



计算机辅助设计丛书

计算机绘图

陆润民 杨惠英 施寅 编

清华大学出版社

计 算 机 绘 图

陆润民 杨惠英 施 寅 编

清 华 大 学 出 版 社

内 容 提 要

该书是编者在“计算机图形学”的科研和教学实践的基础上编写而成的。全书介绍了计算机绘图系统的硬件和软件、图形变换、绘图程序设计、图形软件包设计、由离散点绘制曲线、开窗裁剪、数据结构和隐藏线消去等方面的基本原理和方法。各章均附有一定数量的习题。书中提供了大量的应用程序，这些程序均在计算机上运行通过，具有较高的实用价值，可供读者参考。

本书可作为大专院校开设《计算机绘图》课程的教材，也可以作为从事计算机辅助设计工作的工程技术人员参考书。

JS441 132
14

计 算 机 绘 图

陆润民等 编

★

清华大学出版社出版

(北京 清华园)

中国科学院印刷厂印装

新华书店总店科技发行所发行

★

开本：787×1092 1/16 印张：14.5 字数：371千字

1988年1月第1版

1990年10月第2次印刷

印数：20001—28000

定价：2.95元

ISBN 7-302-00168-5/TP·63

前 言

近二十多年来, 计算机辅助设计 (CAD) 技术在计算机的应用领域内得到了飞速发展。这主要是由于工程上传统的设计方法已经越来越不能适应二十世纪后叶生产和科研发展的形势。

作为计算机辅助设计的主要组成部分, 一门崭新的学科——计算机图形学, 已经应运而生, 并且不断地得到充实和发展。这门学科将古老的图形语言方法和崭新的计算机技术相结合, 给几乎所有的生产和科研领域提供高速度、高效率和高精度的图形设计及输出方法。它已在机械、航空、船舶、汽车、建筑、地质、气象、电子、轻工及管理等部门得到了广泛的应用。

目前, 为了普及与推广这一新兴学科, 促进科学技术的迅速发展, 我国已经有越来越多的大专院校开设了或正在准备开设《计算机绘图》课程。我们在总结科研和教学工作的基础上, 参考国内外有关的教材和文献资料, 编写了这本《计算机绘图》。

在编写本书的过程中, 我们不是把内容仅仅局限于某个专业范围内的应用, 而是注重于系统地介绍计算机绘图的基本原理和方法, 以使该书能适应尽可能广的范围。在写作方法上, 我们力求做到深入浅出, 通俗易懂。书中还附有大量的实例和应用程序, 这些程序全部在计算机上调试通过, 读者可以把它们作为参考程序而使用。

全书共分八章, 扼要地介绍了计算机绘图系统的硬件和软件, 较系统全面地介绍了图形变换、绘图程序设计、图形软件包设计、由离散点绘制曲线、开窗裁剪、数据结构和隐藏线消去等方面的基本原理和方法。本书可在大专院校的二、三年级讲授, 这样, 大学一年级的数学对于本书的大部分内容已是足够的先修课程。同时, FORTRAN语言也必须预先初步掌握。一般用32个学时可以讲授完该书的主要内容, 前面打有“*”的内容, 可视具体情况取舍。由于该门课程的实践性很强, 所以建议学生上机实习不要少于10小时, 书中各章后附有习题, 可供选用。

本书的第一、二、四章由清华大学杨惠英编写, 第三、五章由北方工业大学施寅编写, 第六、七、八章由清华大学陆润民编写。全书由陆润民汇编。石光源副教授和许隆文副教授审定了全稿。

该书可作为大专院校开设《计算机绘图》课程的教材, 也可作为从事计算机辅助设计工作的工程技术人员的参考书。

由于我们的水平有限, 书中难免会有错误和不当之处, 欢迎读者批评指正。

编者

一九八五年十一月

目 录

第一章 绪论

§ 1 引言	(1)
§ 2 计算机绘图系统	(3)
§ 3 计算机绘图系统的硬件	(4)
§ 4 计算机绘图系统的软件	(9)

习题

第二章 图形变换的矩阵方法

§ 1 概述	(17)
§ 2 二维图形的变换	(17)
§ 3 三维图形的变换	(32)
§ 4 编程实例	(48)

习题

第三章 绘图程序设计

§ 1 平面曲线的程序设计	(59)
§ 2 图形子程序设计	(65)
§ 3 平面图案的程序设计	(78)

习题

第四章 绘图程序包的设计

§ 1 概述	(86)
§ 2 绘图程序包的设计原则	(86)
§ 3 插补原理	(88)
§ 4 智能绘图机绘图基本子程序的设计	(97)

习题

第五章 由离散点绘制曲线

§ 1 概述	(106)
§ 2 抛物线调配曲线	(108)
§ 3 三次参数样条曲线	(114)
§ 4 最小二乘法拟合曲线	(120)
* § 5 网格法绘制等值线	∴ ∴ (129)

习题

第六章 图形的开窗和裁剪

§ 1 窗口和裁剪	(139)
§ 2 直线段的裁剪	(141)
• § 3 平面多边形的裁剪算法	(146)
§ 4 窗口—视图区变换	(148)
§ 5 视向变换	(151)
§ 6 透视变换	(155)
• § 7 定义三维窗口及三维裁剪的概念	(157)

