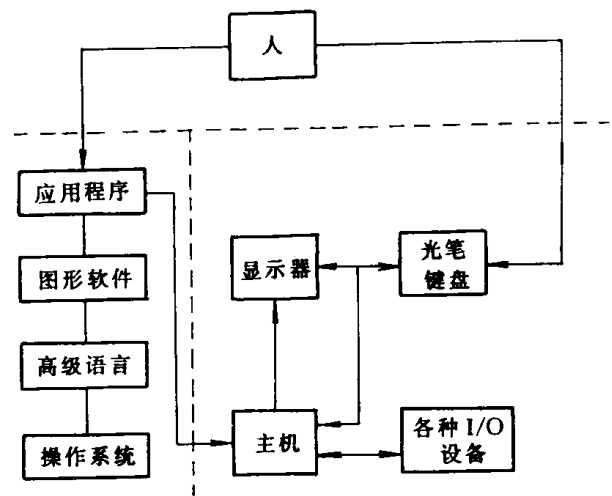


图 1—2 图形系统结构示意图

为基础的图形系统。工作站是具有高速的科学计算、丰富的图形处理、灵活的窗口及网络管理功能的交互式计算机图形系统。

工作站大多采用 32 位或 64 位字长的中央处理器,广泛采用精简指令、超流水线等技术;内存至少 8MB,可扩充至 1 000MB 以上;高速缓存大多在 32KB 以上;自带外存,磁盘容量在 600MB 以上;运算速度在 20MIPS 以上。具有 UNIX 操作系统和窗口管理系统,还配有用户开发工具;不仅有字符功能,而且有图形处理功能,图形显示器的分辨率在 1024×768 以上,一般具有 8 个位面(可显示 256 种颜色)可以在网络的任何地方存取信息。此类系统不仅可以用于办公自动化、文字处理、文本编辑等,更主要的是用于工程和产品的设计与绘图,运动模拟、动画和科学计算可视化等领域。

在以工作站为基础的图形系统中,制造厂家一般只提供硬件及系统软件,应用软件多由专门从事系统集成的公司或其它公司开发,供用户选购。

### (3)以微机为基础的图形系统

近年来,由于微机的性能日益提高,价格日益降低,使得以微机(例如 486、586 微机)为基础的图形系统在技术上成为可能,并日益得到广泛应用。常见的微机绘图系统硬件设备包括主机、绘图机、打印机等,见图 1—3。这类系统以常见的高档微机为基础,并配以高、中分辨率的图形显示器以及交互设备,廉价的绘图机及打印机等。

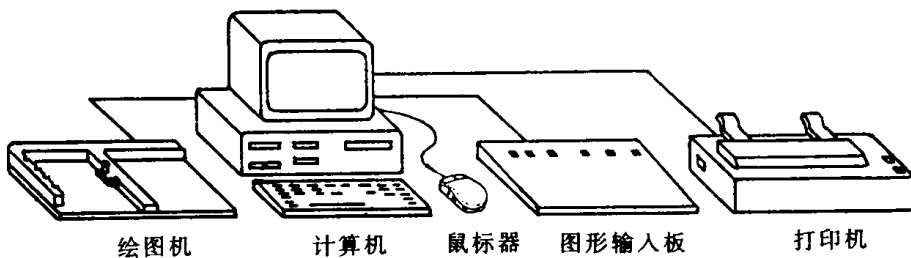


图 1—3 微机绘图系统硬设备

目前,以微机为基础的图形系统多用作二维图形的计算机绘图,应用软件也多是二维的。随着微机性能的进一步提高,用微机进行三维形体的设计、显示,也是完全可以实现的。

## 二、图形硬件设备

计算机图形系统除配有中央处理机、存储器、显示器、键盘、打印机等设备外,还必须有图形的输入输出设备,以保证图形系统基本功能的实现。常见的输入输出设备还有绘图机、坐标数字化仪、鼠标器等。利用显示器可以显示图形,并可交互地建立和处理图形;利用绘图机绘图,可以获得图形的硬拷贝。

### 1. 显示器

显示器是显示文字和图形的设备。显示器常用阴极射线管(CRT)作核心部件。CRT的构造见图 1—4,主要由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成,其工作原理是:电子枪中,电流通过灯丝产生热量,即对阴极加热而

