

计算机绘图技术

谢兆学 陈国忠 章昱卿 编著
胡文伟 范永利 卞 樽



上海交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机绘图技术/谢兆学等编著. —上海:
上海交通大学出版社, 1999(2002 重印)
ISBN7-313-02288-3

I. 计... II. 谢... III. 自动绘图 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41393 号

计算机绘图技术

谢兆学等 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市华通印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.25 字数:424 千字

1999 年 9 月第 1 版 2002 年 7 月第 2 次印刷

印数:7 001~10 050

ISBN7-313-02288-3/TP·404 定价:23.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

近年来,计算机的发展很快,计算机绘图的应用越来越广泛,促进了计算机绘图技术的发展和提高,新的绘图软件不断推出。为了尽可能反映当前计算机绘图的发展水平,进一步普及和提高计算机绘图技术,我们重新修订了《计算机绘图》,并改名为《计算机绘图技术》。

本书在结构上分为五大部分:程式化绘图、交互式绘图、图形变换、几何造型以及多媒体的知识。全书共9章3个附录。第一部分包括第(1~5)章:第1章概论,介绍计算机绘图系统及图形生成的原理——插补原理;第2章介绍绘图软件的编制及用FORTRAN语言编程绘图;第(3,4,5)章分别介绍Turbo C, Quick BASIC, Turbo Pascal语言的基础知识,为后面用相应语言编程绘图作好准备,使没学过算法语言的学生,学后能很快掌握基本方法并用以编制绘图程序,每章后面一、两节介绍相应语言的绘图函数以及如何进行绘图程序的设计。如果学时数不足,建议先选学第3章用C编程绘图的内容。第6章为第二部分,介绍二维、三维图形变换的基本原理及程序设计。第7章为第三部分,介绍目前广泛应用的交互式绘图软件——AutoCAD的有关概念、常用命令、图样输入与输出、菜单设计。虽然AutoCAD的版本不断更新,界面在变化,但其基本命令是不变的,因此本书仅限于介绍AutoCAD最基本的内容。掌握这些内容便能很快熟悉新版本,绘制出一般工程图样。第8章为第四部分,介绍几何造型的基本概念和原理。几何造型是计算机绘图技术的一个重要内容。基于广大用户的计算机条件,书中还介绍了三维造型软件3DS MAX的一些知识。第9章为第五部分,介绍多媒体技术与图形的应用,以便读者了解图形、文字、声音、图像之间有机结合的有关原理与技术。

为便于上机操作,书后附设三个附录,附录I介绍一些常用的DOS命令,附录II对Turbo C的操作作了简要说明,由于Quick BASIC及Turbo Pascal的操作及界面与Turbo C相类似,因此作了省略。附录III为AutoCAD常用键的功能。书后附有少量习题,主要为三种类型:编程、交互式绘图及图形变换,供学生练习。书中程序均调试通过。

本书由谢兆学主编,参加编写的有:谢兆学(第(1,2,3,7)章,6.5节,习题及附录I和II),陈国忠(第4章,7.1节7.2节部分,7.3节及附录I),范永利(第5章),卞樽(第6章),胡文伟(第8章),王建锐(8.5节),章昱卿(第9章)。全书插图均用计算机绘制,线框图大部分由袁国华绘出。在本书编写过程中,得到很多老师和同学的热情帮助,在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限,错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

1998年7月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 计算机绘图的发展与应用.....	1
1.2 计算机绘图系统.....	2
1.3 插补原理.....	8
第 2 章 绘图软件与 FORTRAN 程序设计	16
2.1 绘图语句与图形显示方式	16
2.2 FORTRAN 绘图软件的设计与调用	18
2.3 平面图形程序设计	25
第 3 章 C 语言基础与图形程序设计	31
3.1 C 语言概述	31
3.2 C 语言的符号与规定	32
3.3 输入与输出	36
3.4 C 语言的控制语句	39
3.5 函数、数组与指针.....	43
3.6 文件的写与读	47
3.7 C 语言图形屏幕设置	52
3.8 绘制图形的函数及应用	58
第 4 章 BASIC 语言与图形程序设计	71
4.1 BASIC 语言概述	71
4.2 Quick BASIC 程序设计初步.....	72
4.3 标准输入与输出	78
4.4 QBASIC 控制语句	80
4.5 函数与过程	84
4.6 数据文件	86
4.7 QBASIC 图形屏幕设置	91
4.8 基本绘图语句与图形程序设计	95
第 5 章 Pascal 语言与图形程序设计	106
5.1 Pascal 语言概述	106
5.2 基本字符集和可用标识符.....	107
5.3 语句.....	112
5.4 Pascal 图形程序设计	117
第 6 章 图形变换与程序设计	128
6.1 矩阵的基本知识.....	128
6.2 二维图形变换矩阵.....	130

6.3	三维图形变换	137
6.4	正投影视图和轴测投影变换矩阵	142
6.5	三视图及轴测图程序设计	151
第7章	用交互式 CAD 软件绘图	159
7.1	AutoCAD 绘图软件概述	159
7.2	AutoCAD 绘图的初始化设置	168
7.3	AutoCAD 常用命令介绍	175
7.4	图形的输入与输出	210
7.5	AutoCAD 的菜单设计	214
第8章	三维几何造型技术	223
8.1	三维几何造型的基本知识	223
8.2	线框造型	224
8.3	曲面造型	226
8.4	实体造型	229
8.5	三维动画技术	231
8.6	三维造型软件 3DS MAX 介绍	232
第9章	多媒体技术与图形的应用	238
9.1	概述	238
9.2	音频	240
9.3	视频、数字视频	243
9.4	动画	245
9.5	图像	246
习题		248
附录 I	常用的 DOS 命令简介及联网操作	252
附录 II	Turbo C 上机操作	258
附录 III	AutoCAD 常用键的功能	267
参考文献		268