习题

第七章 数据结构

§ 1 数据结构的引入	(159)
§ 2 线性列表结构	(160)
§ 3 单向链表结构	(163)
• § 4 循环链表及多重链表	(168)
• § 5 树形结构简介	(169)
§ 6 排序及查找	(175)

习题

•第八章 平面立体图形的隐藏线消去

§ 1 消隐概述	(182)
§ 2 常用的几何计算方法	(183)
§ 3 常用的数据结构形式	(129)
§ 4 凸面体的消隐方法	(191)
§ 5 任意平面体的消隐算法	(194)
§ 6 曲面体(片)的消隐处理	(197)

习题

参考文献	(199)
------	-------

附录

附录一 WX4675绘图机用的几个基本子程序	(200)
附录二 二维几何运算子程序	(203)
附录三 三次参数样条曲线子程序	(209)
附录四 网格法绘制等值线程序	(210)
附录五 平面立体消隐程序	(218)

第一章 绪 论

§1 引 言

在传统的制图中，通常用丁字尺、三角板画直线，用圆规画圆和圆弧，用曲线板或曲线尺连接曲线，也就是说，靠手工作业绘出图形。因此，绘图质量的好坏和出图速度主要取决于绘图员技术的高低和熟练程度。在计算机绘图中，这些传统的绘图工具一概不用，而用计算机通过绘图程序控制自动绘图机或图形显示器输出图形。

例如，要画图1-1所示的三角形，三角形各顶点的坐标为：(10, 20)、(50, 0)、(40, 60)，绘图程序如下：

```
C      PROGRAM 1.1
      CALL GINIT ( 打开绘图机 )
      CALL PLOT(10.0, 20.0, 3) ( 抬笔移动到(10, 20) )
      CALL PLOT(50.0, 0.0, 2) ( 画线到(50, 0) )
      CALL PLOT(40.0, 60.0, 2) ( 画线到(40, 60) )
      CALL PLOT(10.0, 20.0, 2) ( 画线到(10, 20) )
      CALL GSTOP ( 将绘图笔送回笔架，并停绘图机 )
      STOP
      END
```

执行该程序时，计算机将源程序加工成绘图机的绘图指令，指挥绘图机完成绘图动作。

当然，这个例子是太简单了，假如我们要画图1-2至图1-5所示的图形，采用手工作业将是很麻烦的，但是当读者学完本课程后，就会感到用计算机画这样的图形并不困难。随着学习的不断深入，读者将会体会到计算机绘图比起手工绘图来最大的优点是速度快、精度高、质量好。

