

实用计算机图形学

修订版: BASIC 和 C 语言并用

卢传贤 主编



西南交通大学出版社

实用计算机图形学

修订版: BASIC 和 C 语言并用

主 编 编 者	卢传贤	
	卢传贤	李睿谟
	李 松	王广俊
	卢 欣	秦圣峰
	蒋先刚	

西南交通大学出版社

内 容 提 要

本书是高等院校工程类各专业本科生计算机绘图教材,是1989年版的修订版。全书共分十一章,内容包括绘图的基本方法与操作,二、三维图形处理及程序设计技术,曲线与曲面的计算机处理和工程应用问题,交互式绘图原理及应用,绘制工程图的软件技术等。本书采用BASIC和C两种语言并行、对等编写,书中提供200多道示例程序,并配有磁盘一张,书末附有BASIC和C语言的基础知识。

本书还可作为工程类各专业研究生计算机图学基础教材,亦可供计算机图形技术工作者参考。

实 用 计 算 机 图 形 学

修订版:BASIC和C语言并用

主编 卢传贤

*

西南交通大学出版社出版发行
(成都 二环路北一段 610031)

新华书店经销
郫县印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25

字数:463千字 印数:1—5000册

1995年12月第1版 1995年12月第1次印刷

ISBN 7—81022—905—2/T·163

定价:19.00元

前 言

本书第一版于1989年出版发行,从那时以来,计算机及图形设备已在进化中更新换代,各校进行教学的设备条件有了不同程度的改善,计算机图形技术在应用中有了新的发展,程序语言及其使用情况也发生了变化。鉴于上述情况,为了更好地适应当今教学和应用的需要,特对原书进行了较为全面的修订改写,编写出版了这本《实用计算机图形学》修订版。

正像本书书名那样,实用性是本书的基本特色,这次修订保持和发扬了这个特色。这里的实用性有两层意思:一是本书不停留在原理、方法的叙述和公式的推导上,而始终都把理论的说明和程序的实现配合起来,书中给出了基本程序160多个,几乎覆盖了全书的所有内容,期望为读者提供学了即能动手的条件;二是在内容和例题取材上,主要针对工程类专业的实际需要,突出工程图的计算机处理技术,力图使读者能将所学的图形技术与自己的专业工作需要衔接起来。本书修订版在体现以上实用性特色方面比第一版都更加鲜明了。

由于程序语言的演变,为使本书有更好的适应性,这次修订采用了BASIC和C两种语言编写(另见“关于语言和程序的说明”)。两种语言的使用基本上是对等的,每一问题都同时给出两种语言的程序和解释,使得每种语言的读者都能获得完整的知识。这种编排方法可使读者任选一种语言使用。当然,对于只熟习一种语言而想借此了解另一种语言的读者来说,这种编排或许也会有些助益,尽管这并非编者的本意。另外,在机型方面这次修订主要以386和486为背景。

为便于读者使用书中程序,已将全书的全部源程序收入到了磁盘中,读者可以自由选购。由于程序量大,书的篇幅有限,书中主要列印了本科教学中可能用到的那些源程序,其余的程序可根据程序编号在磁盘中找到。

为了使教师在教学中有更宽松的选择例题的余地,本书磁盘上还特意另外增补了约60个补充程序供教师选用,其他的读者也可以通过这些程序扩大阅历,提高兴趣。

本书的主要内容有屏幕绘图、图形变换、绘图机的用法、曲线和曲面的生成原理及程序设计、开窗与剪裁、投影变换和三维图形消隐、工程图程序设计技术及绘制土木工程图的方法、交互式绘图原理和程序设计技术等。为了便于读者使用本书采用的语言,书末增补了两个附录,简要介绍两种语言的基础知识和集成环境的用法。

本书由西南交通大学卢传贤教授主编。绪论、第三、七、十一章由卢传贤教授编写;第二、九章由西南交通大学李睿谟教授编写,西南交通大学李松为该两章编写了全部C语言程序,并增补了部分内容;第十章由李松编写;第四、五章由西南交通大学王广俊编写;第一章及附录一、二由西南交通大学卢欣编写;第八章由华东交通大学秦圣峰编写;第六章由华东交通大学蒋先刚编写。本书由西南交通大学朱育万教授主审。

