

上 篇 计算机绘图

第一章 绪 论

§ 1-1 计算机绘图概述

一、计算机绘图的由来

计算机绘图是应用计算机及图形输入、输出设备,实现图形显示、辅助绘图及设计的一门新兴边缘学科。它建立在图学、应用数学及计算机科学三者有机结合的基础上。在人类的生产活动及日常生活中,经常要绘制各种图样、图表、美术图案、动画及广告等。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,特别是随着现代科学技术的发展,对绘图精度的要求越来越高,图样也越来越复杂,如超大规模集成电路掩膜图、印刷电路板的布线图、航天飞机及宇宙空间飞行器复杂的曲面外壳等,手工绘图是无法胜任的。再者,现代社会的重要特征之一是节奏快,竞争激烈,各类产品的更新换代十分迅速,要求新产品的绘图必须高效率地完成。因此,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是现代科学技术发展的必然趋势。

二、计算机绘图发展概况

(一) 国外计算机绘图发展概况

计算机绘图是 50 年代首先在美国开始的,它由数控机床演变而来。1952 年美国麻省理工学院研制成功第一台三坐标数控铣床,使用美国伊利诺斯大学研制的 APT 语言进行数控加工。当时在美国学习的奥地利人 H. Joseph Gerber 创办了 Gerber 科学仪器公司。他根据数控机床的工作原理,研制了世界上第一台平台式自动绘图机,并首先用于美国波音飞机公司中。1959 年美国 Calcomp 公司根据打印机的原理研制了世界上第一台滚筒式绘图机。目前该公司生产的大型、高速滚筒式绘图机,在性能上仍处于领先地位。我国不少单位引进了该公司生产的 960 型与 965 型大型滚筒式绘图机。80 年代该公司推出了起先锋作用的 Calcomp 1070 系列,也开始进入我国市场。另外,美国 H. P 公司与 Houston 公司也以生产绘图设备闻名,特别是 Houston 公司生产的 DMP 系列滚筒式绘图机,1983 年以后大量涌入我国市场,并与 IBM-PC 机配套使用。

日本计算机绘图是从 60 年代中期开始的,1963 年日本生产数控机床的企业引进美国 Gerber 公司专利,开始生产日本第一台平台式绘图机。1964 年日本另一批生产打印机的企业引进了美国 Calcomp 公司专利,1965 年生产了日本第一台滚筒式绘图机。近年来,由于微机绘图系统的普及,日本大量厂家开始转向 2 号与 3 号图幅的小型平台式绘图机的生产,如 SR-6602, Roland, DG, MP/1000 等。

联邦德国绘图机的生产则是以汉堡市 ARISTO 工厂为主,该厂创办于 1862 年,生产各种

精密仪器, 60 年代转向生产图形输出设备, 包括各种数字化仪与自动绘图机。在我国, 使用法国的绘图机与德国西门子主机配套的, 也为数不少。法国 Benson 绘图机, 有平台式与滚筒式两种, 由于该机带有 Benson 绘图软件, 对我国早期计算机图形学的发展具有较大的影响。80 年代初期, Benson 公司又推出了改进型的 16 系列八笔滚筒式绘图机。

早期计算机绘图主要是静态的, 人们根据提供的绘图软件用高级语言编程, 然后将程序输入计算机进行编译、连控, 将输出的目的程序由绘图机执行并输出图形。在绘图过程中, 人们无法进行干预, 因此, 输出设备主要以绘图机为标志。

从 70 年代开始, 由于人机对话式的交互图形系统逐步开始应用, 推动了图形输入与输出设备的更新与发展, 各国开始研制各种类型的显示设备。从 60 年代中期的随机扫描显示器发展到 60 年代后期的存储管式显示器, 其中以美国 Tektronix 计算机显示终端使用得最为广泛, 但它的交互性能差, 对图形不能进行选择与删除。因此, 到 70 年代中期, 存储管式显示终端又逐步被基于电视技术的光栅扫描图形显示器所取代。

随着输出设备不断更新发展, 图形输入设备也在不断更新, 早期的光笔、操纵杆、跟踪球已逐渐被光电式的鼠标器所取代。由于鼠标器只能指示屏幕菜单光标的定位与拾取, 而在交互式计算机绘图中, 屏幕菜单由于受到屏幕尺寸的限制, 在屏幕上只能显示出全部菜单的一小部分, 用户操作时必须不断切换菜单, 很不方便。因此, 图形输入板与数字化仪就成为交互式计算机绘图系统必不可少的输入设备。它可以将图形坐标与图形的命令快速地送入计算机。目前, 我国在微机上使用得较为普遍的是美国 Houston 公司的图形输入板。

(二) 我国计算机绘图发展概况

随着科学技术的迅猛发展, 我国对绘图系统的需求日益迫切。在引进国外绘图设备的同时, 各科研、生产单位均在自力更生的基础上, 根据不同需要, 先后研制了各种型号的自动绘图机。我国绘图机的研制是从 1967 年开始的, 1969 年上海自动化仪表二厂(现上海大华仪表厂)生产了 LZ-5 平台式小型绘图机, 幅面为 $500 \times 700(\text{mm}^2)$ 。1971 年内蒙古呼和浩特市电子设备厂研制成了 MSB-1 平台式小型绘图机, 其幅面为 $550 \times 700(\text{mm}^2)$ 。1973~1974 年上海自动化仪表二厂、沪东造船厂、上海船舶工艺研究所等四十多个单位参加了大型数控绘图机的研制, 并于 1976 年研制成功了 HTJ-1855 型大型绘图机。主要用于船舶与航空工业。