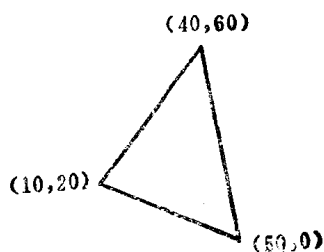


图 1-1 三角形

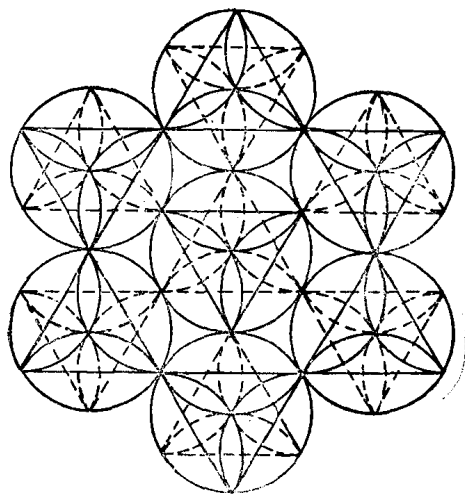


图 1-2 由直线、圆和圆弧组成的图形

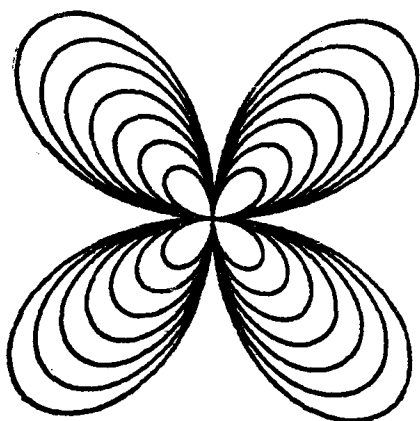


图 1-3 用计算机画的四叶玫瑰线簇

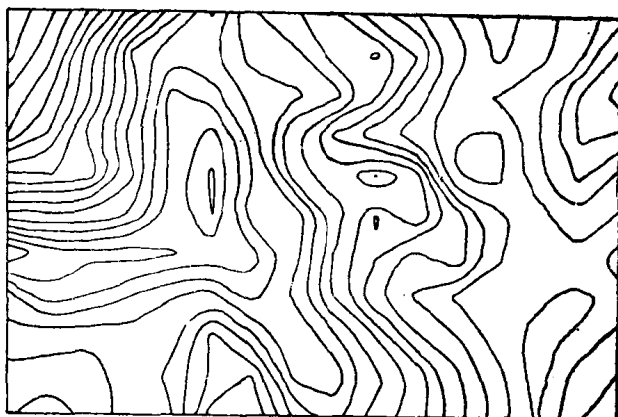


图 1-4 计算机画的等值线图

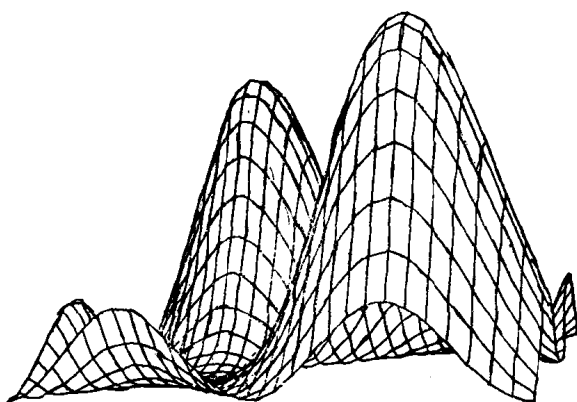


图 1-5 计算机画的曲面图

读者也许会想，绘图机是如何画出图形的呢？回答这个问题则需要了解绘图机的工作原理。

绘图机一般用步进电机或伺服电机作驱动元件，由计算机根据绘图程序发出使绘图机沿 x 、 y 方向绘图的指令脉冲，驱动 x 、 y 方向的步进电机或伺服电机使其作步进回转，从而驱动画笔作 x 、 y 方向的步进移动，完成规定的绘图动作。在输入一个脉冲的作用下，可以使画笔沿 x 或 y 方向移动一个距离，这个距离称为绘图机的步长或脉冲当量。

如图1-6所示，绘图机的基本动作是八个方向的移动，其中 $+x$ 、 $-x$ 、 $+y$ 、 $-y$ 四个方向的移动是最基本的，其余四个方向的移动是这四个基本方向的移动合成的。在某些绘图机中，由于 x 向和 y 向的步进电机不能同时动作，因而只有前四个方向的基本移动。

用自动绘图机绘图时，无论多么复杂的图形（直线、圆、自由曲线等）都是 x 、 y 轴方向和 45° 方向的向量合成的。因此在这里可以说：“曲线是直线段的连接”，只不过由于直线段的长度（步长）太小，肉眼不易觉察罢了。

图1-7是计算机画一斜直线时，绘图机的动作和脉冲的关系。

通过以上介绍我们已经了解到，用计算机绘图时，计算机、绘图机这些设备（统称硬件）是必不可少的。但是只有硬件是画不出图形的，还必须有一套相应的绘图程序（通称软件），而且绘图程序的好坏对于能否得到所期望的图形是非常关键的。硬件和软件组合起来便构成计算机绘图系统。

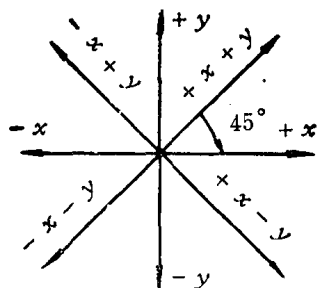


图 1-6 自动绘图机的基本动作

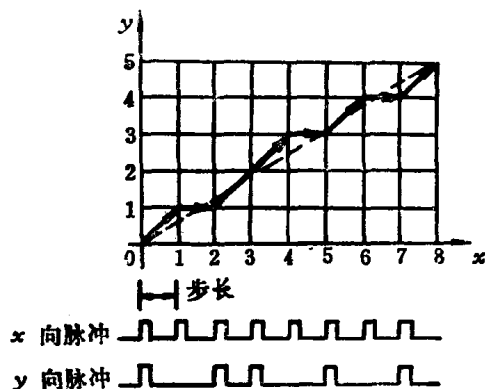


图 1-7 直线的近似和脉冲的关系

§ 2 计算机绘图系统

计算机绘图系统根据其硬件的配备情况及信息传递方式主要分为下面几种：

一、脱机绘图系统

如图1-8所示，在脱机绘图系统中，通常由中、大型计算机进行图形处理，将处理结果用磁带（或纸带）输出，然后用磁带（或纸带）控制绘图机输出图形。

脱机绘图系统使计算机处理和绘图独立进行，从而提高了计算机的工作效率。



图 1-8 脱机绘图系统

二、联机绘图系统

如图1-9所示，在这种系统中，由计算机将图形处理信息直接送给绘图机输出图形。由于不需要中间介质（磁带或纸带）传递绘图信息，所以综合处理时间缩短了。但是由于绘图机是机械速度，这样便造成了计算机对绘图机的等待，降低了计算机的工作效率，因此这种系统多用于分时系统中。

三、单机交互绘图系统

这种系统又称作会话式图形处理系统（或交互式图形处理系统），如图1-10所示。在这种系统中，一般不用中、大型计算机而采用小型、微型机，它把数字化仪、图形显示器、自动绘图机连接起来了，操作员与之进行人-机对话。由于本身是一个完整的系统，故可独立进行图形处理。随着计算机性能的提高及软件的开发，这种系统会得到广泛应用。