第 1 章 概论

计算机图形学(Computer Graphics,缩写为 CG)是一门研究用计算机来显示和绘制图形的新学科。为了让读者对计算机绘图有个大概的了解,本章简要介绍计算机绘图的发展与应用,计算机绘图系统的硬件和软件,以及图形形成的基本原理。

1.1 计算机绘图的发展与应用

自从 20 世纪 40 年代研制出了世界上第一台电子计算机以来,由于计算机处理数据速度快、精度高,引起了各国的重视,纷纷投入人力物力,研制新的计算机,以及处理图形的软、硬件。

1950 年美国麻省理工学院研制出了第一台图形显示器,作为旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的输出设备,既可显示出一些简单的图形,也可用来摄制照片。这种显示器为一个阴极射线管(CRT),类似示波器的示波管。到了 50 年代中期,麻省理工学院在旋风 I 号计算机上开发了 SAGE 空中防御系统,第一个用光笔直接在显示屏幕上标识目标。50 年代是计算机的发展初期,计算机绘图还处于研究的阶段。

60 年代是交互式图形技术诞生与应用的阶段。1963 年麻省理工学院的伊凡·萨泽兰(Ivan Sutherland)发表了一篇博士论文:“Sketchpad: 人机对话图形系统”,为现代交互式图形学奠定了基础。人们借助这个技术,可以使用键盘和光笔与计算机的交互作用,在显示屏上编制图形。60 年代中期起,几个先进工业国对计算机绘图开展了大规模的研究,使计算机图形学进入了迅速发展和广泛应用的新阶段。

70 年代,交互式绘图系统在许多国家已广泛应用。80 年代,随着高性能的计算机陆续问世,绘图软件也不断地更换新的版本,而且功能也在不断完善,从而对各国经济的发展起了很大的促进作用。

我国大约从 60 年代中期开始研究计算机图形设备。90 年代以来,随着计算机的开发与应用,计算机绘图这一先进的新技术已被越来越多的部门所采用。我国已能研制出高性能的计算机(如“银河”系列计算机)及图形设备。相信随着计算机绘图的普及和发展,必将在我国国民经济建设中发挥更大的作用。目前,计算机绘图主要的应用领域有如下几个方面。

1. 计算机辅助设计(CAD: Computer Aided Design)

使用计算机来辅助进行任何零件、部件和产品的设计时,通常与计算机辅助绘图是分不开的,所需要的图形可以通过编制程序或交互式图形显示来设计。CAD 系统的种类很多,可以是机械、电子电气、建筑工程、船舶、航空、服装 CAD 等等。

计算机辅助制造(CAM: Computer Aided Manufacturing)与计算机绘图也是有一定关系的。CAM 是一种包括了设计过程、模拟加工、生成数控代码并且最后通过计算机控制工具机制

造零件的先进方法。CAM 应用了 CAD 的结果。

2. 绘制图表

可以用计算机绘制出高质量、高精度的图形、图表,如地图、海洋图、气象图、等高图、统计图等等。

3. 仿真与动画

利用计算机来制作电影、电视动画片,以反映真实物体或模拟物体随时间变化的规律。制出的动画不但质量很高,还可以减少手工编制动画的步骤,节约制作费用,加快生产动画片的周期。

对于一些科学现象的研究,可以通过把现象发生的变化数字模拟化,用计算机动态地显示图形,这就是人们常说的仿真技术。例如可以用计算机模拟训练的环境,对汽车驾驶员、飞行员、宇航员进行训练。这种模拟训练能产生一种身临其境的真实感,既能保证初学者的安全,又能节约训练开支。

此外,在娱乐、电子游戏机中也常见这种应用。

4. 计算机辅助教学(CAI:Computer Aided Instruction)

在教学中,用计算机图形显示设备,用动画或仿真方法进行学习、研究,可以把抽象的概念形象化,使学生易于理解和接受。

5. 过程控制

利用人机交互系统,实现人与被控制对象之间的相互作用。计算机通过相连的监测设备采集数据,并在显示屏幕上以图线的形式,显示出过程的变化,帮助人们检测故障或实现最佳控制。

6. 其他

计算机绘图还可用于艺术、商业上的广告、办公室自动化中,把有关信息用图形形象地加以显示。

1.2 计算机绘图系统

实现计算机绘图,需要具备一套计算机绘图系统——包括硬件系统和软件系统两大部分。下面简单介绍这两部分的组成和作用。

1.2.1 计算机绘图系统的硬件

计算机绘图系统的硬件部分主要有:计算机系统(主机、键盘、显示器)、输入设备(如鼠标器、数字化仪、扫描仪)和输出设备(图形显示器、绘图机、打印机)等。

1. 计算机——主机

它是计算机绘图系统的核心部分。其作用是接受输入设备传来的信息,经过处理后,由显示器或绘图机输出图形。计算机的类型很多,大致可分为微型机、超小型机、小型机及大型机。微型计算机简称为微机,价格相对比较便宜,工作环境要求不很高,所以目前被广泛地应用在各行各业,甚至家庭中。为便于初学者较好地掌握微机的使用,下面对常用的微机作扼要的介绍。

常用的有:IBM 系列微机,COMPAQ,AST,国产微机如东海系列微机、长城系列微机等等。人们常说的 PC 机,是指个人用的计算机(Personal Computer),这类微机运算处理的字长一般为 16 位或 32 位。