此外, 各科研生产单位也研制了各种类型的绘图设备, 如 1973 年上海求新造船厂以正负法插补原理研制了 JHT-2 平台式绘图机。70 年代后期, 我国亦对平面电机驱动的高速绘图机进行了研制。中国科学院电工所 1974 年开始研制气浮的平面步进电机, 并把它应用到绘图机制造领域。在研制两台幅面为 $600 \times 600(\text{mm}^2)$ 样机的基础上又研制了半闭环式的幅面为 $1200 \times 1400(\text{mm}^2)$ 大型平面电机驱动的绘图机。该机 1981 年通过国家鉴定, 并获得了中国科学院科技重大成果一等奖。1979 年该项成果移交给哈尔滨龙江仪表厂正式生产。目前的产品有 PDH-I 至 PDH-IV 四种型号, 幅面以 $1000 \times 1400(\text{mm}^2)$ 至 $1600 \times 2800(\text{mm}^2)$ 。另外, 上海微电机所也生产了 PB 系列平面电机驱动绘图机, 有 PB-800, PB-1800 等四种型号。

除一般绘图机外, 龙江仪表厂还首次研制成功 PCH 型彩色喷墨绘图机。这是一种新型计算机便携式彩色图象输出设备, 它可以完成一切书写式绘图仪所难以表达的精细详图。由喷墨绘图机输出的图形具有不同的明影区及明暗度, 并有立体感及三维彩色图象的特殊功效。它具有喷笔与记录介质表面之间无机械接触的优点, 适用于地理、地貌描绘、地质岩层剖

面、遥感、气象、医学等复杂图形的图象处理。

§1-2 计算机绘图在科研生产中的应用和发展趋势

一、计算机绘图在科研生产中的应用

计算机绘图早期主要应用于外形具有流线型曲面的产品,如飞机机身外形设计,汽车与船舶的外形设计。由于这类产品外形过去都是以型线图表示,要求准确性高,而且离散的数据量极大。过去在小轿车的改型中,一般常规的生产从方案设计到产品出厂,大约需要三年时间。据统计,一艘20万吨级油轮设计,大约有四万张图纸(转换成4号图纸),需要设计时间10万小时,其中60%花在绘图中;而飞机设计过去长期采用模线样板法进行绘图,工作量极大。因此,在这类产品设计中,国外早就开始采用计算机辅助绘图,并开发了许多专用软件系统,如洛克希德飞机公司的CADAM系统。在最近十几年,由于微型机CPU芯片容量逐年成倍增长,交互技术硬件与软件的不断开发与使用,使得计算机绘图在各个生产领域都得到广泛的应用。据统计,美国1985年,CAD/CAM市场销售为25亿美元,1986年就增长到43亿美元。在所有CAD系统中,计算机辅助绘图的工作量占53%,而辅助设计仅占30%,分析占7%;计算机辅助制造占10%,由此可见,计算机绘图已成为CAD/CAM领域中极为重要的组成部分。

我国计算机绘图早期首先应用于造船工业,近十多年开始应用到航空、汽车、建筑、电子、地图以及轻工业部门的服装裁剪,甚至体育与文艺中也开始应用计算机绘图技术。特别在最近几年,由于美国AutoCAD交互图形软件包在IBM-PC机上得到广泛的应用,计算机绘图已经深入到各个基层生产设计部门。

二、计算机绘图的现状与发展趋势

计算机绘图的发展已有三十余年的历史,目前它正是一个迅速发展着的领域,60年代由于硬件和软件发展缓慢,其应用受到一定的限制。进入70年代后,伴随着硬件质量和功能的提高,以及成本的降低,再加上软件研究、开发飞速发展,特别是微机芯片集成度大幅度的增长,计算机绘图已进入实用的阶段,它沿着以下几个方面发展着。

(一) 由静态绘图向动态绘图方向发展

目前我国真正实用的绘图系统基本上是交互式绘图系统。在交互式绘图中,不仅可以在屏幕上对图形进行修改、删除、编辑等,还可进行动态分析,如建筑设计中,可以对设计的房屋加上实测的模拟地震波,就能在屏幕上看到房屋所能承受的地震震数等。

(二) 由二维图形软件向三维实体造型方向发展

目前在微机上使用的软件包绝大部分均属二维图形软件包。二维图形只能表示空间设计对象的某个局部投影。从设计的观点来看,在进行设计时,首先在人的思维中树立起来的是一种三维物体模型,因为它更直观、能更加全面地反映设计对象。一旦三维物体模型建立之后,再从三维模型生成二维视图、剖视及剖面图等,以及其他工程分析,如强度计算、有限元分析及工艺过程等。因此,工程人员就希望直接在屏幕上通过软件来构造三维实体模型,并能对它进行修改及编辑。因此,三维实体造型就是一个迫切需要解决的问题。

1973年,英国剑桥大学I. C. Braid首先发展了一个三维造型系统,即Build系统,它通过六个基本体素来构造三维形体。最近几十年中,美、英、法、德、日、瑞士等国家已开发了一些

三维实体造型系统。

随着硬件的发展,如今已能通过实体造型的方法在屏幕上构造成具有明暗度鲜明的色彩逼真的实体图象。最近几年,已开始对激光全息三维造型系统进行研究。它在屏幕上构造的三维形体和全息照像一样,可以从各个不同的角度观察,因此具有更加鲜明的立体感。

从80年代开始,我国各大学与科研单位也在这方面进行了大量的研究。1987年浙江大学CAD/CAM中心已成功地开发了三维造型系统,它已接近国外的某些系统,并已移植到32位的Apollo微机上。