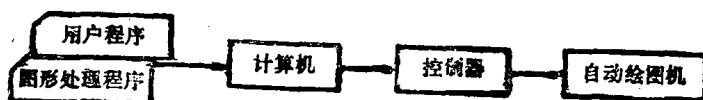


图 1-9 联机绘图系统

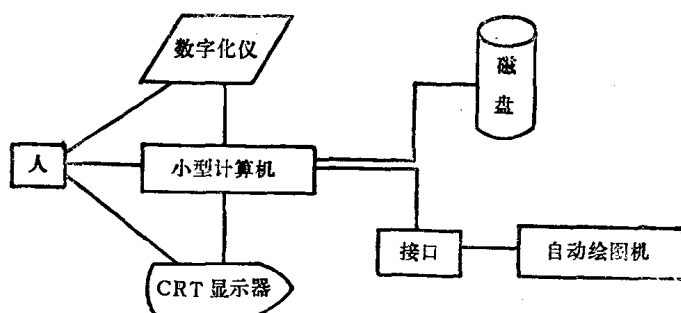


图 1-10 单机交互绘图系统

通过对上述计算机绘图系统的分析，我们可以看到，一个计算机绘图系统应该具有下述功能：

1. 计算功能 包括设计分析计算的程序库和有关图形数据及几何计算的程序库。
2. 存贮功能 在计算机的内、外存贮器中存放图形数据，尤其是存放图形数据之间的相互联系，可根据用户的要求快速实现实时的检索、图形的变更、增加、删除等处理。
3. 对话功能 进行人-机通讯，实现图形处理过程中人的干预。
4. 输入功能 向计算机输入各种命令和图形数据。
5. 输出功能 输出计算结果及所需要的图形。

为了实现这些基本功能，就要有一套合适的硬件和软件，把计算机的快速分析计算、大容量的存贮记忆和人的直接观察、丰富的经验、卓越的创造力有效地结合起来。

§ 3 计算机绘图系统的硬件

计算机绘图系统的硬件包括计算机和图形输入、输出设备及其它一些外部设备（打印机、穿孔机等）。关于计算机大家已比较熟悉了，因此本节主要介绍一些图形输入、输出设备。

一、常用的图形输出设备

（一）自动绘图机

自动绘图机是把计算机输出的数据信息变成图形的装置，按其构造可分为滚筒式绘图机和平台式绘图机两大类。

1. 常用的各种绘图机

（1）滚筒式绘图机

滚筒式绘图机的主要特征是绘图纸左右两边带有小孔，通过与滚筒两端链轮上的小齿啮合，随滚筒作正、反方向的旋转运动，即 x 方向的运动。而画笔则作往复的直线运动，即 y 方向的运动。这两个方向运动的配合即可画出所需要的图形。图1-11是滚筒式绘图机的外貌及结构简图。

滚筒式绘图机的特点是结构简单、紧凑，占地面积小，绘图速度快，但精度较低。故常用于一些对绘图精度要求不高的场合，如绘制机械图、土木建筑图。

（2）平台式绘图机

平台式绘图机是在数控机床的基础上发展起来的，图1-12是它的结构简图。它由 x 向导轨和滑座、 y 向导轨和滑座、笔架等部分组成。图纸固定在平板上，笔架固定在 y 向滑座上。