本书可作为大学生计算机绘图和研究生的计算机图学基础等课程的教材,亦可供从事计算机图形技术工作的人员参考。

限于编者水平,书中不妥之处、甚至错误在所难免,竭诚希望读者批评指正。

编 者
一九九五年六月

关于语言和程序的说明

一、本书采用 BASIC 语言和 C 语言并行、基本对等的原则编写。

二、对于 BASIC 语言,书中在讲解和编程时以 BASICA 为基础,但在使用时建议尽量使用 Turbo BASIC(书中简称 TB)或 Quick BASIC(书中简称 QB)。高版本 DOS 系统下的 QBASIC 是 QB 的简化版本,也可以用来编程和运行。在书中列印的 BASIC 源程序,除已声明者外均为 BASICA 的形式,这样便于在课文中按行号对程序进行解释。需要注意:有些语句太长,受印刷版面限制,在排印时已人为地进行了截断换行,这种形式的程序不能正确运行,但读者从磁盘上得到的将是正确格式的程序。

三、C 语言以 Turbo C2.0(书中简称 TC)为背景。为了便于在课文中解释程序,有些 C 程序在每一行的行首加印了行序号,这是行编辑软件输出文件的格式。行序号不是程序的合法成分,所以直接按此格式敲出的源程序不能运行,但读者从磁盘上得到的将是正确格式的源程序。

四、全部程序都按章编号并取名。程序名中以 BPG 打头的是 BASIC 程序,以 CPG 打头的是 C 程序。对于增补的 BASIC 补充程序,其程序名均以 BADD 打头,C 补充程序则以 CADD 打头。

编 者

目 录

绪 论	1
第一章 屏幕绘图	3
§ 1-1 概述	3
§ 1-2 BASIC 的屏幕控制	3
§ 1-3 BASIC 屏幕绘图	6
§ 1-4 Turbo C 的屏幕控制	13
§ 1-5 Turbo C 屏幕绘图	15
§ 1-6 自然坐标到屏幕坐标的转换	21
§ 1-7 简单图形动画	23
§ 1-8 通用绘图程序	32
第二章 曲线的绘制	37
§ 2-1 概述	37
§ 2-2 规则曲线的绘制	37
§ 2-3 最小二乘曲线拟合	44
§ 2-4 三次样条曲线	47
§ 2-5 累加弦长三次参数样条曲线	52
§ 2-6 贝齐尔(Bézier)曲线	55
§ 2-7 B 样条曲线	63
第三章 几何变换	73
§ 3-1 几何变换的概念及表达式	73
§ 3-2 二维基本变换矩阵	75
§ 3-3 三维基本变换矩阵	78
§ 3-4 变换的积和变换矩阵的级联	80
§ 3-5 几何变换的程序设计	81
第四章 绘图机的使用	94
§ 4-1 概述	94
§ 4-2 绘图命令	95

§ 4-3 绘图机绘图程序举例	98
第五章 程序设计技术与工程图的基础软件设计	102
§ 5-1 数据处理中的排序与查找	102
§ 5-2 数据的存贮与调用	106
§ 5-3 BASIC 语言的文件处理	107
§ 5-4 C 语言的文件处理	112
§ 5-5 鼠标器使用技术	120
§ 5-6 菜单技术	129
§ 5-7 三级坐标系统	138
§ 5-8 汉字字符和字符库	140
§ 5-9 尺寸的标注	143
§ 5-10 剖面线的绘制	146
第六章 二维空间的视见变换与剪裁	149
§ 6-1 开窗与视见变换	149
§ 6-2 二维图形剪裁	151
§ 6-3 程序语言中的开窗剪裁与视见变换功能	157
第七章 投影变换与三维剪裁	160
§ 7-1 保持原观测系统不变的投影变换方法	160
§ 7-2 改变观测系统的投影变换方法	166
§ 7-3 三维空间的剪裁	173
第八章 平面体的三维图形	177
§ 8-1 平面体的计算机表示	177
§ 8-2 隐藏线问题概述	181
§ 8-3 单个凸多面体的隐藏线	182
§ 8-4 两个凸多面体的隐藏线	186
§ 8-5 凹多面体的隐藏线	189
第九章 曲面及其图形的绘制	195
§ 9-1 概述	195
§ 9-2 双线性曲面	196
§ 9-3 直纹曲面	200
§ 9-4 回转曲面	203
§ 9-5 双三次函数	205
§ 9-6 双三次孔斯(Coons)曲面	208
§ 9-7 双三次孔斯曲面片的拼接	211
§ 9-8 贝齐尔曲面	213
§ 9-9 B 样条曲面	215