用作图形处理的计算机,对 CPU、主频率、内存、存储器、显示卡内存等都有一定的要求。

(1)CPU 微机对信息的接受、处理、输出,是通过一个叫做中央处理器(CPU:Center Processor Unit)的芯片来完成的。CPU 的性能越高,意味着计算机处理信息的速度越快,功能也就越强。IBM 公司 1981 年开发的 IBM-PC 微机,它的中央处理器为 Intel 8086。这几年,计算机发展很快,CPU 的级别不断提高,80286,80386,甚至 80486 已被淘汰,代之以 Pentium, Pentium-pro, Pentium- II 等有代表性的 CPU,并且还不断推出新型号。

(2)内存 微机的基本内存容量一般为 640KB(1K=1024 字)字节,目前市售机根据用户需要,配上的扩展内存可以是 8MB,16MB,32MB,64MB 或更高。用计算机处理比较复杂的图形时,图形的数据量很大,尤其是用交互式软件绘图,特别是三维造型时,图形系统本身已占去内存中相当大一部分位置,因此,内存越大,则绘图速度越快。

(3)存储器

①软盘与软盘驱动器 微机上通常装有一个或两个软盘驱动器,叫做 A 盘、B 盘,用符号“A:”、“B:”表示,使用的软盘直径大小为 5 英寸或 3 英寸。一张 5 英寸的双面高密度软盘可存 1.2MB 的信息,而 3 英寸可存 1.4MB。由于 3 英寸软盘体积小,便于携带,因此使用比较广泛。三、四幅画有四五十个零件的装配图(A1 图纸大小)的信息,用一张磁盘就可以存下来。目前微机一般只需配一个 3 英寸的软盘驱动器就可以了。

②硬盘 绝大多数微机配置硬盘驱动器。硬盘用符号“C:”表示。硬盘是表面覆盖着一层氧化铁涂层的铝制圆盘,若干张圆盘互叠在同一根轴上,读写磁头悬浮在其表面,磁头与盘面间隙约为 $5\mu\text{m}$ 。在使用硬盘驱动器时,应注意防止振动或碰撞,因为磁头仅能承受大约 20g 的力冲击,较容易损坏。平时用机应正常退出,使磁头移到盘的边缘。

③CD-ROM 目前计算机一般都配备光盘驱动器 CD-ROM(Compact Disk-Read Only Memory),这是一种只读光盘存储器。一张光盘可存储几百兆(MB)字节的数据。光盘驱动器的速度从几倍到十几倍或更高倍速,目前较高的是 24 倍速。倍速越高,读的速度就越快。可读写的光盘驱动器由于价格较高,目前使用的还不多。

(4)图形工作站 专门用作图形处理的计算机系统叫做图形工作站。与一般计算机相比,工作站的特点是:CPU 性能好,常置多个 CPU,内存大,配有专门的图形发生器与处理器,处理数据速度快,并有专用的图形工作站软件。随着计算机的发展,微机配置的提高,工作站软件的微机化(一些在工作站上运行的软件已能在微机上应用),微机与工作站之间的差别正在逐步缩小。当然,工作站还有其他特有的优势,在此不一一介绍。

(5)操作系统 计算机的操作与管理通过操作系统来进行,目前常用的操作系统有磁盘操作系统和 Windows 操作系统。随着计算机软件的发展,Windows 操作系统用得越来越多。

2. 图形输入设备

除了键盘(Keyboard)可作为输入设备外,常见的图形输入设备还有光笔(Light pen)、鼠标(Mouse)、数字化仪(Digitizer)、图形输入板(Tablet)、扫描仪(Deskscan)等。它们的作用是将用户的图形数据、各种命令转换成电信号,转送给计算机,处理的结果在显示器或绘图机上转换成图形。

(1)鼠标器(Mouse) 常见鼠标器的外形是一个小盒子(见图 1.1),通过导线 B 与计算机连接。由于外观上像只老鼠,所以又叫老鼠定标器或鼠标。盒内装有 2 个走轮或 1 个球形走轮,盒上设置有 2 只或 3 只按键或开关 A。大多数鼠标器采用球形走轮。操作时,使球形走轮在任意平面上运动,从而控制光标在显示屏上作相应移动。按键开关起控制的作用。通过移动鼠标器控制光标,直接在显示屏上对图形定位、拾取图形或选择命令等。

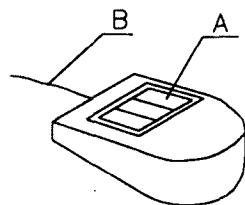


图 1.1 鼠标器

使用鼠标器前,在 DOS 环境下,应先运行鼠标器驱动程序(如 Mouse. exe),并设置相应参数,可把驱动程序放在自动启动的批文件中运行(鼠标器出厂时,一般都附有驱动程序盘及使用说明);在 Window 环境下,将自动检测鼠标器设备,并驱动相应软件。由于鼠标器价格便宜,使用方便,所以很多计算机绘图系统都配置鼠标器。

(2)数字化仪(Digitizer) 坐标数字化仪又称为数字化仪。它的作用是控制光标,选择命令或复制图形时的定位。常用的有全电子式数字化仪。从外形上看,它由平板 C 和选图笔(或者带有十字的游标 D)两部分组成,见图 1.2。平板 C 是利用电磁感应原理来制造的。平板在 X、Y 方向上装有许多平行的网格导体,每两条间距大约为 $200\mu\text{m}$ 。图中右边放大图为游标器。