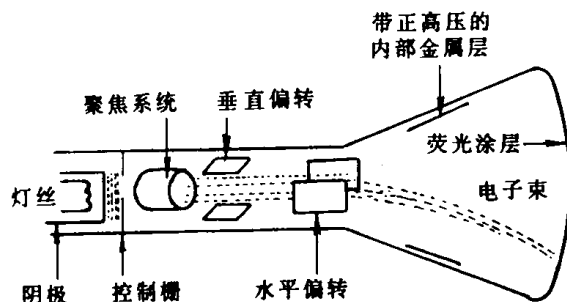


图 1—4 CRT 剖面示意图

发射电子束；靠近阴极有一控制极，加上负电压能控制电子束截止，即控制电子束打在荧光屏上的强弱，由此控制光的强弱；偏转系统用静电场或磁场控制电子束发生水平偏转或垂直偏转，电子束打在荧光屏上，荧光粉就会发光而形成光点，在屏幕上就能显示出图形。

目前常用的图形显示器主要有动态刷新式，存储管式，光栅扫描式几种类型。其中光栅扫描式显示器较常用。

## 2. 绘图机

绘图机是绘制图形获得硬拷贝的设备。常用的绘图机按机械结构分类，有滚筒式绘图机、平台式绘图机两种类型。按绘图方式分类，有笔式绘图机和喷墨式绘图机两种类型。

### (1) 滚筒式绘图机

滚筒式绘图机属于笔式绘图机，工作时用绘图笔画图。其结构示意图如图 1—5 所示。图纸通过纸孔与滚筒相连，滚筒通过 X 向电机驱动，带动图纸作 X 方向运动；绘图笔装在笔架上，笔架由 Y 向电机驱动，实现 Y 方向运动，从而可绘制各种图形。

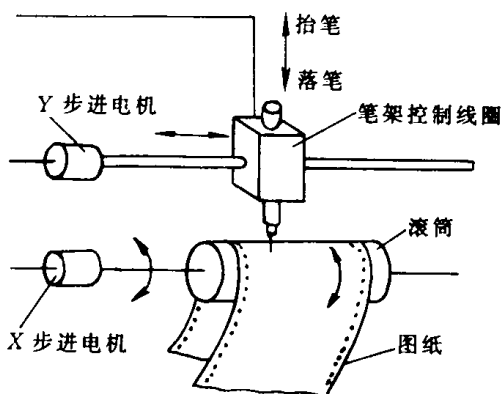


图 1—5 滚筒式绘图机结构示意图

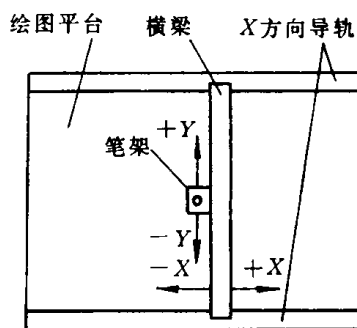


图 1—6 平台式绘图机结构示意图

在笔式绘图机中，一个电脉冲通过驱动电机与传动机构使笔移动的距离称为步距。步距愈小，画出的图就愈精细。一般绘图机的步距为  $0.1 \sim 0.00625\text{mm}$ 。在实际应用中， $0.1\text{mm}$  的步距可以使肉眼觉察不到图形的阶梯状波动，而  $0.00625\text{mm}$  的步距可以满足精密绘图的需要。

滚筒式绘图机绘图精度较高，体积小，绘图幅面大，价格相对便宜，因而应用比较普遍。

### (2) 平台式绘图机

平台式绘图机也属于笔式绘图机。其结构示意图如图 1—6 所示。绘图纸用静电方式、真空吸附或直接铺在绘图机平台上。笔架在 X 向、Y 向电机的驱动下，实现 X 向、Y 向运动。

平台式绘图机一般速度较低，结构较为复杂，精度较高。多用于小幅面绘图。

### (3) 喷墨式绘图机

喷墨式绘图机的机械结构类似于滚筒式绘图机，喷墨装置安装在笔架位置上。工作时，喷墨头将青色、品红、黄色等颜料同时喷在纸上，以形成不同的色彩。一些喷墨式绘图机可以接收视频及数字信号，可用于光栅显示屏幕的硬拷贝。喷墨式绘图机不仅可以绘制图形，而且可以绘制图象，使所绘物体形象逼真。

## 3. 坐标数字化仪

坐标数字化仪是一种定位设备，其中全电子式坐标数字化仪由于精度高、使用方便，得到了普遍应用。这种设备利用电磁感应原理，在负极的 X、Y 方向上有许多平行间隔较小的印刷

线,游标中装有一个线圈,当线圈中通有交流信号时,十字叉丝的中心便产生一个电磁场,当游标在台板上运动时,台板下的印刷线上就会产生感应电流。印制板周围的多路开关可以检测出最大信号的位置,即十字交叉中心线所在的位置,从而得到该点的坐标值。