§ 9-10 曲面体、曲面隐藏线的消除	216
§ 9-11 等值线图	226
§ 9-12 根据数字地面模型绘制地形断面图	230
§ 9-13 由实测数据点布三角网	233
第十章 交互式绘图原理和基本技术	238
§ 10-1 概述	238
§ 10-2 引例	238
§ 10-3 程序设计中的若干问题	251
§ 10-4 综合运用交互技术的程序示例	256
第十一章 根据参考图绘制土木工程图的方法	259
§ 11-1 概述	259
§ 11-2 方法总貌	260
§ 11-3 图形文件的结构与编制	261
§ 11-4 支撑程序	265
附录一 BASIC 基础知识	270
§ 1 一般知识	270
§ 2 常用函数	271
§ 3 常用语句及语法	272
§ 4 常用命令	274
§ 5 启动与使用	276
§ 6 Turbo BASIC 的使用	276
§ 7 Quick BASIC 的使用	278
§ 8 高版本 DOS 下运行 BASICA 程序的方法	282
附录二 Turbo C 基础知识	283
§ 1 C 程序的一般知识	283
§ 2 数据类型	283
§ 3 运算符	284
§ 4 指针	285
§ 5 函数	285
§ 6 基本语句	286
§ 7 控制台 I/O 基本函数	289
§ 8 预处理指令	290
§ 9 Turbo C 集成环境的使用	291
附录三 键盘输入码	295
参考文献	297

绪 论

一、计算机图形学及其研究内容

计算机图形学是关于计算机图形技术的科学,它是计算机应用的一个重要领域。图作为表达思想、记录信息的一种手段,人们已经在生产、科技、艺术、生活等领域使用很久了。但传统的绘图方式是手工绘图,而手工绘制一幅图,特别是比较复杂和精细的图,非但技术上有一定的难度,而且费时费力,周期较长,因此图的应用也受到一定的限制。由于计算机科学的发展,引起了图形技术的深刻变革。在计算机及其外设的辅助之下,产生一幅高质量的图可以完全不依赖制作者的绘图技能,而且成图的工作效率也是人工难以与之相比的。人们梦寐以求的绘图自动化已成了现实。这种技术成就是随着新兴学科计算机图形学的发展而取得的。计算机图形学可以说是在计算机辅助之下产生图形的科学,它研究构造模型并利用计算机及其外设生成、处理、存贮、输入与输出图形的有关原理、方法和技术,为其他应用领域提供技术手段和奠定基础。当今在工业和工程技术领域中发展起来且已广泛采用的计算机辅助设计(CAD)就与计算机图形技术有着密切的天然联系,后者是前者的重要基础。因此学习和掌握计算机图形技术对于工程类技术人员来说有着十分重要的意义。

由计算机生成图形,人们必须对所关心的对象构造一个模型。所谓模型指的是描述对象的一组数学表达式或数据的组合。这些数据可以是几何的,如对象有形状、大小;也可以是拓扑的,如对象各部分之间的连接关系;还可以是对象的某些属性,如表面的色彩等物理性质。模型需存入计算机中,存贮时要尽量节省空间,并要作到存取方便、改动灵活。构造和存贮模型是计算机图形学研究的内容之一。由存贮的模型产生人们希望得到的各种图形,总体的、局部的、形象逼真的或动态的等等,需要解决有关的图学理论、算法和图形处理技术等一系列问题,这也就是计算机图形学要研究的内容。由计算机生成的图形信息,可以通过屏幕显示出图形,也可以通过绘图机把图画出来,必要时还可以将图形信息贮存到磁盘上以备日后使用。有关图形的生成与显示、存贮与输出也是计算机图形学研究的问题。在屏幕上显示图形,俗称屏幕绘图;在绘图机上画出图形,俗称绘图机绘图或图形输出。屏幕绘图和绘图机绘图都是计算机绘图要用到的绘图方式。

实现计算机绘图离不开绘图程序。直接依靠绘图程序控制而自动完成的绘图叫程序式绘图。在程序式绘图中人的意图都体现在绘图程序里,程序运行中绘图是自动完成的,人们不能在进行过程中作随机干预,要想改变图形必须修改程序。另外一种绘图方式叫交互式绘图。在这种绘图方式中,绘图程序运行后并不直接产生所要的图形,它只是提供了作图的环境和手段,具体要画什么样的图形或者要对图形作些什么修改,还要靠操作人员随机发出控制信号,绘图程序将响应这些命令去控制机器完成一定的作图或修改任务。所以,这种绘图是通过人机交互进行的。程序式绘图和交互式绘图各有各的使用场合,它们都是计算机图形学的内容。