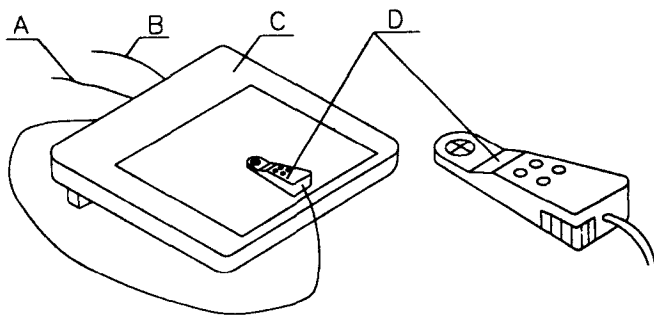


图 1.2 数字化仪

游标盘 D 上一般有四个按键,盒内装有感应线圈。在与计算机接通(通过 A),并经过有关参数配置后,当把游标在平板上移动到某处时,按一下游标上的某一个按键开关,线圈中便有交流信号,在游标的十字叉处产生电磁场,使平板上产生感应电流,通过有关线路检测转换,得

出平板上十字线处的坐标位置,然后传送到计算机处理。图中 B 接电源。

在应用交互式绘图软件复制图形时,把图纸放在平板上进行有关配置,就可以通过选图笔或游标,把图“描”到计算机中去。由于数字化仪使用方便、精度高,所以在计算机绘图系统中被广泛采用。

数字化仪主要用在交互式绘图系统中。当第一次把它与计算机连接使用前,应先按数字化仪所附说明书要求,拨动数字化仪底板上的某些开关进行设置,然后运行交互式绘图软件,如使用 Auto CAD 绘图软件时先对数字化仪进行配置(如类型、分区等等)。若配置正确,在平板上移动游标时,显示器上的光标也随之作相应移动。

由于数字化仪通过平板输入图形或命令,所以不少人又把数字化仪称为图形输入板(Tablet)。

(3)光笔(Light pen) 光笔在图形显示器中用作输入设备,是直接和显示器联系而使用的工具。它的作用是在显示器上对图形定位(拾取),或选择图形、命令,还可以用光笔拖动光标在屏幕上移动,从而在屏幕上实现图形编辑。

(4)扫描仪(Deskscan) 扫描仪的作用类似复印机,可以复印图或文,不同的是:复印机用复印纸直接输出图文,而扫描仪则把图、文转换成位图文件,存入计算机,用有关软件处理,从显示器、打印机或绘图机输出。

3. 图形输出设备

图形可以用图形显示器来显示,或通过绘图机、打印机输出。

(1)图形显示器 图形显示器是用阴极射线管(CRT)作为显示器,加上控制电路组成的。CRT 的基本结构如图 1.3 所示。它包括电子枪(由 1——灯丝、2——阴极、3——控制栅、4——加速板、5——聚焦系统组成),6——偏转线圈,7——荧光屏。

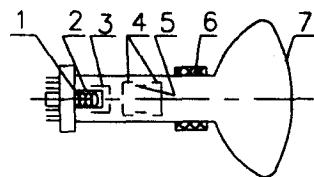


图 1.3 CRT 的基本结构

CRT 的工作原理是:电子枪发出的高速电子束(其光点直径一般为 0.2mm),经过偏转线圈 6 打到荧光屏 7 上,使荧光屏发光。当偏转线圈上的控制电路收到计算机发来的 X、Y 方向的偏转(即水平偏转或垂直偏转)信息时,便控制电子束在荧光屏指定位置上运动,使屏幕显示出发光的图形或字符。

显示器上图形的清晰程度是由显示器的分辨率决定的。分辨率用屏幕横向的像素点——荧光屏上能发光的横向像素点(列数)和竖向的像素点(行数)表示,如 320×200 , 640×200 , 1024×768 。点数越密、分辨率越高,显示的图线也就越细、越清晰。

在实际应用中,广泛地使用彩色图形显示器,如 VGA。一般微机所用的显示器,既可以显示字符,又可以显示图形。如果条件允许,用一台字符显示器显示字符,另配置一台彩色图形显示器专门显示图形,绘图的效果会更好。

(2)绘图仪 绘图仪又叫绘图机,是计算机绘图系统常用的图形输出设备。常见的绘图机有两类:滚筒式(或卷筒式)和平台(或平板)式。前者又分为笔式和喷墨式两种。

①平台式绘图机:平台式绘图机的结构示意图如图 1.4 所示。主要包括:图板 1、横梁 2、导轨 3,横梁上装有笔架 4。图板的有效绘图面积最小为 3 号图纸大小(420×297),大的长度可达

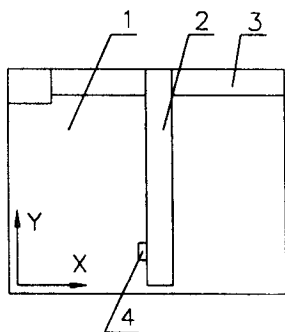


图 1.4 平台式绘图机示意图

十几米。绘图时，把图纸平铺在图板上，用吸铁片固定图纸。平台式绘图机内还装有两台电动机。工作时，一台电动机带动横梁 2 在 X 方向上左、右移动，另一台电动机负责带动笔架 4 沿着横梁在 Y 方向上移动，从而带动笔在图纸上绘出图形。

笔式绘图机主要的技术指标包括：

速度：落笔时的绘图速度。绘图机一般都具有几档速度供选择（通过软件设置）。

步长：又称步距，是指电动机接收到计算机送出的一个电脉冲后，即转过一个角度，相应地笔就沿 X 或 Y 方向移动一步，这一步的长度称为步长。步长越小，绘图越精确。绘图机的步长一般为 0.01mm~0.1mm。