图形输入板,是一种在结构和原理上都类似于坐标数字化仪的输入设备,只是面积较小而已,常见的面积为 $280 \times 280\text{mm}$ 。这种设备配有特别的指示笔,操作时,靠笔上的压力敏感开关接通电路,输入所在位置。

#### 4. 鼠标器

这是目前最常用的输入装置,它是一个手持的小盒,带有一根连接到计算机输入端口的电缆,就像一只小老鼠的尾巴,因此俗称“鼠标器”。鼠标器的类型有多种,如机械式鼠标、光电式鼠标、无线鼠标等。机械式鼠标的底部装有橡胶球和橡胶轮,当推动鼠标在平面上移动时,滚动的球带动轮子转动,卷轴将通过电位器记录移动的方向和距离。这个方向和距离被转换成对应的屏幕光标位置的相对变化。鼠标器的按钮用来发出某种操作指令的开关信号,如记录光标的位值,确认所选择的项目,执行选择的文件等。鼠标器在交互式绘图中应用广泛,多用来点取菜单,执行或取消命令,操作方便、快捷。

### 三、图形软件

图形软件系统应该具有合理的层次结构和模块结构,以便设计、调试和维护。图形软件按层次分可以分为零级、一级、二级、三级软件四种。

#### 1. 图形软件的组成

##### (1) 零级图形软件

是最低层次的软件,主要解决图形设备与主机通讯、接口等问题,又称设备驱动程序,是一些最基本的输入、输出子程序。由于使用频繁,程序质量要求尽可能高,因此常用汇编语言编写。零级图形软件是面向系统的,而不是面向用户的。

##### (2) 一级图形软件

又称基本子程序,它包括生成基本图形元素以及对设备进行管理的各程序模块。它可以用汇编语言编写,也可以用高级语言编写。编写程序时要从程序的效率与容易编写、调试、移植等要求全面考虑。一级图形软件既面向系统又面向用户。

##### (3) 二级图形软件

也称功能子程序,是在一级图形软件基础上编写的。其主要任务是建立图形数据结构,定义、修改和输出图形,以建立各图形设备之间的联系,应具有较好的交互功能。二级图形软件是面向用户的,要求使用方便,容易阅读,便于维护和移植。

##### (4) 三级图形软件

这是为解决某种应用问题的图形软件,是整个应用软件的一部分。这种软件一般由用户编写,有时是用户与系统设计者一起编写。

一般把零到二级图形软件称为基本图形软件,或称支撑软件,而把三级图形软件称为应用软件。

#### 2. 基本图形软件

基本图形软件作为图形系统的支撑软件,其功能根据需要而有所不同,但其基本内容一般包括:系统管理程序;定义和输出基本图素及复合图素图形的程序;图形变换,包括几何变换、

开窗、裁剪等程序；实时输入处理程序；交互处理程序。

通常，以某种高级语言（如 BASIC, PASCAL, C 语言等）为基础，建立图形基本软件。

### 3. 高级语言的选择

基本图形软件程序设计，选择哪一种高级语言，应考虑以下几种因素：

- ①图形处理系统主要应用于工程技术领域，因此应该选择较为通用的高级语言；
- ②图形软件包是模块结构，因此最好选择具有模块化结构的高级语言；
- ③图形处理应用的范围很广，需要各方面的软件支持，因此要选择支持性软件（如数学软件包、数据库等）比较丰富的高级语言。

④图形处理需要采用相当复杂的数据结构，因此要选择数据类型比较丰富的高级语言；

⑤图形处理要和许多外部设备打交道，因此要选择输入输出功能比较强的高级语言；

⑥图形处理要求响应速度快，因此又要选择目标程序质量比较强的高级语言。

实际上，完全满足这些要求的高级语言并不存在，因此有人提出研制专门处理图形的高级语言。目前，只能从比较通用的高级语言中选择。

——BASIC 语言简单易学，有会话功能，应用普遍，图形功能较强，计算功能较弱，一般只适用于微机图形系统。

——FORTRAN 语言具有模块化结构，与图形软件包的联接非常方便，有丰富的支撑软件，应用非常普遍。但是数据类型不够丰富，处理复杂的图形对象也不够方便。

——PASCAL 语言是结构化的程序设计语言，有丰富的类型结构，便于表达复杂的图形结构，但在工程界不够普及。

——C 语言与 PASCAL 语言相仿，同时具有接近机器语言的特点，效率较高，有着良好的应用前景。

## 四、图形软件标准

随着计算机图形学应用领域的不断扩大，各种图形软件日益增多，图形设备也是各种各样，如果没有一个软件标准，将会对应用软件的开发和移植带来一定困难，制定图形软件标准势在必行。目前，制定的标准有 GKS 和 PHIGS 等，且在不断地完善之中。