二、计算机图形学的应用

由于计算机生成图形快速、准确、生动、省时、省力,而且计算机图形设备的价格日益降低,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日益扩大。下面举几个有代表性的应用领域:

1. 科学研究。计算机图形学大量地用于产生数学、物理和经济函数的二维和三维图形,简洁而明确地表示出函数的趋势,便于人们理解复杂的现象。

2. 计算机辅助设计(CAD)和制造(CAM)。在机械、电子、电机、土木建筑、汽车、船舶、飞机等工业部门,计算机图形学普遍用于工程设计。有些用交互式绘图设计各种对象的形状、结构;有些用于了解和检验力学的、热学的、电气的性能及优化设计;有的则用于产生施工图纸或加工零件用的数控磁带,也可用于列出零件表和材料清单。

3. 绘制勘测图形。计算机图形学也常用于绘制高精度的地理图、地质图、海洋图、天气图、各种等值线图以及人口分布图。

4. 模拟及动画。计算机制作的动画,用于表现真实对象或模拟对象随时间变化的行为,例如结构物在荷载作用下的变形或受力状态随时间的变化情况。也可用于模拟流体的流动及化学物理反应,还可用于作战指挥或驾驶的仿真训练。

5. 计算机辅助教学(CAI)。用计算机生成图形作为教学的辅助手段,可以使所讲述的概念直观、生动,提高学生的兴趣和教学效果。

6. 艺术和商业。在艺术领域,计算机图形学可用于制作动画片等。在商业上则可用于绘制各种生产、销售、库存图表,也可用于制作广告。

计算机图形学在其它方面,诸如轻工业、农业、医学等方面都有着广泛的应用。

三、关于计算机图形学学习方法的建议

学习计算机图形学要把握住两个要点:一是弄清解决问题的原理和方法;二是会编写相应的程序,掌握问题的实现技术。要重视程序设计能力的培养与锻炼,不要把会用某种已商品化了的绘图软件同真正掌握计算机图形学混同起来。那些绘图软件的研制离不开计算机图形学的原理与技术,但是用户即使不懂这些内幕也能使用它们,它们的确为用户提供了方便和效益,但从软件开发的需要来看,它们取代不了对计算机图形学的学习。

计算机图形学是理论与实践紧密联系的技术性应用学科,它的突出特点是实践性强。所有成功者的经验都告诉我们,只停留在对原理的粗浅了解上是远远不够的,必须自己动手编写程序和大量上机实践才能真正深入到这个领域。所以读者要用足够的时间和精力自己编写程序和上机运行,把实践性环节放在最基本、最重要的位置来对待。

第一章 屏幕绘图

§ 1-1 概 述

通过程序或交互操作在显示器屏幕上显示图形叫屏幕绘图,屏幕绘图是最基本的绘图手段。对应地,使用绘图机画图叫绘图机绘图(见第四章)。显示器有两种不同性质的工作环境,或叫工作模式,即文本模式和图形模式。计算机开机后自然进入的是文本模式,这种环境下屏幕上只能显示字符,不能显示图形。整屏可显示字符至少 25 行,每行 80 或 40 列。在图形模式下则既可显示图形,也可显示字符。两种工作模式可通过有关语句或函数来设定或切换。

计算机显示器是采用光栅扫描原理工作的。显示屏幕上有一条条水平扫描线,每条扫描线上有许多扫描点,这些点是形成图形与字符的基本元素,称之为像素。正是靠着这些像素的明暗和色彩变化才形成了屏幕图形和文字。由此可知屏幕上的图线和笔道实际上是由一系列的点组成的,所以屏幕图形和字符都是点阵式的。显示器提供的像素数目越多,显示出的图线就越细腻、光滑,所以人们把像素的多少叫显示器的分辨率。分辨率与硬件(显示器、显示卡)的型号和软件环境有关,从硬件上说,常见的显示器件及其最大分辨率为:

CGA: 640×200

EGA: 640×350

VGA: 640×480

在图形模式下,像素是可以控制的最小元素。要给它定位,离不开坐标系。屏幕坐标系(俗称设备坐标系)与习惯上的笛卡尔坐标系不同,它的原点在屏幕的左上角(见图 1-1),Y 轴向下为正,坐标单位是像素,原点的坐标刻度为 0;在屏幕范围内 X 轴的最大坐标刻度为 319 或 639, Y 轴的最大坐标刻度为 199 或 349 或 479。最大坐标刻度均视硬件条件及不同的图形模式而定,画图时一般总是充分利用最大可能的分辨率。

关于图形模式的设定及屏幕控制,在不同的程序语言中有不同的实现方法,这些将在后面各节中分别说明。

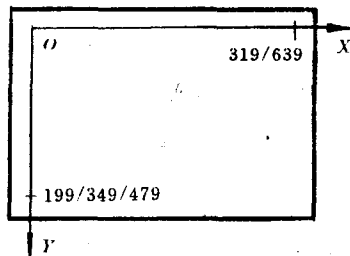


图 1-1 屏幕坐标系

§ 1-2 BASIC 的屏幕控制

本节摘要讲述 BASIC 中有关屏幕控制的语句。

1. 屏幕语句 SCREEN

作用 设定屏幕工作模式。

格式 SCREEN 〈模式〉

说明 这里只写出了基本用法。参数〈模式〉指明屏幕的显示模式,其有效取值摘录如下:

0 ——设定屏幕为文本模式。

1 ——设定屏幕为 CGA 中分辨率图形模式,分辨率为 320×200 ,4 种色彩,字符行宽为 40 列。

2 ——设定屏幕为 CGA 高分辨率图形模式,分辨率为 640×200 ,黑白两色,字符行宽为 80 列。

9 ——设定屏幕为 EGA 增强型高分辨率图形模式,分辨率为 640×350 ,16 种色彩,字符行宽为 80 列。

12 ——设定屏幕为 VGA 高分辨率图形模式,分辨率为 640×480 ,16 种色彩,它只能在 Turbo BASIC、Quick BASIC 或 MS-DOS 5.0 以上版本中的 QBASIC 环境下使用。

2. 色彩语句 COLOR

COLOR 语句用来控制色彩,它在文本模式和图形模式中的用法不同。

(1) 文本模式

格式 COLOR [〈前景色〉][, [〈背景色〉][, 〈边框色〉]]

说明 方括号表示可缺省的项目(以下皆同),参数缺省时将沿用在此以前设定过的值或系统设定的缺省值。参数〈前景色〉表示字符的显示颜色,共有 16 种颜色可选,各种色彩的代码如下:

0	黑 色	8	灰 色
1	蓝 色	9	浅 蓝
2	绿 色	10	浅 绿
3	青 色	11	浅 青
4	红 色	12	浅 红
5	绛 色	13	浅绛红
6	棕 色	14	黄 色
7	白 色	15	强 白

上述色彩码加 16,可得到相应颜色的闪烁字符。

参数〈背景色〉指明字符方块的底色,其代码取值为 0~7。〈边框色〉指明屏幕边框的颜色,色彩码取值为 0~15。EGA/VGA 不支持该参数。

(2) 图形模式

此时 COLOR 语句的格式与 SCREEN 中使用的〈模式〉参数有关:

SCREEN 1 时: COLOR [〈背景色〉][, 〈调色板号〉]

参数〈背景色〉是屏幕底色的色彩码,有 16 种颜色可选,取值 0~15。在画图时为了给图形调配颜色,有两组颜色供选用,这两个颜色组叫两个调色板,编号为 0 和 1。在使用画点、画线、画圆语句画图时,语句中的同一个色彩码在不同的调色板里对应的是不同的颜色,对应关系如表 1-1 所示。

色彩码与调色板 表 1-1

色彩码	0号调色板	1号调色板
0	与背景同色	与背景同色
1	绿	青
2	红	绛红
3	黄	白

SCREEN 2 时: 不能使用 COLOR 语句。

SCREEN 9 时: COLOR [(前景色)][,(背景色)]

参数<前景色>规定了图线及字符的缺省颜色,取值 1~15,但在 Turbo BASIC 中该参数只影响字符的颜色。参数<背景色>规定了屏幕的底色,取值 0~63。

SCREEN 12 时: COLOR [(前景色)]

参数<前景色>规定了图线及字符的缺省颜色,取值 1~15。本模式下不能用 COLOR 语句规定背景颜色。

3. 清屏语句 CLS

它将屏幕上的显示全部清除,本语句无参数。

4. 窗口语句 WINDOW

作用 设置窗口,规定用户坐标系。

格式 WINDOW [(SCREEN)](x1,y1)-(x2,y2)]