笔数：有单支和多支（如 8 支）两种。图线的粗细和颜色由笔决定。

抬落笔速度：每秒钟抬笔、落笔的次数。一抬一落为一次。

绝对精度：指笔在 X 或 Y 方向上移动 N 个步长后，指定距离与实际移动距离的差之绝对值，称为绝对精度。

距离精度：当笔在 X 或 Y 方向移动一定距离后，返回初始位置时，与初始位置间的距离，称为距离精度。

重复精度：重复绘制（或称跟踪）指定图形时，两者之间的偏差距离称为重复精度。

平台式绘图机优点是精度高，有效绘图面积大；缺点是由于移动的部件（如横梁）有一定重量，惯性较大，所以相对于滚筒式绘图机来说，速度较低，另外占地面积也比较大。

② 滚筒式绘图机：图 1.5 所示为滚筒绘图机的示意图，它主要由滚筒 1、笔架 2、导轨 3 组成，图纸 4 卷在滚筒上。工作时，它通过两个电动机来驱动：一个电动机带动滚筒 1 转动，通过压轮 5 使图纸 4 一起转动，图纸运动的方向为 X 方向。另一个电动机带动笔架 2 沿着导轨 3 向左或右（Y 方向）移动，当落笔时，就可以在图纸上绘出图形。

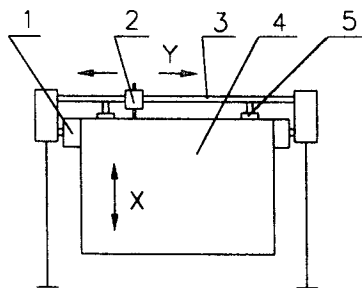


图 1.5 滚筒式绘图机示意图

滚筒式绘图机的结构简单，绘图速度高，其有效绘图面积在宽度（Y）方向上最大可画 A0 号图纸大小，但长度方向（X 方向）可以按需要加长，因此可连续绘制几十米长的图形。

③ 喷墨绘图仪（机） 喷墨绘图仪有单色（黑色）和彩色两种。喷墨绘图仪绘图的速度比笔式绘图机快。在外形结构上与笔式滚筒绘图机相似。不同的是，笔架在喷墨绘图仪中被喷头所代替。彩色喷墨绘图仪的喷头通常有 4 个：分别可喷红（Red）、绿（Green）、蓝色（Blue）和黑色（Black），前三色用英文单词头一个字母表示为：RGB，通过 RGB 的组合可产生多种颜色。如果只绘制黑色图线，宜通过软件设置，使用 Black 颜色，这样可节省 RGB 彩色喷头的墨水，因为 RGB 喷头的价格较贵。绘图时，喷墨绘图仪的滚筒只向一个方向转动，“吐出”图纸。喷墨绘图仪绘图的速度较快，而且能绘各种色彩丰富、图线粗细各

异的图形、图像(如放大的照片),因此使用越来越广泛。

在使用绘图机时,应根据要求进行设置。例如在运行 Auto CAD 绘图软件,用滚筒式绘图仪输出图形时,应进行两个设置:一个是在计算机上设置,内容包括绘图机类型、绘图区域、图纸大小、图线对应的笔号等;二是在绘图机上设置。一般在滚筒式绘图仪上都装有液晶显示的选择装置,并有几个触摸式开关,轻按某一个,液晶显示器上便有字符显示。一般需设置的项目有:图纸大小、速度选择等等。设置完毕,自动校验走纸情况。如果设置正确,液晶上显示出信息,再按一下等候绘图的键,然后到计算机上执行绘图程序,绘图机就快速地进行绘图了。

(3)打印机 对要求不高的图形,可以用打印机输出。打印机有针式、喷墨式和激光打印机之分,激光打印机输出的图形质量较高,通常只能输出 A4 大小的图纸。

1.2.2 计算机绘图系统的软件

1. 绘图软件与绘图机的关系

绘图软件是用算法语言编写的、具有各种绘图功能的子程序的集合,通常又叫做绘图子程序系统或绘图软件包。一个绘图软件包只能与某些型号的绘图机连接使用。由于一般的绘图机在出厂时,都配有一套能绘制基本图形的命令(子程序),如画直线、圆弧、写字符,并固化在绘图机内。另外绘图机内还有一个处理器(相当于一个小计算机),此类绘图机有时称为智能绘图机。只要用高级语言调用这些子程序编成主程序,即可以绘图。因此一些绘图软件是基于绘图机建立的绘图软件与硬件无关,它通过接口软件(驱动程序)与设备连接。

2. 绘图的基本方法

用绘图软件绘图的方法有两种:一种方法是通过编程序,然后进行编译、连接、运行(输出图形)等几个步骤,如果图形有错误,则修改源程序,重复原来的几个步骤。这种方法称为编程式绘图,或被动式绘图法。编程序法常用来绘制有一定数学模型的图形,如曲线函数的图形,有规律的运动轨迹等等。虽然编程序比较麻烦,但由于它比较适合科学设计、运算及开发扩充软件,所以科技人员应学会应用。另一种方法是交互绘图法。它应用交互式绘图软件的命令,直接在显示屏幕上编辑图形。用这种方法绘图灵活、方便,在机械、电气、建筑、服装等 CAD 中已得到广泛应用。这两种方法各有长处,因此对于研究 CAD 的工程技术人员,都应掌握。

3. 绘图软件的有关术语

(1)当前笔位:准备绘制下一图线前,笔(或光标)所停留的位置(用 X、Y 坐标表示)。

(2)图板坐标:绘图机上绘图平面的坐标,对平台式绘图机来说,坐标系的原点在图板有效绘图平面的左下角,X 轴在横方向上,Y 轴在竖向上。对于滚筒式绘图机,坐标系的 Y 轴平行于滚筒的轴线方向,图纸滚动的切线方向为 X 轴方向。坐标系的原点按绘图机的不同配置来定。