由计算机发出的指令脉冲驱动 x 、 y 向的驱动电机使画笔作 x 、 y 方向的移动完成绘图动作。

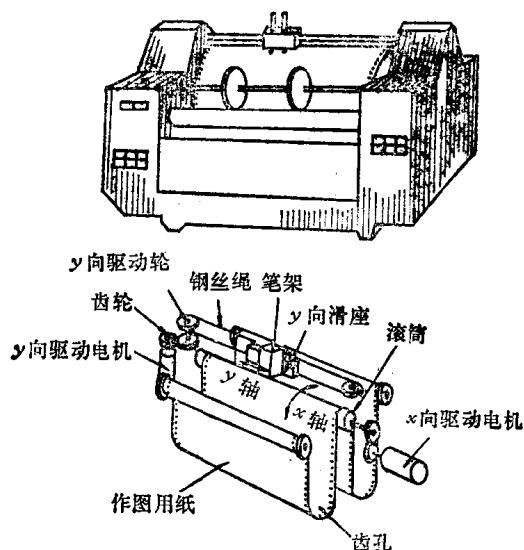


图 1-11 滚筒式绘图机的外貌及结构简图

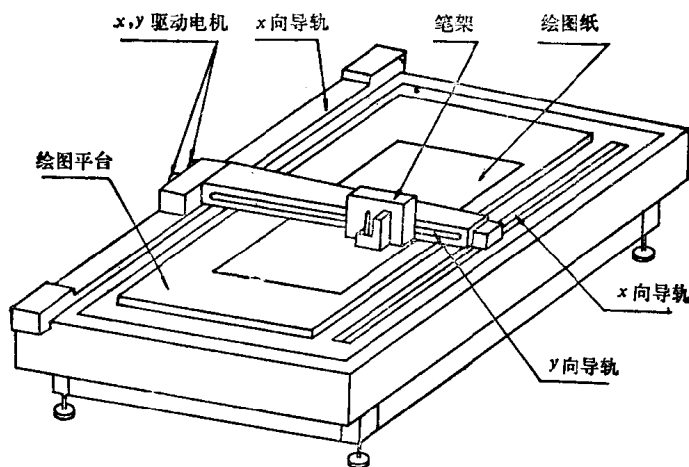


图 1-12 平台式绘图机

和滚筒式绘图机比较，平台式绘图机的主要特征是：绘图纸不能作 x 方向的移动，而是由 x 向滑座在 x 向导轨上平行移动来完成 x 向的绘图动作。

平台式绘图机的优点是精度高，有效绘图面积大，因此特别适用于高精度、大画面的图形，如飞机、汽车、轮船、大规模集成电路图等。但是这种绘图机结构复杂，占地面积大，价钱较贵。

(3) 平面电机型绘图机

上面介绍的平台式绘图机和滚筒式绘图机的共同特点是由计算机送给执行电机脉冲信号，执行电机通过一套机械传动装置（如齿轮齿条传动、滚珠丝杠传动、钢丝绳传动等）驱动画笔完成绘图动作。因此它们的绘图速度和精度都受到机械传动系统的限制和影响，一般绘图速度在3~30米/分之间，而且随着使用时间的延长，由于机械磨损将会降低绘图精度。

1958年，美国Xynetics公司的副经理B·A·Sawyer发明了直线马达，大约在1972年左右，一种不用机械传动的、新型的平面电机型绘图机问世了，它的绘图速度可提高到60~90米/分。

如图1-13所示,平面电机型绘图机主要由台板(天花板)、绘图头、绘图平台三部分组成。台板位于绘图平台的上方,与绘图平台平行且面积相同,由四根支柱支承,它实际上是平面电机的“定子”。绘图头悬浮在台板下面,在绘图头与台板接触的表面有许多小孔,从孔中吹出的高压空气(由气泵供给)使二表面间形成 10μ 的间隙,称为“空气轴承”。因此,绘图头可在台板下自由滑动,自由滑动的动力是装在绘图头内的平面电机的“动子”与台板(定子)的相互作用产生的。笔架装在绘图头上,跟随绘图头移动画出图形。

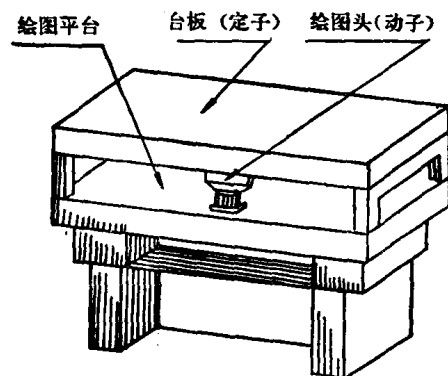


图 1-13 平面电机型绘图机

由于上述构造特点,平面电机型绘图机有着明显的优点:

① 与平台式和滚筒式绘图机比较,该绘图机的可动部分明显地减轻了,因此绘图速度和加速度可大大提高,绘图时间大大缩短。

② 笔架直接装在动子上,省去了复杂的机械传动机构,避免了由于机械传动误差及零部件的磨损对绘图精度的影响,工作可靠性和精度大大提高。

③ 由于采用“空气轴承”,摩擦损耗极小,运动灵活,灵敏度和寿命大大提高。

(4) 小型绘图仪

它由微型计算机和小型绘图仪组成,是为设计人员在设计过程中提供方便而研制的。设计人员只要操纵键盘就可画出需要的图形,这样就可一边绘图,一边考虑下一步的设计。

小型绘图仪在整机构造上和其它绘图机没有本质的区别,只是结构简单得多。绘图幅面一般为A3号图纸,步长较大,约为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。

上面向大家介绍了常用的几种类型的绘图机,当然,绘图机的类型远不止这几种。例如目前使用的还有静电绘图机、彩色喷墨绘图机、激光绘图机、图形硬拷贝机等。

2. 自动绘图机的驱动方式

自动绘图机的驱动方式有两种:开环驱动(步进电机驱动)方式和闭环驱动(伺服电机驱动)方式。

(1) 开环驱动方式

如图1-14所示,这种驱动方式采用步进电机为驱动元件。自动绘图机所用的步进电机通常有调整自身位置的特性,因而不需要反馈机构,故构造简单,操作方便。



图 1-14 开环驱动方式

(2) 闭环驱动方式

如图1-15所示,这种驱动方式采用伺服电机为驱动元件。“伺服”含有奴隶的意味,它

常常按照人的指示，不断地反省自己的动作，忠实地达到预定的目标。正象图中所示的那样，它可以通过位置检测器检测出自动绘图机的移动量，由速度检测器进行适当的速度调整。这种驱动方式常用于大型、高速绘图机上。