说明 屏幕坐标系规定屏幕左上角的坐标为(0,0),右下角的坐标视 SCREEN 语句所规定的模式而定,整个屏幕的坐标范围是被限定了的,这对于画图很不方便。WINDOW 语句的作用在于将屏幕设定为一个虚构大小的矩形窗口,这相当于用户从逻辑上定义了一个坐标系。关键字 SCREEN 用以表示这个用户坐标系 Y 轴的取法;写出了它表示 Y 轴方向与屏幕坐标系一致,即向下为正;不写出它表示 Y 轴向上为正。参数(x1,y1)、(x2,y2)规定窗口一对对顶点的坐标,亦即屏幕的最小最大逻辑坐标。下面是几个例子:

WINDOW SCREEN (0,0)-(1000,800)

这个例句规定坐标原点仍在屏幕左上角,Y 轴向下为正,屏幕右下角的坐标被视为(1000,800)。

WINDOW (0,0)-(4000,3000)

这个例句规定坐标系的 Y 轴向上为正,坐标原点在左下角,屏幕右上角的坐标被视为(4000,3000)。

WINDOW (-1,-1)-(1,1)

这个例句规定坐标系的 Y 轴向上为正,屏幕左下角被视为(-1,-1),右上角被视为(1,1),亦即坐标原点被设定在屏幕中央。

程序中在 WINDOW 语句之后出现的各绘图语句,其坐标参数都是相对于新坐标系的。需要特别指出,WINDOW 语句只是从逻辑上规定了坐标范围,并不是改变了象素个数,所以不要误以为该语句能改变屏幕的分辨率。

5. 行宽语句 WIDTH

作用 设置以字符列数表示的行宽,在 Quick BASIC 中还可以用它设定整屏能显示的行数。

格式 WIDTH [(列)][,(行)]

说明 参数(列)只能是 40 或 80,参数(行)只在 Quick BASIC 中能用,可为 25、30、43、50、60,视显示器型号和屏幕工作模式而定。

6. 光标定位语句 LOCATE

作用 设置光标位置。

格式 LOCATE [(行)][,(列)]

说明 参数〈行〉、〈列〉指明将光标设定到第几行第几列的位置。

7. 功能键显示控制语句 KEY ON 和 KEY OFF

在 BASICA 环境下屏幕第 25 行显示着 10 个功能键的提示,KEY OFF 可以关闭显示,KEY ON 可以恢复显示。

§ 1-3 BASIC 屏幕绘图

一、基本绘图语句

在屏幕处于图形模式下可以使用绘图语句画图。

1. 画点语句 PSET

作用 在指定位置用指定颜色画一个点。

格式 $\text{PSET}(x,y)[,<\text{色彩码}>]$

说明 参数 (x,y) 指明点的坐标。〈色彩码〉指明点的颜色,在 SCREEN 1 时取值 0~3,缺省时采用最高值;在 SCREEN 9 和 12 时取值 0~15,缺省时采用 COLOR 规定的前景色,未按规定时采用最高值,但在 Turbo BASIC 中缺省值始终用最高值。

2. 画线语句 LINE

作用 用于画直线、画方框、画方块。

格式(1) $\text{LINE}[(x_1,y_1)]-(x_2,y_2)[,<\text{色彩码}>]$

说明 该语句用来画一条直线, (x_1,y_1) 、 (x_2,y_2) 为直线的起点和终点坐标。 (x_1,y_1) 可以缺省,缺省时表示以画笔的当前位置为起点。〈色彩码〉的取值范围见画点语句的说明,下同。

格式(2) $\text{LINE}[(x_1,y_1)]-(x_2,y_2)[,<\text{色彩码}>],B$

说明 该语句用来画一矩形方框, (x_1,y_1) 、 (x_2,y_2) 为矩形的一对对顶点的坐标。 B 不是参数,是画方框的标识符,应原样书写。

格式(3) $\text{LINE}[(x_1,y_1)]-(x_2,y_2)[,<\text{色彩码}>],BF$

说明 该语句用来画一填充了颜色的矩形方块,BF 是画方块的标识符,其它参数的意义同上。

格式(4) $\text{LINE}[(x_1,y_1)]-(x_2,y_2)[,<\text{色彩码}>][,B],<\text{线型}>$

说明 该语句使用指定的线型画直线或矩形方框。参数〈线型〉是说明线型的控制码,它是把构成线型各像素的明暗用一串 16 位长的二进制数表示的数码。1 表示画点,0 表示不画点,例如 1110111011101110 表示画 3 个点空 1 个点,再画 3 个点又空 1 个点,按这个规律画下去其效果即为虚线。把数码写进语句时通常是转化成 16 进制的形式。