(3)绝对坐标:在坐标系中,某点对于坐标系原点的坐标 X、Y。

(4)相对坐标:在坐标系中,绘图时后一点相对于前一点的坐标增量。

(5)抬笔:由某一点移笔到另一点时,不画出图线。

(6)落笔:移动笔的位置时,画出图线。

在本书中,所有坐标及线性长度单位为 mm 时,均省略不注。

4. 关于绘图软件的标准化问题

由于不少绘图软件都是研制单位在各自不同的计算机上,用不同的语言,并根据所配置的输入输出设备编制出来的。如果要在另一种设备(如换一种型号的绘图机)上使用该软件,就必须修改程序,或编制接口程序,使之能驱动所用的绘图机绘图,这个过程就是人们常说的移植软件。软件移植的工作量往往是不小的,因此应考虑绘图软件的标准化问题。

绘图软件的标准化,目的主要是解决图形软件的可移植性问题。应使所研制的图形软件都可以在不同的主机上运行,与输入输出设备没有关系,并可用任一种高级语言调用图形功能子程序,即与主机、设备、语言无关。在使用不同设备时,只要运行相应驱动程序即可。这样的软件,能给用户带来极大的方便。

从 70 年代中起,国际上着手研究图形标准化问题。下面介绍有代表性的两个图形系统软件标准:

(1)GKS 图形核心系统(Graphics Kernel System):GKS 是法国标准化局订的图形软件标准,它采用了虚拟设备接口、虚拟显示文件及工作站的概念,受到重视。经过修改和补充后,1982 年国际标准组织正式通过将 GKS 作为计算机二维图形软件包的国际标准草案。1985 年国际标准组织(ISO)公布 GKS 的二维正式文本 ISO7942 并作为国际图形标准。目前三维标准正在拟订中。

(2)CORE 核心图形系统(Core Graphics System):它是美国图形标准规划委员会(GSPC)1979 年公布的,这是一个三维的图形标准,目前已为不少计算机图形系统(如 Sun 工作站)所采用。

当前我国不少单位正在研究采用 GKS 标准及 GKS 的汉化问题。

1.3 插补原理

在显示屏幕或绘图机上,直线、曲线是如何画出的呢?这是如何生成图线的问题。上一节已提到,绘图机在工作时,是由两个电动机的配合动作来完成绘图任务的。当绘图机接收到计算机输来的一个信号(一个脉冲)时,电动机就使笔在 X 方向或 Y 方向上走一个步长。如果落笔,就画出一段长度等于一个步长的直线段。若画任意一方向的直线或曲线,则只能用阶梯状的折线来逼近理想的位置了。屏幕上直线和曲线的显示也是用类似的方法形成的。显示图线就像用“笔”画一样,使接近理想线位置的像素点亮起来。

由于实际绘出的线与理想位置之间总有一定偏离(偏差),为了使偏差尽可能小,可以通过减小绘图机的步长,或者选用适当的走步方向的方法来解决。根据已知条件,采用一定的运算方法,计算与控制笔尽可能沿着理想位置走步画线的方法,称为插补法,或插补原理。插补原理有许多种,如逐点比较法、正负法等。

逐点比较法:在绘图过程中,根据笔位与理想线的相对位置,决定笔的走向,然后移动一步,反复进行,直到终点为止。也就是,每走一步,都要把当前位置与理想位置进行一次比较。它的插补步骤大致如下:

(1)建立偏差函数:可由直线或曲线的函数表达式推导出偏差表达式。

(2)规定走向:当“笔”处在图线理想位置上或偏离时,规定笔应沿 X 还是 Y 轴移动,沿正向还是负向进行。规定走向有时又叫进向选择。

(3)偏差差别:笔走一步后,根据偏差函数表达式,计算出偏差函数值,并根据偏差值的符号(正、负或零),判断当前笔位偏离理想的位置,以确定笔下一步的走向。

(4)终点判别:笔每走一步后,都要判断是否已到达终点。终点判别以笔沿 X 向或 Y 向的走步数为依据,它可以用 X、Y 方向的总步数,也可以用 X、Y 方向走步数中最大者表示。当沿作为计算终点差别方向的轴向,每移动一步时,终点判别数均应减 1,直到到达终点。例如,由原点(0,0)到点 A(0.4,0.5)画直线,设步长为 0.1,则沿 X 方向应走 4 个步长,Y 方向走 5 个步长,因此应选 Y 方向 5 作为终点判别数。若选 X 方向的 4,则画出线的终点位置与理想线的位置偏差就比较大。应注意,在画 45°线时,虽然 X、Y 方向的所走步长数是相同的,但并不能任意选择,否则将会走失一步。直线在一、三象限应取 Y 方向,二、四象限应取 X 方向。

下面以绘制直线和圆弧为例,具体说明逐点比较法的插补过程。

1.3.1 直线插补

设由原点 O 到点 A(x_0, y_0)画直线,见图 1.6。

1. 求直线的偏差函数

直线的方程为

$$\frac{y}{x} = \frac{y_0}{x_0}, \quad x_0 y - y_0 x = 0.$$

令

$$F = x_0 y - y_0 x,$$

即得到直线的偏差函数。其中 x, y, x_0, y_0 的单位均为步长。若 A 点在其他象限内,偏差函数式都是相同的。

2. 规定走向

由于直线把坐标平面分为两个区域三个部分,即直线本身、直线的上方及下方,“笔”的走向决定只与函数值的符号有关。我们先研究在各区域中偏差函数的符号,再根据符号规定走向。