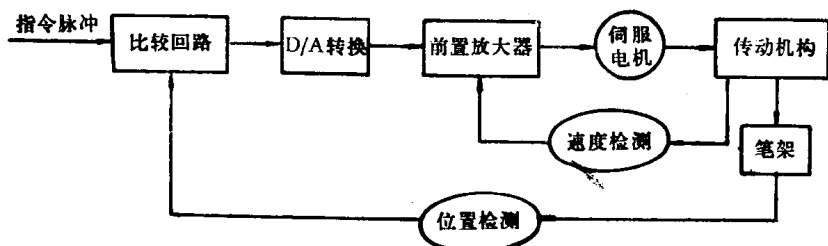


图 1-15 闭环驱动方式

(二) 图形显示设备

图形显示器是交互式绘图系统中不可缺少的图形输出设备，图1-16所示为一台光笔图形显示器，它的结构原理如图1-17所示。

光笔图形显示器常用阴极射线管（CRT）作显示器件。它既能作为图形输入装置，又能作为图形输出装置，通过光笔和键盘实现人-机通讯，这样就能把人的思维能力、创造性与计算机的高速运算能力有机地结合起来。把它用在CAD系统中，既可以把设计方案用图形显示出来，又可以运用光笔按设计者的意图对图形进行修改。

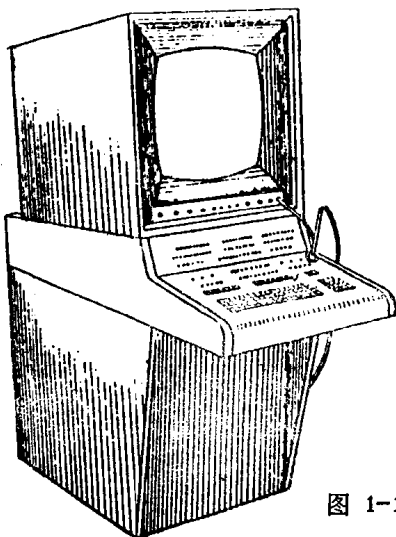


图 1-16 光笔图形显示器

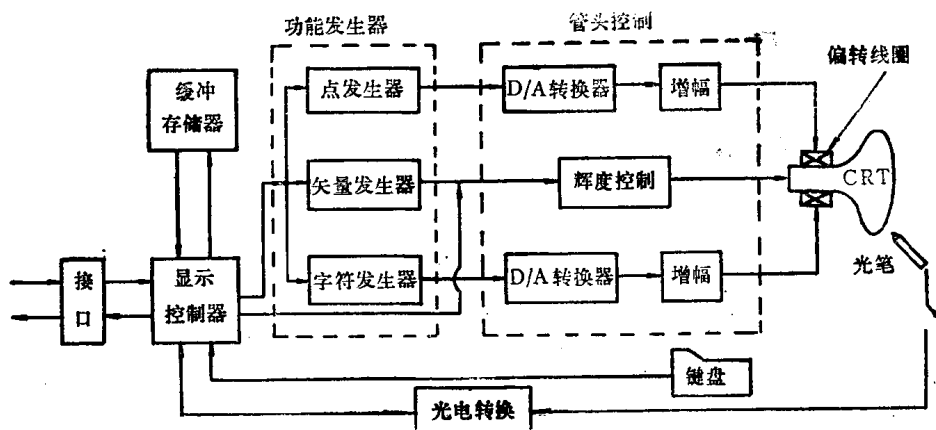


图 1-17 光笔图形显示器的原理图

目前常用的图形显示器有动态刷新式、存储管式、光栅扫描式三种类型。

1. 动态刷新式图形显示器

在这种显示器中, CRT的电子束是按照所画图形和文字的顺序扫描的。由于荧光屏上涂的是低余辉的荧光材料, 所以图形只能在屏幕上保持短暂的时间。为了不致使屏幕上的图形消逝或闪烁得太厉害, 电子束以每秒30~40次的频率读写存储器中的图形数据, 不断刷新屏幕上的图形, 使肉眼看上去比较稳定。

这种显示器的特点是具有高度的动态性能, 较高的分辨率, 图形清晰、图线光滑。但它显示图形时受画线长度的限制(国外为250米, 国内目前是120米), 使显示复杂图形时受到影响。此外, 控制、偏转电路复杂, 体积大, 成本高。

2. 存储管式图形显示器

存储管图形显示器常用直视存储管作显示器件, 靠近荧光屏的背面有一个带电荷的存储栅极, 它具有存储图形的能力, 因而不需要缓冲存储器。它和动态刷新式图形显示器一样。按图线的顺序进行扫描。图形保持时间较长, 可获得高精度的稳定图象。它的特点是分辨率高, 其像素可达 4096×4096 , 电路结构简单。但显示画面速度慢, 修改画面时必须抹去整个画面重画, 难以进行动态显示。此外, 对比度低, 不能进行彩色显示。

由于这种显示器价钱较便宜, 和系统连接容易, 图象质量好, 是交互式绘图系统中比较有代表性的一种图形显示设备。

3. 光栅扫描图形显示器

光栅扫描型图形显示器的扫描方式是满屏扫描, 即从左上角开始, 从上到下, 从左到右一行行顺序扫描, 用连续的亮点表示图形。扫描频率为50~60次/秒。其像素通常为 512×512 , 高的可达 1024×1024 。这种显示器的特点是可以抹去部分画面, 故能进行动态图形显示, 能无闪烁地显示复杂图形, 可进行彩色显示。其缺点是精度较低, 像素少时, 显示曲线不光滑。但是它的原理和电视机相同, 故价钱便宜。目前正发展成图形显示器的主流。