3. 画圆语句 CIRCLE

作用 该语句用来画圆、圆弧、椭圆及椭圆弧。

格式 $\text{CIRCLE}(x_c,y_c),<\text{半径}>[,<\text{色彩码}>][,<\text{起始角}>,<\text{终止角}>][,<\text{纵横比}>]]]$

说明 参数 (x_c,y_c) 是圆心坐标。〈起始角〉、〈终止角〉分别为弧的起点和终点处半径对正 X 方向的水平倾角,以弧度计,按逆时针方向度量;角度值前冠以负号时表示除画出圆弧外还将弧的端点与圆心连接起来;如果它们缺省,则隐含值分别为 0 和 2π 。

由于硬件的原因,像素的物理尺寸在 X 方向和 Y 方向上是不相等的,所以屏幕图形总有一些变形,按某一固定半径画出的圆其视觉效果是扁的。参数〈纵横比〉用来调整 X、Y 方向半

径的比例关系,适当选择它可以画出视觉效果好的圆或椭圆。该参数的缺省值,在 SCREEN 1 时为 0.833,在 SCREEN 9 时为 0.725,在 SCREEN 12 时很接近 1。使用缺省值能画出视觉效果较好的圆。当选用的〈纵横比〉小于 1 时,参数〈半径〉实为 X 方向的半径,此时 Y 方向的半径等于〈半径〉×〈纵横比〉;当〈纵横比〉大于 1 时,参数〈半径〉实为 Y 方向的半径,此时 X 方向的半径等于〈半径〉/〈纵横比〉。

4. 填充语句 PAINT

作用 给某一封闭区域着色填充。

格式 PAINT (x,y)[,<填充色>][,<边界色>]]

说明 (x,y)是着色区域内任一点的坐标;〈填充色〉指明用什么颜色着色;〈边界色〉指明封闭区域边界图线的颜色,当它缺省时,填充色必须与边界图线的颜色一致才能着色。

二、屏幕绘图程序的编制

屏幕绘图程序主要由三部分组成:

1. 环境设置。就是使用屏幕控制语句设置图形模式、建立用户坐标系、设定色彩、清屏、关闭功能键显示等。

2. 数据准备。就是通过输入、赋值、读取或者计算,为绘图语句准备参数。

3. 绘图操作。就是顺次编排一系列的绘图语句,描述要画的图形。

以上三项是绘图程序的基本成分。前两项在顺序上可以颠倒,后两项也可交替进行,即算画画或读读画画。但必须环境设置先于绘图操作。

三、绘图程序举例

例 1-1 阅读星星闪烁的程序 BPG1-1。

```
1 'BPG1-1
10 DIM X(100),Y(100)
20 SCREEN 1:CLS:KEY OFF
30 FOR I=1 TO 100
40 X(I)=INT(320*RND):Y(I)=INT(200*RND)
50 PSET (X(I),Y(I)),3
60 NEXT I
70 FOR I=1 TO 100 STEP 2
80 PSET (X(I)+1,Y(I)),3
90 NEXT I
100 FOR DEL=1 TO 2000:NEXT
110 FOR I=1 TO 100 STEP 2
120 PSET (X(I)+1,Y(I)),0
130 NEXT I
140 FOR DEL=1 TO 2000:NEXT
150 IF INKEY $="" THEN 70
160 SCREEN 0:WIDTH 80:END
```

解 行 20 是环境设置;行 30~60 利用随机函数计算 100 对坐标,并利用这些数据画 100 个点,这属于边准备数据边绘图操作的写法;行 70~90 对 100 个点中的 50 个在其右边一个象素的位置增补画点,构成了星空画面;行 110~130 再用背景色去画刚才增补的 50 个点,其效果是擦去了那些点,给人一种星星闪烁的感觉;行 100 和 140 是空循环,目的是延长时间,循环次数的多少可视所用机器的运行速度作适当调整。INKEY\$ 是个扫描键盘缓冲区的函数,行 150~160 的意义是如果未击键就不停地循环,击了任何键后则停止运行并使屏幕恢复到 80 列文本状态。