### 1. GKS 标准

1982 年，国际标准化组织发表了 ISO GKS (Graphics Kernel System) 图形核心系统。这个标准的制定与发表，是计算机图形标准化的一个重要标志。

GKS 在计算机图形学方面已成为公认的国际标准。它实际上是一个与计算机、图形输入输出设备、程序设计语言无关的软件接口。用户通过应用程序设计语言，能方便地调出 GKS 的全部功能。GKS 提供的图形处理功能如下：

- ①控制功能，执行打开、关闭 GKS，以便进入或退出活动状态；
- ②输出功能，确定输出图形的类型；
- ③变换功能，实现规范化变换和 workstation 变换；
- ④图组功能，对图形进行生成、复制、删除及实现图组属性控制；
- ⑤输入功能，对各种输入设备初始化，设定设备方式，确定输入控制方式；
- ⑥询问功能，查询 GKS 描述表、状态表；
- ⑦实用程序，实现坐标变换等；

⑧出错处理。

## 2. PHIGS 标准

PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)是一个程序员级层次结构系统,PHIGS 是 ANSI 在 1986 年公布的,这是一个为程序员提供的控制图形设备的子程序接口标准。PHIGS 中引入了一些新概念,如结构体编辑等。其中“结构”是组合数据并参加操作的一种数据描述,结构是一些结构元素的有序组合,操作可以在结构元素级间进行。

PHIGS 是一个比 GKS 功能更强,交互程度更高的图形软件标准,它可以对三维图形进行处理。

计算机图形软件标准的制定与发表,是该学科发展的一个里程碑,必将对计算机图形学的应用产生深远的影响。

## 习 题

1. 简述交互式计算机图形系统的组成,并画出一一般结构图。
2. 图形系统根据什么原则分类? 一般可分为几类? 说出每一类的主要特点。
3. CRT 显示器中偏转系统的作用是什么?
4. 绘图机主要分为哪两类? 各有什么特点?
5. 简述图形软件的层次结构。
6. 基本图形软件主要包含哪些内容?
7. 选择图形软件语言应考虑哪些因素?

## 第二章 计算机的图形功能

### § 2-1 图 形 显 示

计算机输出图形的方式主要分为显示器显示图形和绘图机绘制图形两种方式。屏幕显示图形直观、快速,便于修改,易于实现人机对话。绘图机输出图形可以获得图形的硬拷贝,而且精度较高。二者各有特点,但又是统一的。一般地说,能够实现图形显示的程序,其部分语句加以修改后,便可以在绘图机上绘图。

PC 机的图形显示能力主要取决于三种硬件设备,即图形适配器、显示器和用于显示的 RAM 存贮器。在组成计算机硬件系统时,这三者的配置应是一致的。因此,当提到显示能力时,一般不把三者都列出来,而只提图形适配器。PC 机配置的图形适配器主要有 CGA、MCGA、EGA、VGA 等,其中 VGA 是性能较好的彩色图形显示器,它与 CGA 和 EGA 兼容,同时增加了若干新的显示模式。VGA 彩色图形显示最高分辨率为  $640 \times 480$ ,可以同时显示 16 种颜色,颜色总数可达  $2^{18}$  种,显存容量为 256 到 512KB。另一种彩色显示模式的分辨率为  $320 \times 200$ ,可同时显示 256 种颜色。这种模式可以用来显示色彩逼真、色调自然并有真实感的图形。

PC 机的显示器可以在两种基本视频方式下工作,一种是文本方式,一种是图形方式。在文本方式下,屏幕上可以显示的最小单位是字符。文本方式设置不同,所显示的字符的列数、行数也不相同,颜色也有所区别。

在图形方式下,屏幕上每一个可以控制的单元叫做象元或象素,它是组成图形的基本元素,一般称为“点”。通常把屏幕上所包含的象素的个数叫做“分辨率”。分辨率越高,显示的图形越细致、质量越好。例如,CGA 显示器的水平方向有 320 个象素,垂直方向有 200 个象素,它的分辨率为  $320 \times 200$ ,VGA 显示器在水平方向上有 640 个象素,垂直方向上有 480 个象素,则 VGA 显示器的分辨率为  $640 \times 480$ 。所以 VGA 的分辨率比 CGA 的分辨率高。屏幕上每个点(象素)的显示位置可以用点坐标进行描述。在屏幕坐标系中,屏幕左上角为坐标系原点  $(0,0)$ ,水平方向为 X 轴,自左向右;垂直方向为 Y 轴,自上向下。当分辨率为  $640 \times 480$  时,左上角坐标为  $(0,0)$ ,右下角坐标为  $(639,479)$ ,如图 2-1 所示。此时, $0 \leq x \leq 639, 0 \leq y \leq 479$ 。