(三) 向 CAD, CAM, CAG 三者一体化方向发展

一项产品的生产过程,按陈规首先是对产品进行各种科学计算,提出各种设计方案,进行优选,然后绘出图纸送去加工。现在这些工作都可由计算机辅助进行,并把计算机辅助设计、制造和绘图软件三者有机地结合在一起,形成所谓一体化软件。它们包含二维和三维的图形软件模块、三维几何造型模块、有限元分析前后置处理模块、数控编程模块以及三维数控刀具轨迹模块等。这样的CAD/CAM软件包可以完成产品的几何造型、设计、画图、分析直至最后生成数控加工带。目前不少这样的软件包已商品化。因此,CAD, CAM, CAG三者一体化配合使用将成为未来工业设计及管理自动化必然的发展趋向。

(四) 向分布式高档微机工作站方向发展

过去微机所以不能进行CAD, CAM, CAG工作,主要是内存容量太小,微机的核心CPU如今已由第一代4位进入到第四代32位,CPU芯片的集成度也由过去的2000个晶体管/片变成20万个晶体管/片,它的内存由数兆到数十兆,比过去的中小型机内存容量还大。因此,高档微机已基本上能胜任CAD/CAM的工作。由于它的体积小,价格低,对环境要求不苛刻,因此,未来的CAD/CAM工作大部分将在分布式的微机工作站上完成。每个工程设计人员具有自己独立的工作站,进行设计、绘图。同时,也可将各个工作站连成网络,与中央主机相连,以共享大型的软件,能进行高层次的CAD/CAM工作。

第二章 计算机绘图系统

§ 2-1 计算机绘图系统简介

人们常说的“自动绘图”、计算机绘图 (CG)、交互式绘图 (IG)、计算机辅助几何设计 (CAGD) 以及计算机辅助设计 (CAD) 等都是离不开数值计算和图形输出的。因此,计算机绘图系统是一个以计算机为主的系统,它除了有计算能力以外,还必须有产生图形的能力;而且可以用人机对话的方式联机工作,这种图形系统称之为交互式计算机图形系统。它的组成及所具有的功能为:

一、计算机绘图系统的组成

计算机绘图系统主要由硬件及软件组成。

硬件一般指主计算机及其它必要的外部设备(图形输入和图形输出设备)。

软件通常分为三部分:应用程序,数据库及图形系统。应用程序将信息存入数据库或从数据库中提取信息;还向图形系统传送图形命令,说明物体的几何特征;并要求图形系统读取输入设备的值,将一系列画图子程序转换成图形,显示在终端上。而数据库则用以保存被显示物体的信息。图形系统应能提供对图形的数据描述,即定义物体的几何坐标数据,物体的属性

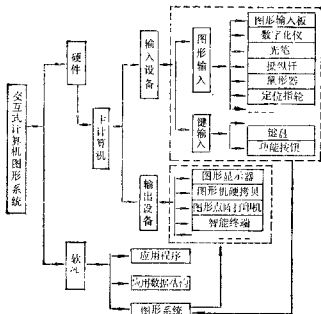


图 2-1 交互式计算机图形系统

(物体的颜色,轮廓线型等)及物体各部分连接关系的坐标数据。整个交互式计算机图形系统的组成及相互间的关系如图 2-1 所示。

二、计算机绘图系统的功能

一个计算机绘图系统至少应具备下面五个方面的功能。

1. 计算功能 应包括形体设计、分析的方法程序库和有关描述形体的图形数据库。
2. 存储功能 在计算机的内存及外存中能够存放图形数据,尤其要存放图形数据之间的相互关系。

3. 对话功能 通过图形显示器直接进行人——机通信。

4. 输入功能 把设计过程中图形的形状尺寸,必要的参数和命令等输入到计算机中。

5. 输出功能 为长期保存分析、传递、交换计算结果或对话需要的图形信息等。由于对输出的结果有精度、形式、时间等要求不同,因此,输出设备也是多种多样的。

这五种功能是一个图形系统所具备的最基本的功能,至于每一功能中还有哪些能力,则因不同的系统而异,其系统基本功能框图如图 2-2 所示。

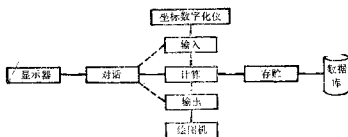


图 2-2 计算机图形系统基本功能框图

§ 2-2 常用图形输入输出设备

在一个基本的计算机图形系统中,除计算机以外,各种图形输入输出设备是必不可少的。图形输入设备是将用户的图形数据、各种命令转换成电信号传送给计算机。同样,图形输出设备则将计算机处理好的结果转换成可见的图形呈现在用户面前。

一、常用的图形输入设备

常用的图形输入设备从逻辑功能上来看可分为六种,如表 2-1 所示。而实际的输入设备往往是某些逻辑输入功能的组合。为了便于了解,我们仅介绍以下几种常用的图形输入设备。

1. 键盘

此键盘同一般的电传打字机、控制台打字机键盘相似。除通常的 ASCII 编码的键外,还附有一些命令键和功能键,以完成图形操作时的某一特定功能,如指定光笔工作方式等。

2. 图形输入板

表 2-1 常用输入设备的功能

名 称	相应的典型设备	基 本 功 能
定位 (Locator)	叉丝, 拨指轮	输入一个点的坐标
笔划 (Stroke)	图形输入台板	输入一系列点的坐标
数值 (Valuator)	数字键盘	输入一个整数或实数
选择 (Choice)	功能键, 光笔选择按钮	根据一个非值的离散数据, 作一种选择
拾取 (Pick)	光电接触屏幕上已显示的图形	通过一种拾取状态来识别一个显示着的形体、图组或元素
字符串 (String)	文字键盘	输入一串字符