例 1-2 根据已知顶点的坐标画五角星(图 1-2)。

解 将已知坐标数据写在 DATA 语句里,用 READ 语句往 X、Y 变量中读,边读可以边用来画图,BPG1-2 是编写的程序,其中行 10~20 是环境设置。

```
1 'BPG1-2
10 SCREEN 9;CLS;KEY OFF
20 COLOR 2,3
30 READ X,Y
40 PSET (X,Y)
50 FOR P=1 TO 5
60 READ X,Y
70 LINE -(X,Y),4
80 NEXT
90 IF INKEY$="" THEN 90 ELSE SCREEN 0;END
100 DATA 424,130,240,240,309,70,381,240,196,130,424,130
```

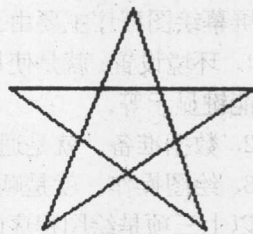
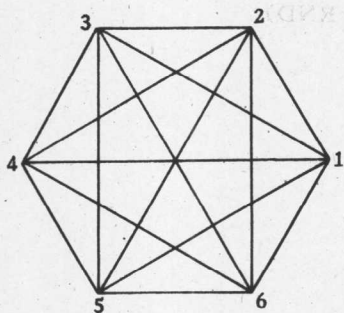
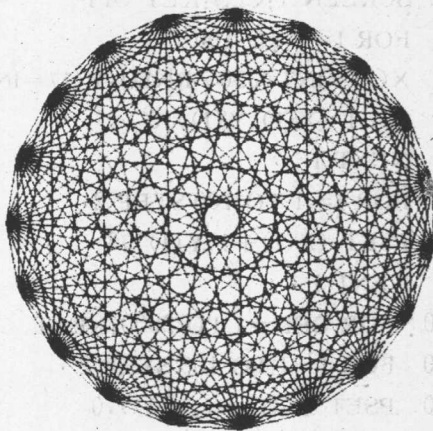


图 1-2 五角星

例 1-3 把正 N 边形的每个顶点与其他各顶点连接起来,例如把 1 号点和 2、3、4、5……各点相连,把 2 号点和 3、4、5……各点相连等等(见图 1-3 a),得到一个如图 1-3 b 所示的金刚石图案



(a)



(b)

图 1-3 金刚石图案

石图案。试编写相应的绘图程序。

解 正 N 边形的顶点可由 N 等分圆周得到, 设圆的半径为 R , 则各等分点对圆心的坐标计算通式为:

$$x_i = R \cos \left((i-1) \cdot \frac{2\pi}{n} \right)$$

$$y_i = R \sin \left((i-1) \cdot \frac{2\pi}{n} \right)$$

根据题意写出画金刚石图案的程序 BPG1-3 如下:

```
1 'BPG1-3
10 SCREEN 9;COLOR 7,2;CLS;KEY OFF
20 INPUT "Input number of the sides";N
30 CLS
40 DIM X(N),Y(N)
50 R=200;TH=2*3.14159/N
60 FOR I=1 TO N
70 C=COS((I-1)*TH);S=SIN((I-1)*TH)
80 S=S*.72
90 X(I)=320+R*C;Y(I)=175-R*S
100 NEXT I
110 FOR I=1 TO N-1
120 FOR J=I+1 TO N
130 LINE(X(I),Y(I))-(X(J),Y(J)),4
140 FOR D=1 TO 100;NEXT
150 NEXT J,I
160 IF INKEY$="" THEN 160 ELSE SCREEN 0;END
```

例 1-4 编写一道用不同线型连续画 16 个矩形(见图 1-4)的程序。

解 线型码 &HFFFF 代表实线, 连续减小该数, 可得到不同的线型。根据题意写出程序 BPG1-4 如下:

```
1 'BPG1-4
10 SCREEN 9;COLOR 1,5;CLS;KEY OFF
20 FOR I=0 TO 80 STEP 5
30 X1=320-I;Y1=175-I*2/3
40 X2=320+I;Y2=175+I*2/3
50 LINE(X1,Y1)-(X2,Y2),14,B,&HFFFF-I
60 FOR D=1 TO 500;NEXT
70 NEXT
80 IF INKEY$="" THEN 80 ELSE SCREEN 0;END
```

例 1-5 屏幕中央有一半径为 $R_1=140$ 的大圆, 圆内均匀分布着 24 个和大圆相切的小