(1)偏差函数的符号:设点 $A_1(x_1, y_1)$ 是直线上的任一点。

在第一象限,设点 $A_2(x_1+1, y_1)$ 在 A_1 右方一个步长处,点 $A_3(x_1, y_1+1)$ 在 A_1 上方一个步长处,见图 1.7。这三点 A_1, A_2, A_3 处的偏差函数分别是 F_1, F_2, F_3 :

$$F_1 = x_0 y_1 - y_0 x_1 = 0 \quad (\text{由直线方程得到})$$

$$F_2 = x_0 y_1 - y_0 (x_1 + 1) = x_0 y_1 - y_0 x_1 - y_0 = F_1 - y_0 = 0 - y_0 < 0 \quad (\text{因为 } y_0 > 0)$$

$$F_3 = x_0 (y_1 + 1) - y_0 x_1 = x_0 y_1 - y_0 x_1 + x_0 = F_1 + x_0 = 0 + x_0 > 0 \quad (\text{因为 } x_0 > 0)$$

可见,在第一象限内:直线上 $F=0$;直线上方 $F>0$;直线下方 $F<0$ 。用同样方法,可以确定直线在其他象限时,偏差函数值 F 的符号,如图 1.8 所示。在直线上均为 $F=0$ 。

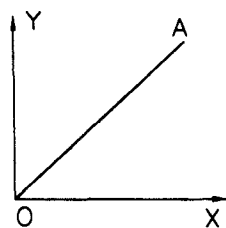


图 1.6 直线

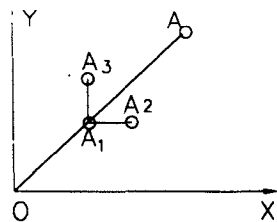


图 1.7 偏差函数符号的判别

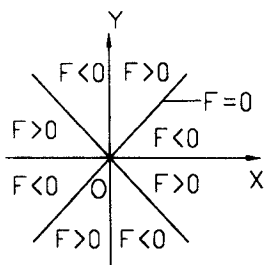


图 1.8 F 在各象限的符号

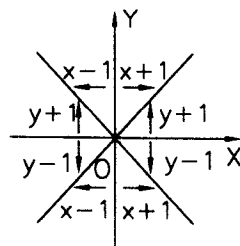


图 1.9 走向规定

(2)走向规定:当由原点出发画直线时,对于第一象限,规定:

当 $F \geq 0$ 时,走 $x+1$; $F < 0$ 时,走 $y+1$;

即当笔位于直线及上方 ($F \geq 0$) 区域时,下一步应沿 $+x$ 方向走一步长, x 坐标加上 1 个步长, 变成 $x+1$; 当笔位于直线下 ($F < 0$) 时,下一步则沿 $+y$ 方向走一步长, y 坐标变成 $y+1$ 。

其他象限走向规定如图 1.9 所示。直线均由原点出发绘制。对不通过坐标系原点的直线, 可以经过图形变换,使直线通过原点,然后按以上情况处理。

3. 简化偏差函数

在偏差函数 $F = x_0y - y_0x$ 中,由于每次都要进行乘法运算,不够简便。为了计算方便,对新偏差函数计算公式进行简化。

设原偏差函数记作 F ,对于第一象限:

(1)在作 $x+1$ 进向后,新的偏差函数(记作 F')为

$$F' = x_0y - y_0(x+1) = x_0y - y_0x - y_0 = F - y_0。$$

说明在作 $x+1$ 进向后,新偏差函数 F' 等于前一个偏差函数值 F 减去直线终点的 Y 坐标 y_0 。

(2)在作 $y+1$ 进向后,新偏差函数为

$$F' = x_0(y+1) - y_0x = x_0y - y_0x + x_0 = F + x_0。$$

说明在作 $y+1$ 进向后,新的偏差函数值 F' 等于前一个偏差函数值 F 加上直线终点的 X 坐标 x_0 。

用同样方法,可求得直线在其他象限的简化偏差函数。表 1.1 表示每作一次进向选择后, 计算偏差函数所用的公式。

表 1.1 过原点的直线在各象限的偏差函数

象 限	沿 X 轴进向选择	偏差函数	沿 Y 轴进向选择	偏差函数
1	$x+1$	$F' = F - y_0$	$y+1$	$F' = F + x_0$
2	$x-1$	$F' = F + y_0$	$y+1$	$F' = F + x_0$
3	$x-1$	$F' = F + y_0$	$y-1$	$F' = F - x_0$
4	$x+1$	$F' = F - y_0$	$y-1$	$F' = F - x_0$

还可以把偏差函数公式进一步简化为通用表达式:

沿 X 轴(含正、负)走一步后的偏差函数为

$$F_{i+1} = F_i + (-1)^n |y_0|;$$

沿 Y 轴(含正、负)走一步后的偏差函数为

$$F_{i+1} = F_i - (-1)^n |x_0|, (n = 1 \sim 4)。$$

式中: F_i 为前一个偏差函数值; n 为象限号; $|x_0|$ 、 $|y_0|$ 为直线终点 X、Y 坐标的绝对值。

(3)按简化的公式计算新偏差函数 F' 的值。

(4)根据 F' 的符号判别走向规定, 决定进向选择。

(5)反复进行, 直到直线终点。

[例 1.1]: 如图 1.10 所示, 由原点(0,0)到点 B(0.4,0.3)画直线, 设步长为 0.1mm。

[分析] 由原点到终点沿 x 方向需走 4 步, y 方向走 3 步。终点坐标用步长为单位表示为 $x_0=4, y_0=3$ 。由于 x 方向走步数(4)较大, 所以选 4 作为终点判别数。