图形输入板有电磁感应式、电容式和电声式等数种, 其分辨率一般为 $0.1 \sim 0.25$ 毫米。小面积的有效面积为 $260 \times 280(\text{mm}^2)$ 。图 2-3(a) 所示为 K-510 型图形输入板, 它为电磁感应式, 分辨率为 0.1 毫米。

它的工作原理为: 面板下有强磁物质制作的磁条, 并定期予以磁化。根据电磁感应原理,

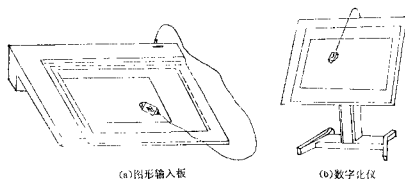


图 2-3 图形输入板和数字化仪

板上的电磁感应强度各不相同, 当游标或一支电磁感应笔处于板面上的某一点时, 由游标内的灵敏检测放大器拾取其电磁感应强度, 通过板下所装置电子回路, 将其转化为数据送入计算机。操作时, 使用游标或电磁感应笔在台板上作画, 便可在屏幕上显示相同轨迹的图形来。

3. 数字化仪

数字化仪, 如图 2-3(b) 所示, 可以用来输入复杂的图形。它可以把图形转换成坐标数据的形式储存, 也可以重新在图形显示器或绘图机上复制成图。它比图形输入板幅面大, 精度高。一般分辨率可达到 0.025 毫米, 幅面可为 $814 \times 739(\text{mm}^2)$, 多为电磁感应式。工作方式与图形输入板类似。使用时, 操作者把图纸放在面板上, 用带有若干按键和精密十字准线的盘状指示器跟踪图线移动就能完成读取图线的坐标数据工作。

4. 光笔

光笔是一种检测装置, 确切地说是能检测出光的笔。其外形象一支圆珠笔, 它由笔杆, 透镜组, 光导纤维以及光电倍增管和开关电路等组成, 如图 2-4 所示。

光孔直径约 $2 \sim 5$ 毫米, 笔体用绝缘材料制成, 光导纤维是由石英拉成的多股细丝束。从光笔的光孔经透镜组检测到荧光屏上的光, 通过光导纤维送到光电倍增管, 使其转变为电信号, 然后再经过放大整形电路, 以获得标准脉冲输给计算机。

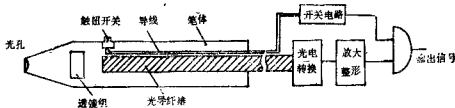


图 2-4 光笔结构示意图

光笔的功能一般有两种：拾取和跟踪。

拾取是指在屏幕上有图形的条件下，用光笔选取某一图形元素作为参考点，并对图形实施处理的过程。它可以对屏幕上的图形进行删改，可以利用建立光标按钮或“菜单”的方式输入标准图形或操作命令。

跟踪是指在屏幕上显示出一个光标，再实施定位的过程。跟踪时，光标在光笔的带领下在屏幕上运动，可以在屏幕上直接作图，也可以求出已有图形上的若干离散点。当然，这要有相应的软件配合。

5. 鼠标器和定标器

鼠标器上部有一个或多个按钮，底部孔内装有与电位器联结的小球。操作时，鼠标器沿桌面移动，靠摩擦力使小球转动，带动电位器控制光标移动，画出所希望的图形和索取所希望的坐标位置，如图 2-5(a) 所示。定标器作用与鼠标器基本相同：它们上面都有一个叫“pick”

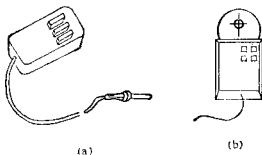


图 2-5 鼠标器和定标器

(拾取)的按钮，是用来在屏幕或数字化仪上拾取指定点的位置或菜单项的。定标器如图 2-5(b) 所示。

二、常用的图形输出设备

常用的图形输出设备一般分为两类：一类是与图形输入设备相结合，构成具有交互功能的可以快速地生成和删除、修改图形的显示系统；另一类是在纸上或其他介质上输出可以永久保存的图形的绘图系统。

(一) 显示设备

1. 联机扫描的图形显示器

这样的显示器又称为直线画线器或轨迹扫描器。它的基本工作过程是：从显示文件存储器中取出画线指令或显示字符指令、方式指令(如亮度、线型等)，送到显示控制器，由显示控

制器控制,从而在荧光屏上出现图形轨迹。由于此设备具有高度的动态性能、较高的分辨率,明显的对比度,以及线条质量好,易于修改等优点,因此在许多图形系统中仍然使用它作为图形输出设备。

2. 光栅扫描式图形显示器

这种图形显示器是基于电视机的工作原理。它是电子束在水平偏转线圈产生的水平磁场作用下,沿着水平方向扫描;在垂直偏转线圈所产生的垂直磁场作用下,电子束沿着垂直方向扫描,这样每幅图象可扫描 512×512 个点(或更多)。每一个点称为一个像素,每一个像素可以具有不同的灰度及颜色等属性,即可显示不同的图形。

光栅扫描的图形显示器不仅可以显示物体的轮廓线、特征线等所谓线图形,而且可以显示被多种灰度和色调的像素所填充的所谓面图形。即可以输出具有真实感的立体图形。另外,它具有较好的动态性能,适于做模拟器,当前微机上配置的显示器就是这种类型。它的不足之处是在交互操作时的响应慢,输入图形信息比较费时。

(二) 绘图设备

自动绘图仪是绘图系统中最重要设备,随着生产发展的需要,它一方面向着高精度、高速度的方向发展,另一方面向着小型智能化的方向发展。主要有三种类型:

1. 滚筒式绘图仪

这种绘图仪是用两台电机分别带动绘图纸和绘图笔运动,从而产生图形轨迹。绘图纸卷在筒上由电机带动沿着一个方向($\pm X$ 方向)运动,而绘图笔架在纸筒上方由另外的电机带动,沿垂直于纸的方向($\pm Y$ 方向)运动。如图 2-6 表示了它的结构原理和传动示意图。笔架上带

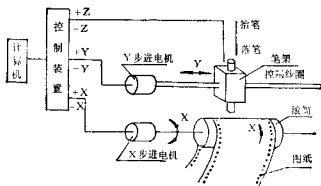


图 2-6 滚筒式绘图仪

有几种颜色的笔,从而可以画出不同颜色的图形。这种绘图仪结构简单,价格便宜,易于操作,但精度、速度不可能太高。

2. 平板式绘图仪

这种绘图仪的特点是绘图纸平铺在绘图平板上,平板板面从 200×300 到 1800×5500 (mm^2) 不等,甚至长度可达十多米。由于图纸完全平铺在板面上,因此便于设计人员监视绘图过程,而且易于将绘图笔架改为刻图刀架进行刻图。

从驱动方式来看,平板式绘图仪通常分为两种:一种为步进马达驱动、机械传动的绘图仪,如图 2-7 所示;另一种是平面电机驱动式,如图 2-8 所示。

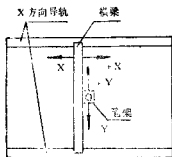


图 2-7 平台式绘图机

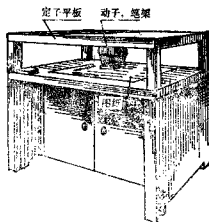


图 2-8 平面电机型绘图机

机械传动的绘图仪的传动装置一般用钢丝绳或齿轮、齿条，需要在 X, Y 两个方向上用步进电机拖动笔架运动，笔架装在横梁上。平面电机驱动的绘图仪采用两轴同时驱动的单向脉冲电机，电机的可动部分（称转子），与不动部分（称定子）均为平板，因而有平板电机之称。这种绘图仪由于转子重量较轻，因此，可以产生比较高的速度。由于绘图笔架直接装在转子上，省去了机械传动机构，可以减少由于机械传动引起的误差及烦琐的维修工作，延长了使用寿命。

评价自动绘图仪的质量优劣主要是绘图精度及绘图速度；还要看其它性能指标：计算机的运算速度，内外存储容量的大小，绘图幅面及经济性能等多方面。

表 2-2 几种绘图仪的比较

型 式	平台式	滚筒式	平面电机式	小型式
基 本 性 能				
绘图总精度 (毫米)	$\pm 0.01 \sim 0.025$	$\pm 0.1 \sim 0.3$	± 0.01	± 0.3
最高速度 (米/分)	10~20	6~9	60~90	8, 16, 38 (毫米/秒)
绘图幅面 (毫米 ²)	A1 号 1200×1500 以上	730×75000 930×75000	A0, A1, A2	A2, A3
优 点	1. 绘制高精度图形 2. 幅面可大可小 3. 绘图过程可监视全部图形 4. 可装刻线笔、擦除头等	1. 可高速进行图形处理 2. 选取出图易于实现无人操作 3. 机身较小，结构简单，便于维修	1. 高速绘制图形和刻线 2. 绘图精度高 3. 结构简单，可靠性好	1. 操作简单，使用方便 2. 机身小，结构简单，便于维修
缺 点	1. 图纸要紧固，易产生褶皱 2. 机身大，对机房管理要求高 3. 价格较高	1. 绘图时，不能监视整个图形 2. 精度不高 3. 必须使用特殊规格的纸张 4. 价格较低	1. 图纸放在定子与转子之间，不能监视绘图过程 2. 高速对图笔要求高 3. 价格较高	1. 功能较小，精度、速度均低 2. 价格低廉

表 2-2 列出了几种类型的绘图机的优缺点比较,供参考。

3. 点阵式打印机

点阵式打印机是用点阵来表示一个图形的,它又分为针式、静电式和喷墨式几种形式。它们的机械结构不同,针式打印机是利用细针和色带打印;静电打印是利用静电作用;喷墨打印是利用喷墨汁打印。但它们的工作原理是相似的,以针式点阵打印机为例,在打印头上装有一系列打印针,在打印纸与打印头之间有色带,打印头作左右移动,而打印纸在打印头每左右移动一次后,以一定的行距向前移动,打印头的每一支针都可伸出而将色带上的颜色打印在纸上。

点阵打印机工作方式通常分为字符模式和图形模式。在字符模式中,只要把字符的编码送到打印机就能打印该字符;在图形模式中,则需要把图形的点阵化为二进制信息送到打印机才能打印。

§ 2-3 绘图机的作图原理

从绘图机的构造上看,绘图机具有 X 方向和 Y 方向两种传动运动。因此,画笔或纸的移动是由计算机控制驱动部件(伺服电机,步进电机)来实现。当计算机向驱动部件发出一个走步脉冲时,画笔就移动一个距离,这个距离称为绘图机的步距。由于画笔只能作 X 或 Y 方向的移动,一般来说,画笔的走步就设计成四个基本方向即: $+X$, $+Y$, $-X$, $-Y$ 或八个方向 $+X$, $+Y$, $-X$, $-Y$, $+X+Y$, $+X-Y$, $-X+Y$, $-X-Y$, 如图 2-9 所示。因此,绘图机可以绘出八个方向的直线,而要画斜线、圆弧或曲线时,就要对两个方向的信息进行适当的控制,常用的方法是进行插补运算。