二、常用的图形输入设备

随着计算机图形学的不断发展, 用于图形输入的设备近年来发展很快, 现已提供使用的有键盘(Key-board)、光笔(Light pen)、坐标数字化仪(Digitizer)、图形输入板(Tablet)、鼠形器(Mouse)、操纵杆(Joystick)、轨迹球(Tracker Ball)等。下面介绍常用的两种: 光笔和坐标数字化仪。

1. 光笔

光笔是一种检测光的装置, 是实现人与计算机、图形显示器之间联系的一种有效工具。光笔的主要功能是指点与跟踪。所谓指点就是在屏幕上有图形时, 选取图形上的某一点为参考点, 对图形进行某种处理。所谓跟踪就是用光笔拖动光标在显示屏幕上任意移动, 从而在屏幕上直接输入图形。在交互系统中, 常用光笔点菜单(Menu)。

2. 坐标数字化仪

坐标数字化仪是一种图形数据采集装置, 如图1-18所示。它由固定图纸的平板、检测器(游标)和电子处理器三部分组成。工作时, 将十字游标对准图纸上的某一点, 按下按钮, 则可把该点的坐标输入。连续移动游标, 可以将游标移动轨迹上一连串点的坐标输入。

坐标数字化仪能够读取的范围最小为 $280\text{mm} \times 280\text{mm}$, 最大可达 $1070\text{mm} \times 1520\text{mm}$, 分辨率一般为 0.1mm , 好的可达 0.025mm 。

数字化仪用起来是很方便的, 但是它的坐标读取精度较低, 特别是在放置游标时容易产

生人为的误差。在选择数字化仪时,要考虑使用要求。当读取精度要求较高时,应选择分辨率小、精度高的数字化仪。当精度要求不高时,选用操作方便的数字化仪即可。

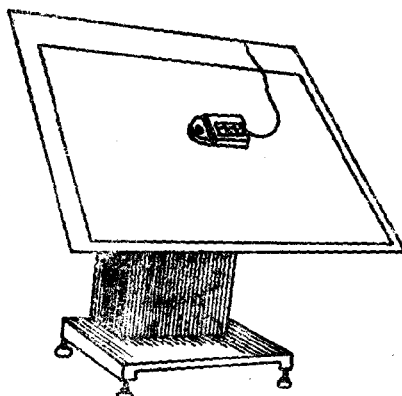


图 1-18 坐标数字化仪

§ 4 计算机绘图系统的软件

有了电子计算机、自动绘图机等基本硬件以后,还只是具备了实现自动绘图的部分必要条件。要高速、灵活、方便地绘出图形,还必须具备完善的绘图软件系统。

通常,绘图软件系统是由用高级算法语言编写的一些具有各种绘图功能的子程序组成的,故也叫作绘图子程序系统(或绘图程序包)。绘图子程序系统由基本子程序、功能子程序和应用子程序三部分构成。基本子程序是直接和绘图机等硬件有关的一些子程序,通常包括绘图机驱动子程序、停止绘图子程序、画直线、控制笔的抬落和选择画笔等一些子程序。而功能子程序是在基本子程序的基础上设计的一些具有某种特定的绘图功能的子程序,如画矩形、画正多边形、画椭圆及其它一些曲线的子程序等。这部分子程序基本上对硬件没有依赖性,它反映了各行各业绘图中的一些共同的要求,通用性较强。应用子程序是根据各种专业的需要,多数是由用户自己设计的一些专业性很强的子程序,如画立体图、透视图、等值线图、集成电路图等一些子程序,不同的行业通常不能共享。

作为一个绘图软件系统,一般都要向用户提供一套比较完善的基本子程序和功能子程序,用户则在此基础上设计一些应用子程序以便绘制各种图形。下面向读者介绍一下DUAL 83/20计算机和SR-6602绘图机使用的绘图软件系统中的若干基本子程序和功能子程序。

1. GINIT

功能:打开绘图数据的输出文件,为绘图程序库的一些参数设定初始值。

用户在每次绘图之前必须首先调用该子程序,执行该子程序后,绘图机自动取1号画笔,然后将画笔移到图板零点等待绘图。

2. GSTOP

功能:清除绘图机的数据缓冲区,关闭绘图机。

用户在每次绘图结束前必须调用这一子程序,否则会有一部分图形数据留在绘图机的数据缓冲区中而使画出的图形不完整。执行该子程序后,图形画完并把绘图笔送回笔架,然后停止工作。