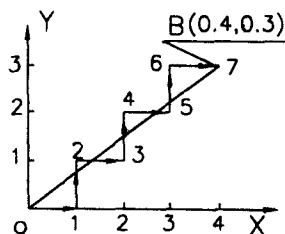


图 1.10 直线插补的步骤

绘制图 1.10 直线的插补运算过程如表 1.2 所示。第 1 步, 从原点出发, 由于直线通过原点, 所以在原点处偏差函数 F 为 0。根据走向规定, 当 $F \geq 0$ 时, 走 $x+1$; $F < 0$ 时, 走 $y+1$ 。所以第一步进向选择为 $x+1$, 即由原点 O 沿 x 方向走到图 1.10 中的标记 1 处, 用 $F' = F - y_0$ 计算得到 1 处的偏差函数值 F' 为 -3, X 方向的走步数(此处为终点判别的值)减去 1 步(表中 $4-1=3$)。

第 2 步, 根据点 1 处的偏差函数值 $F = -3$, 知道 $F < 0$, 所以往下一步应沿 Y 轴正向走一步(进向选择 $y+1$), 并以相应偏差函数表达式 $F' = F + x_0$ 计得 $F' = 1$ 。再继续第 3 步, 如此反复进行, 直至终点。

表 1.2 直线的插补运算过程

步 序	偏差判别 (F 值)	进向选择	计算新的偏差函数 x+1 时 $F' = F - y_0$ y+1 时 $F' = F + x_0$	终点判别
1	0	x+1	$F' = F - y_0 = 0 - 3 = -3$	$4 - 1 = 3$
2	$-3 < 0$	y+1	$F' = F + x_0 = -3 + 4 = 1$	3
3	$1 > 0$	x+1	$F' = F - y_0 = 1 - 3 = -2$	$3 - 1 = 2$
4	$-2 < 0$	y+1	$F' = F + x_0 = -2 + 4 = 2$	2
5	$2 > 0$	x+1	$F' = F - y_0 = 2 - 3 = -1$	$2 - 1 = 1$
6	$-1 < 0$	y+1	$F' = F + x_0 = -1 + 4 = 3$	1
7	$3 > 0$	x+1	$F' = F - y_0 = 3 - 3 = 0$	$1 - 1 = 0$

由表可见, 以 x 方向走步数作终点判别依据时, 每沿 x 方向走一步, 将终点判别数减去 1, 沿 y 方向走时不减。当终点判别值为零时, 总的步序数等于 x、y 方向走步数的总和。因此, 也可以用 x、y 走步数总和为终点判别值, 每沿 x 或 y 方向走一步, 都减去 1, 结果是一样的。

1.3.2 圆弧插补

与直线插补的步骤一样, 圆和圆弧的插补也要先求偏差函数, 规定走向, 然后计算新的偏差函数, 根据偏差值的符号选择进向。每走一步后还要进行终点判别。下面介绍圆弧插补的步

骤：

1. 圆弧偏差函数的一般形式

设圆心在原点、半径为 R ，则圆的方程为

$$x^2 + y^2 = R^2,$$

因此得偏差函数 $F = x^2 + y^2 - R^2$ 。

当笔位在圆上时, $F=0$; 在圆外时, $F>0$; 在圆内时, $F<0$ 。偏差函数符号的范围见图 1.11。

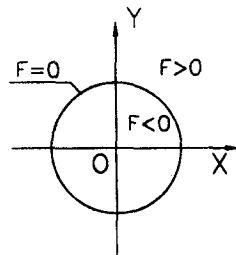


图 1.11

圆偏差函数的符号

2. 走向规定

在第一象限内逆时针方向画圆时, 如图 1.12 所示, 规定: 当 $F<0$ 时, 作 $y+1$ 进向; 当 $F\geq 0$ 时, 作 $x-1$ 进向。各象限圆弧的走向规定如图 1.13 所示。

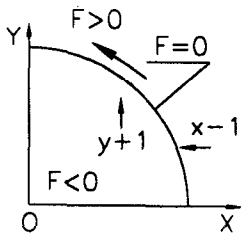


图 1.12 第一象限走向规定

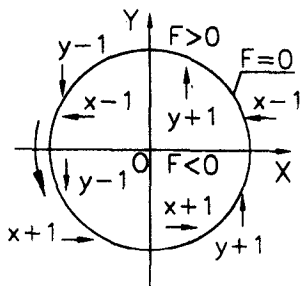


图 1.13 各象限走向规定

3. 简化圆的偏差函数判别式

当作 $y+1$ 进向时, 即沿 y 方向走一步长时, 新的偏差函数 F' 为

$$F' = x^2 + (y+1)^2 - R^2 = x^2 + y^2 - R^2 + 2y + 1 = F + 2y + 1.$$

式中: F 为前一个偏差值; y 为前一点的 y 坐标。

当作 $x-1$ 进向时, 在沿 x 的负方向移动一个步长后, 新的偏差函数为

$$F' = (x-1)^2 + y^2 - R^2 = x^2 + y^2 - R^2 - 2x + 1 = F - 2x + 1.$$

式中: F 、 x 分别为前一点的偏差函数值和 x 坐标。

各象限内逆时针方向画圆弧时, 走向的规定及偏差函数如表 1.3 所示。

表 1.3 逆时针画圆弧时走向与偏差函数

象限	沿 x 方向走向规定		进向后的偏差函数	沿 y 方向走向规定		进向后的偏差函数
1	$F\geq 0$	$x-1$	$F' = F - 2x + 1$	$F<0$	$y+1$	$F' = F + 2y + 1$
2	$F<0$	$x-1$	$F' = F - 2x + 1$	$F\geq 0$	$y-1$	$F' = F - 2y + 1$
3	$F\geq 0$	$x+1$	$F' = F + 2x + 1$	$F<0$	$y-1$	$F' = F - 2y + 1$
4	$F<0$	$x+1$	$F' = F + 2x + 1$	$F\geq 0$	$y+1$	$F' = F + 2y + 1$