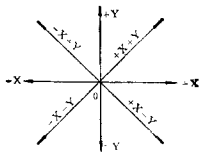


图 2-9 画笔的移动方向

一、绘图机的动作

走步:沿四个或八个方向走步移动。

抬笔:使笔尖离开纸面,准备空走。

落笔:使笔尖接触纸面,准备画线。

回机器的零点:抬笔走到绘图机台面左下角的固定点。

回图形原点:抬笔走到用户定义的绘图坐标的原点。

选笔:对于多笔绘图机,可以自动选笔。

二、插补运算

插补运算就是按给出的基本数据(如直线的起、止点坐标)插补出中间点的坐标,从而产生

出直线、曲线的形状。一边计算，一边根据计算结果输出两个方向的脉冲控制画笔移动。这样，画笔实际上是画出一条阶梯状折线。如图 2-10 所示。

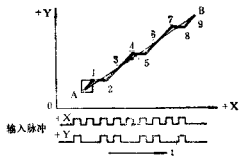


图 2-10 画笔走步图

由于绘图机的步距很小，一般在 0.01~0.2 毫米内，因此，所画折线是肉眼看不清楚的，即从宏观上看，它就是光滑的。

插补运算的方法有多种，应用较广的是逐点比较法、数字积分法和微分分析法。这里，只介绍逐点比较法的插补原理，其控制过程可用图 2-11 的框图表示。即：画笔每移动一步，插补机就进行一次计算，判别一次画笔当时所在的位置与理论位置的偏差大小，从而决定应向哪个方向走步；再向拖动画笔的沿该方向移动的电机发出一个指令脉冲，控制画笔向所决定的走步

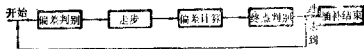


图 2-11 插补过程框图

方向移动一步；同时，画笔每走一步，所走的步数累加起来和所画线段的终点坐标比较，进行终点判别，当其差值为零或小于一个步距时，表示已到达终点，插补自行停止，否则继续循环往复。现在，以直线和圆弧为例，说明逐点比较法的具体插补过程。

三、直线插补

要画第一象限内的直线 OA，始点为 O(X_0, Y_0)，终点为 A(X_A, Y_A)，画笔当前的位置为 K(X_k, Y_k)，则 K 点相对于 OA 有三种不同的位置，如图 2-12。即：K 点在 OA 线上；K

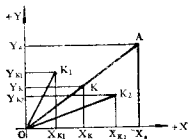


图 2-12 K 点与直线 OA 的相对位置

点在 OA 线的上方；K 点在 OA 线的下方。

若 K 点在 OA 线上，则有：

$$\frac{Y_A}{X_A} = \frac{Y_k}{X_k} \text{ 或 } Y_k \cdot X_A - X_k \cdot Y_A = 0$$

令K点的偏差判别式为:

$$F_k = X_k \cdot Y_k - X_k \cdot Y_k$$

此时,当K点在 OA 线上时, $F_k = 0$ 。

若K点在 OA 线上方(图中 K_1), 则有

$$\frac{X_k}{Y_k} > \frac{X_k}{Y_k} \quad \text{即有 } F_k > 0$$

若K点在 OA 线下方(图中 K_2), 则有

$$\frac{X_k}{Y_k} < \frac{X_k}{Y_k} \quad \text{即有 } F_k < 0$$

对第一象限内直线, 插补时规定:

当 $F_k \geq 0$ 时, 画笔沿 +X 方向走一步, 用 $+\Delta X$ 表示;

当 $F_k < 0$ 时, 画笔沿 +Y 方向走一步, 用 $+\Delta Y$ 表示。

对直线的偏差判别式还可利用递推法予以简化; 当 $F_k \geq 0$ 时, 画笔沿 +X 方向移动一个单位步长, 到达第 $k+1$ 点, 则第 $k+1$ 点的坐标应为 (X_{k+1}, Y_k) 。

新的偏差

$$\begin{aligned} F_{k+1} &= X_{k+1} \cdot Y_{k+1} - X_{k+1} \cdot Y_k = X_{k+1} \cdot Y_k - (X_k + 1) \cdot Y_k \\ &= X_{k+1} \cdot Y_k - X_k \cdot Y_k - Y_k = F_k - Y_k \end{aligned}$$

当 $F_k < 0$ 时, 画笔沿 +Y 方向移动一个单位步长, 到达第 $k+1$ 点, 则第 $k+1$ 点的坐标应为 (X_k, Y_{k+1}) 。

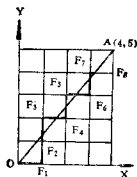
新的偏差

$$F_{k+1} = X_k \cdot (Y_k + 1) - X_k \cdot Y_k = F_k + X_k$$

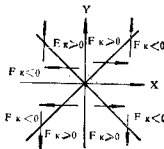
从上面可知, 沿 +X 方向走步时, 新偏差等于前一点的偏差值减去终点的 Y 坐标; 沿 +Y 方向走步时, 新偏差等于前一点的偏差值加上终点的 X 坐标。这样每走一步就进行一次计算和判断, 直到终点为止。

如图 2-13(a), 对第一象限的直线 OA 进行插补运算, 始点为 $O(0,0)$, 终点 $A(4,5)$, 设步距为 1, 其插值运算过程如表 2-3 所示。