3. PEN(N)

功能：选择画笔。

绘图机共有六支画笔（不同颜色），绘图机初始化时为1号画笔，如需改换笔号，则调用这一子程序即可。

参数：N——对应的笔号。N = 1 ~ 6 分别对应于 6 支画笔。

4. SET (X0, Y0, XM, YM, AF)

功能：设置用户画图的坐标原点、画图比例及用户坐标系的x轴与图板x向的夹角。

参数（如图1-19所示）：

X0、Y0——用户坐标系原点的物理坐标。

XM、YM——分别为x、y方向的画图比例系数。

AF——用户坐标系相对于图板坐标系的旋转角，顺时针方向旋转时AF为负值，逆时针方向旋转时AF为正值，单位是度。

注：通常把设备（图板）上的坐标系称为物理坐标系，而把用户自己设置的坐标系称为逻辑坐标系。在物理坐标系下的坐标称为物理坐标，而在逻辑坐标系下的坐标称为逻辑坐标。如果不作特殊说明，下面各子程序中的坐标均为逻辑坐标。

由图1-19可以看出，由于图板的坐标原点在左下角，这样便无法向 $-x$ 、 $-y$ 向画图（越界），因此通常都要调用SET子程序设置用户画图时的逻辑坐标系。

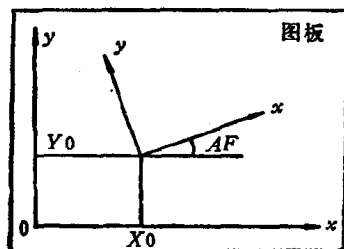


图 1-19 SET子程序的参数

5. PLOT (X, Y, IP)

功能：从笔的当前位置画直线到点(x, y)。

参数：

X、Y——绘图笔要到达的终点的坐标。

IP——线型及笔态控制参数，其意义如下：

|IP|=2 落笔画实线到(x, y)；|IP|=3 抬笔移动到(x, y)；|IP|=4 落笔画虚线到(x, y)；|IP|=5 落笔画点划线到(x, y)；|IP|=6 落笔画双点划线到(x, y)。
IP > 0 只执行绘图功能；IP < 0 按要求完成绘图动作后以(x, y)点为新的用户坐标原点。

例 1 画图1-20所示的三个正方形，已知正方形的边长为10mm。

根据题意，所编绘图程序如下：

```
C  PROGRAM 1.2
    CALL GINIT
    CALL SET(100., 100., 1., 1., 0.)
    CALL PLOT(0., 0., 3)
    DO 10 I=1, 3
    CALL PLOT(10., 0., 2)
    CALL PLOT(10., 10., 2)
    CALL PLOT(0., 10., 2)
    CALL PLOT(0., 0., 2)
10  CALL PLOT(10., 10., -3)
```

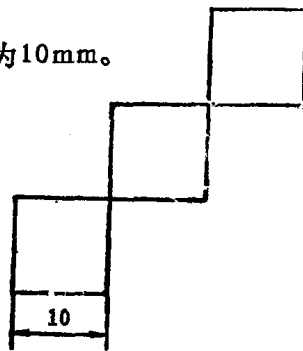


图 1-20 例1

```

CALL GSTOP
STOP
END

```

请读者想一想，该程序执行完后，在调用GSTOP子程序之前，用户坐标系原点在什么位置？

6. LINE(X1, Y1, X2, Y2, IP)

功能：在两点之间画直线。

参数：

X1、Y1——始点的坐标。X2、Y2——终点的坐标。IP——控制参数，其意义如下：

IP = 2 落笔画实线到始点，再画实线到终点；IP = 3 抬笔到始点，再画实线到终点；
IP = 4 抬笔到始点，再画虚线到终点；IP = 5 抬笔到始点，再画点划线到终点；IP = 6
抬笔到始点，再画双点划线到终点。

7. CIRC(XC, YC, R, IP)

功能：已知圆心和半径画圆。

参数：

XC、YC——圆心坐标，R——圆的半径，IP——线型及笔态控制参数，同LINE。

8. CIRC3(X1, Y1, X2, Y2, X3, Y3, IP)

功能：已知三点画圆。

参数：X1、Y1、X2、Y2、X3、Y3——分别为已知三点的坐标。IP——控制参数，同LINE。

9. ARC(XC, YC, XS, YS, XE, YE, IP)

功能：画圆弧。

参数：

XC、YC——圆弧圆心的坐标；XS、YS——圆弧起点坐标；XE、YE——圆弧终点坐标。IP——控制参数，其意义如下：

|IP| = 2 落笔画实线到起点，再画实线圆弧；|IP| = 3 抬笔移动到起点，画实线圆弧；
|IP| = 4 抬笔移动到起点，画虚线圆弧；|IP| = 5 抬笔移动到起点，画点划线圆弧；|IP| = 6
抬笔移动到起点，画双点划线圆弧。IP > 0 逆时针方向画圆弧；IP < 0 顺时针方向画圆弧。

例 2 画图1-21所示的图形。

程序如下：

```

C  PROGRAM 1.3
    CALL GINIT
    CALL SET(100., 100, 1., 1., 0)
    CALL CIRC(0., 0., 10., 3)
    CALL PLOT(-15., -10., 3)
    CALL ARC(15., 0., 15., -10., 15., 10., 2)
    CALL ARC(-15., 0., -15., 10., -15., -10., 2)
    CALL GSTOP
    STOP

```