有了计算机硬件设备,配上一些高级语言,便可进行计算机绘图工作了。高级语言一般都具备图形功能,例如 BASIC 语言中的绘图语句,C 语言中的图形函数,这些绘图语句或图形函数均属于基本图形软件。本节主要介绍目前比较流行的 Turbo C 的图形功能。

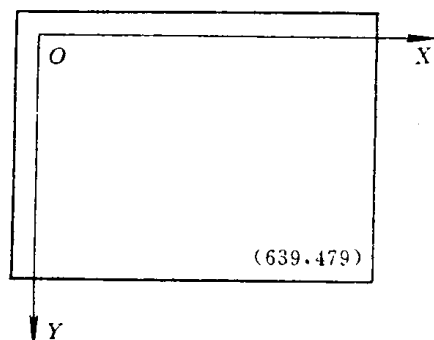


图 2-1 屏幕坐标系



Turbo C 是 Borland 公司的产品,它支持 C 标准版本,有一个使用方便的集成环境;它规模小,功能强,运行速度快,且具有相当强的图形处理能力。Turbo C 2.0 包含有 460 多个库函数,其中有 70 多个图形函数。运用 Turbo C 的图形函数,可以画出彩色的线、弧、圆、矩形、多边形,可以用 11 种预定义的模式或自定义的模式来充填任何有界区域。除此而外,还提供了一些屏幕、视图框、图象及图素函数、颜色设置、控制函数等。所有图形函数均在“graphics.h”中定义,因此,在程序中要调用这些图形函数,均必须在程序文件的开头写上文件包含命令:

```
# Include <graphics.h>
```

## 一、图形系统管理

IBM PC 机的显示器可以在两种基本视频方式下工作,一种是图形方式,另一种是文本方式。在一般缺省情况下,屏幕为 80 列、25 行的文本方式。在文本方式下,所有的图形函数均不能操作,因此在使用函数绘图之前,必须将屏幕显示适配器设置为图形模式,这就是通常所说的“图形方式初始化”。在绘图工作结束之后,又要使屏幕回到文本方式,以便进行程序文件等的编辑工作。Turbo C 2.0 提供了 14 个函数,进行对图形系统的控制和管理工作。

### 1. 图形方式初始化

图形方式初始化是通过函数 `initgraph` 来完成的。其调用格式为:

```
initgraph(*gdriver, *gmode, path);
```

函数 `initgraph` 的功能是通过从磁盘上装入一个图形驱动程序来初始化图形系统,并将系统设置为图形方式。调用该函数须用三个参数,其含义为:

① `gdriver` 是一个整型值,用来指定要装入的图形驱动程序,该值在头文件 `graphics.h` 中定义,见表 2—1。

表 2—1 图形驱动程序

| 符号常量   | 数值 | 符号常量     | 数值 |
|--------|----|----------|----|
| DETECT | 0  | EGAMONO  | 5  |
| CGA    | 1  | IBM 8514 | 6  |
| MCGA   | 2  | HERCMONO | 7  |
| EGA    | 3  | ATT 400  | 8  |
| EGA 64 | 4  | VGA      | 9  |

表 2—2 图形显示模式

| 图形驱动程序(gdriver) | 图形显示模式(gmode) | 值 | 分辨率     | 颜色数 | 页 |
|-----------------|---------------|---|---------|-----|---|
| CGA             | CGAC0         | 0 | 320×200 | 4   | 1 |
|                 | CGAC1         | 1 | 320×200 | 4   | 1 |
|                 | CGAC2         | 2 | 320×200 | 4   | 1 |
|                 | CGAC3         | 3 | 320×200 | 4   | 1 |
|                 | CGAHI         | 4 | 640×200 | 2   | 1 |
| EGA             | EGALO         | 0 | 640×200 | 16  | 1 |
|                 | EGAHI         | 1 | 640×350 | 16  | 2 |
| VGA             | VGALO         | 0 | 640×200 | 16  | 2 |
|                 | VGAMED        | 1 | 640×350 | 16  | 2 |
|                 | VGAHI         | 2 | 640×480 | 16  | 1 |