对于其他象限的直线插补方法与第一象限是相同的, 其区别仅仅是规定不同象限内插补



(a) 直线插补运算



(b) 不同象限内直线插补的判断符号

图 2-13 直线插补

表 2-3 直线的插补过程

序号	偏差判别	走步方向	偏差计算	终点判断
起点			$F_0 = 0$	$Y_0 > X_0, \Sigma_0 = Y_0 = 5$
1	$F_0 = 0$	$+\Delta X$	$F_1 = F_0 - Y_0 = 0 - 5 = -5$	$\Sigma_1 = 5$
2	$F_1 < 0$	$+\Delta Y$	$F_2 = F_1 + X_0 = -5 + 4 = -1$	$\Sigma_2 = 5 - 1 = 4$
3	$F_2 < 0$	$+\Delta Y$	$F_3 = F_2 + X_0 = -1 + 4 = 3$	$\Sigma_3 = 4 - 1 = 3$
4	$F_3 > 0$	$+\Delta X$	$F_4 = F_3 - Y_0 = 3 - 5 = -2$	$\Sigma_4 = 3$
5	$F_4 < 0$	$+\Delta Y$	$F_5 = F_4 + X_0 = -2 + 4 = 2$	$\Sigma_5 = 3 - 1 = 2$
6	$F_5 > 0$	$+\Delta X$	$F_6 = F_5 - Y_0 = 2 - 5 = -3$	$\Sigma_6 = 2$
7	$F_6 < 0$	$+\Delta Y$	$F_7 = F_6 + X_0 = -3 + 4 = 1$	$\Sigma_7 = 2 - 1 = 1$
8	$F_7 > 0$	$+\Delta X$	$F_8 = F_7 - Y_0 = 1 - 5 = -4$	$\Sigma_8 = 1$
9	$F_8 < 0$	$+\Delta Y$	$F_9 = F_8 + X_0 = -4 + 4 = 0$	$\Sigma_9 = 1 - 1 = 0$ (到达终点)

的走步方向有所不同,图 2-13(b) 表示了在不同象限内的直线插补的判别符号及走步方向的关系。

四、圆弧插补

圆弧插补也是根据画笔当时的位置是在圆弧上,还是在圆弧内或在圆弧外进行判别的。图 2-14 所示为第一象限内的圆弧,其半径为 R , 圆心位于坐标原点上,圆的方程应为:

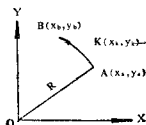


图 2-14 圆弧的插补

$$X^2 + Y^2 = R^2$$

若令圆弧关于点 $K(X_k, Y_k)$ 的判别式为 F_k , 则

$$F_k = X_k^2 + Y_k^2 - R^2$$

并规定沿逆时针方向画圆。

当 $F_k \geq 0$ 时,画笔沿 $-X$ 走一步,用 ΔX 表示;

当 $F_k < 0$ 时,画笔沿 $+Y$ 走一步,用 ΔY 表示。

圆弧插补时,其判别式的值也可以用递推公式计算。设绘图机步距为 1, 当画笔从点 K 向 $-X$ 方向走一步到第 $k-1$ 点时,则第 $k-1$ 点的坐标为 (X_{k-1}, Y_k) 。

新的偏差:

$$\begin{aligned} F_{k-1} &= X_{k-1}^2 + Y_{k-1}^2 - R^2 = (X_k - 1)^2 + Y_k^2 - R^2 \\ &= X_k^2 + Y_k^2 - R^2 - 2X_k + 1 = F_k - 2X_k + 1 \end{aligned}$$

同理,当 $F_k < 0$ 时,画笔从点 K 向 $+Y$ 方向走一步到点 $k+1$, 则第 $k+1$ 点的坐标为 (X_k, Y_{k+1}) 。

新的偏差

$$F_{k+1} = X_{k+1}^2 + Y_{k+1}^2 - R^2 = X_k^2 + (Y_k + 1)^2 - R^2 \\ = F_k + 2Y_k + 1$$

从上面可知, 沿 $-X$ 方向走步时, 新偏差等于前一点的偏差值加上 $(-2X_k + 1)$; 沿 $+Y$ 方向走步时, 新偏差等于前一点的偏差值加上 $(2Y_k + 1)$; 每走一步进行一次计算, 判别, 直到终点为止, 终点的判断可用沿两坐标方向走步的总数作为计数之和。

例如, 对第一象限的圆弧 $\widehat{AB}$, 沿逆时针方向进行插补运算, 始点 $A(5, 0)$, 终点 $B(3, 4)$, 圆心 $O(0, 0)$, 半径 $R = 5$, 绘图机的步长为 1, 其插补运算结果如表 2-4 所示。

表 2-4 圆弧的插补过程

序号	偏差判别	走步方向	偏 差 计 算	终点判断
起点			$F_0 = 0 \quad X_0 = 5 \quad Y_0 = 0$	$ X_0 - X_b = 2$ $ Y_0 - Y_b = 4$ $\Sigma_0 = 2 + 4 = 6$
1	$F_0 < 0$	$-\Delta X$	$F_1 = F_0 - 2X_0 + 1 = 0 - 2 \times 5 + 1 = -9$ $X_1 = X_0 - 1 = 5 - 1 = 4 \quad Y_1 = Y_0 = 0$	$\Sigma_1 = 6 - 1 = 5$
2	$F_1 < 0$	$+\Delta Y$	$F_2 = F_1 + 2Y_1 + 1 = -9 + 0 + 1 = -8$ $X_2 = X_1 = 4 \quad Y_2 = Y_1 + 1 = 1$	$\Sigma_2 = 5 - 1 = 4$
3	$F_2 < 0$	$+\Delta Y$	$F_3 = F_2 + 2Y_2 + 1 = -8 + 2 + 1 = -5$ $X_3 = X_2 = 4 \quad Y_3 = Y_2 + 1 = 2$	$\Sigma_3 = 4 - 1 = 3$
4	$F_3 < 0$	$+\Delta Y$	$F_4 = F_3 + 2Y_3 + 1 = -5 + 4 + 1 = 0$ $X_4 = X_3 = 4 \quad Y_4 = Y_3 + 1 = 3$	$\Sigma_4 = 3 - 1 = 2$
5	$F_4 = 0$	$-\Delta X$	$F_5 = F_4 - 2X_4 + 1 = 0 - 8 + 1 = -7$ $X_5 = X_4 - 1 = 4 - 1 = 3 \quad Y_5 = Y_4 = 3$	$\Sigma_5 = 2 - 1 = 1$
6	$F_5 < 0$	$+\Delta Y$	$F_6 = F_5 + 2Y_5 + 1 = -7 + 6 + 1 = 0$ $X_6 = X_5 = 3 \quad Y_6 = Y_5 + 1 = 4$	$\Sigma_6 = 1 - 1 = 0$ 到达终点

同样, 绘制其他象限的圆弧时, 对不同判别式值规定的走步方向如图 2-15 所示。

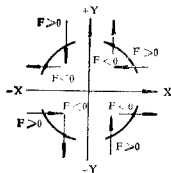


图 2-15 圆弧插补的走向

第三章 常用绘图程序设计

§ 3-1 绘图软件简介

一、基本概念

计算机由硬件和软件两部分组成。自动绘图仪是计算机的输出设备之一，也包括硬件和软件两部分，硬件部分在第二章已作了阐述，本章将着重论述绘图软件的设计方法。利用计算机绘图，一般要编制绘图软件。绘图软件是由许多子程序组成的子程序包，用来实现图形和数据之间的相互转换。最基本的绘图软件通常由生产绘图仪的厂家提供，它给用户带来了极大的方便。绘图软件功能的齐全与否，是评价绘图仪性能的一项非常重要的指标。

二、绘图软件子程序的组成

随着计算机图形学的不断普及和推广，微机绘图技术的应用发展很快，绘图软件也不断地推出并被应用。绘图软件子程序大致分以下三类：

（一）基本子程序

任何一个图形都可以看成是由直线与圆弧组成（曲线可以取取分段并由圆弧或直线来逼近）。基本子程序主要是用来描述绘笔的动作、图形的比例、绘制圆或圆弧、各种线型、字符、数字；建立不同的坐标系等功能的基本作图程序。我们预先将上述基本作图程序均好并存入计算机。这样，在编制绘图程序时，只需调用上述基本作图程序，就可以实现自动绘制各种图形，而不必再重复编写上述程序，从而大大提高了编程效率。基本作图子程序又称一级绘图软件。

（二）功能子程序

它是在基本子程序的基础上进一步扩充的绘图功能，如画三角形、多边形、圆、曲线以及几何计算子程序等等。功能子程序又称二级绘图软件。

基本子程序和功能子程序均属通用性的软件，它概括了各绘图行业中绘制各种图形的共同要求，如比例、坐标变换、画直线、圆、写字符及抬笔、落笔控制等，适用范围广且通用性强，因此各绘图部门均普遍使用。

（三）应用子程序

基本子程序和功能子程序都存入计算机内，可给用户使用方便。但是，过多的增加这类子程序，使子程序占用计算机的大量存储单元，从计算机的使用效率来看是不经济的。因此，对某些通用性较小、针对性强但又比较复杂的图形，应单独编制专门的绘图程序。例如，机械图、建筑图等。这类子程序称为应用子程序，又称三级绘图软件。

上述子程序（某些应用子程序除外）可构成一个子程序库，编制绘图程序时，不断地从该程序库里调用各种绘图子程序。最早采用这种方法的是美国卡尔康公司，它研制了卡尔康图形处理软件。其它如法国的本森（Benson）、日本的达浦（DAP）等图形处理软件，以及美国的AutoCAD 软件等均属这类具有子程序库的图形处理软件。

§ 3-2 绘图程序设计

一、计算机绘图程序的特点

(一) 用大量调用子程序来编写绘图程序

一个绘图软件,不管它是用什么语言写的,供用户使用的是一些子程序,如几何定义子程序、功能子程序以及应用子程序等。每个子程序描述一个图案(组成复杂图形的基本图形)。所以编写一个图形的绘图程序,可以通过调用大量基本图形或图案的子程序的方法来编写。

如图 3-1(a) 所示为阶梯轴,分析其图形特点可知,它由一些简单的基本图形和图案所组成如图 3-1(b)。

为此,我们可以把阶梯轴分解成一些典型的基本图形和图案,将它们编制成一系列基本子

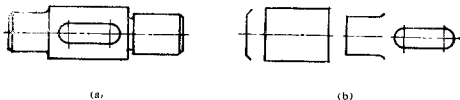


图 3-1 阶梯轴

程序,绘制这一类阶梯轴时,调用这些基本子程序,组合成所要求的轴的图形。

(二) 用图形变换法来实现对图形的处理

一个图形常常是一些相同图案在不同位置的组合。绘制这些图形时,只需把相同的图案用平移、旋转、反射、剪切等变换方法处理,即可得出不同位置的输出,从而简化了绘图程序。

如图 3-2 中,六个六角形可看成由六角形 A 绕 O 点旋转变换产生的。

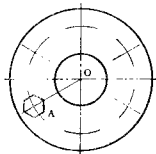


图 3-2 旋转变换

(三) 图形的数学模型是绘图程序中的主要部分

计算机绘图是把图形用数学方法处理后,建立某种能产生图形的数学模型,编写成绘图程序,输入计算机,通过运算再输出信息,控制绘图仪绘出图形。由此可见,绘图问题归根结底是一个数学问题。所以,对图形的数学处理是绘图程序中的主要部分。一个绘图程序的质量高低,从某种意义上讲,图形的数学处理方法的好坏起着决定性的作用。