

高等学校教材

微机绘图与程序设计

王建华 主编

机械工业出版社

91.44
H.2/1

目 录

前言		第七章 零件图和装配图的程序设计	156
第一章 绪论	1	第一节 概述	156
第一节 计算机绘图概述	1	第二节 图幅及标题栏的程序设计	158
第二节 计算机绘图在科研和生产中的应用	2	第三节 尺寸标注及符号的程序设计	161
第三节 计算机绘图的现状及发展趋势	3	第四节 剖面线的程序设计	172
第二章 计算机绘图系统	6	第五节 典型零件的程序设计	183
第一节 计算机绘图系统简介	6	第六节 典型装配图的程序设计	191
第二节 常见的图形输入输出设备	8	习题	193
第三节 绘图机的绘图原理	11	第八章 三维图形消除隐藏线的处理	194
习题	15	第一节 消除隐藏线的原理	194
第三章 基本绘图软件	16	第二节 消隐的计算方法	196
第一节 概述	16	第三节 消隐程序设计及举例	198
第二节 SPL-450 绘图机绘图命令	16	第四节 任意平面立体的消隐方法	201
第三节 绘图软件设计	24	习题	205
第四节 DMP 绘图机命令简介	31	第九章 裁剪与窗口	206
习题	34	第一节 窗口与视区	206
第四章 屏幕绘图	35	第二节 直线段的裁剪	209
第一节 微机图形系统	35	第三节 任意多边形的裁剪	215
第二节 IBM-PC 图形显示器的屏幕 工作特性	35	习题	217
第三节 IBM-PC BASIC 的图形功能	40	第十章 曲线与曲面	219
第四节 图形显示应用程序	58	第一节 概述	219
第五节 动态画面程序设计	65	第二节 曲线	220
习题	69	第三节 曲面	248
第五章 常用绘图程序设计	71	习题	255
第一节 绘图软件概述	71	第十一章 数据结构	256
第二节 绘图程序设计	71	第一节 概述	256
第三节 常用基本绘图程序设计	73	第二节 线性表	257
习题	88	第三节 树	264
第六章 图形的矩阵变换及程序设计	90	第四节 数据结构在绘图中的应用举例	267
第一节 概述	90	习题	270
第二节 二维图形的矩阵变换及程序设计	90	第十二章 交互式计算机绘图	272
第三节 三维图形的矩阵变换	105	第一节 概述	272
第四节 立体的三视图和轴测图的程序 设计	120	第二节 交互式计算机绘图程序设计	273
第五节 三维透视投影变换及程序设计	148	第三节 微机交互式设计绘图软件简介	278
习题	154	习题	305
		参考文献	307

第一章 绪 论

第一节 计算机绘图概述

一、计算机绘图的由来

计算机绘图 (Computer Drawing) 是随着计算机科学迅速发展而形成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,应用计算机及其图形输入、输出设备,实现图形显示、绘图输出及图形设计,是计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 的重要组成部分。它研究的内容包括二维及三维图形的定义、存储、处理、访问和提供图形输出的全过程。

图形是人类信息的载体之一,在人类的生产活动中,经常要绘制各种图样,从简单的统计图表、曲线,到复杂的建筑设计图和机械装配图;从二维服装裁剪平面图,到精密的集成电路图;从美术图案,到动画及广告等。传统的手工绘图是一项细致、复杂而繁重的劳动,不但效率低,劳动强度大,而且绘图质量不易保证。现代科学技术的飞速发展,使得某些图样越来越复杂,对绘图的精度要求越来越高,像大规模集成电路掩模图、航天飞机及宇宙空间飞行器复杂的曲面外壳等已非手工绘制所能胜任。特别是市场竞争激烈,要求各类产品更新换代十分迅速,设计绘图必须高效率地完成。因此,利用计算机的高速运算、处理和存储大量信息的能力,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、国外计算机绘图发展概况

1950年,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院旋风1号 (Whirlwind I) 计算机的附件诞生了。这台显示器利用了类似于示波器所用的阴极射线管 (CRT) 来显示一些简单图形。1952年,美国麻省理工学院研制成功了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。而美国格伯 (Gerber) 科学仪器公司根据数控机床的工作原理,于1958年生产了世界上第一台平台式自动绘图机。与此同时,美国加利福尼亚州计算机制造公司 (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。1963年,麻省理工学院林肯实验室的 E Ivan Sutherland 发表了一篇题为 "Sketchpad: 一个人-机通信的图形系统" 的博士论文,他在论文中首次使用了 "Computer Graphics" 这个术语,证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确立了计算机图学作为一个崭新的科学分支的独立地位。到60年代中期,美国麻省理工学院、通用汽车公司、贝尔电话实验室、洛克希德飞机公司以及日本、前联邦德国、英国剑桥大学等均开展了大规模的研究,从而使计算机绘图进入了蓬勃发展,并逐步得到广泛应用的时期。70年代以后,随着计算机系统、图形输入输出设备的迅速发展及更新,计算机系统软件和图形软件功能的不断完善,交互式的计算机绘图除了在军事、科研、工业上的应用之外,还在教育、商业、艺术、管理等许多领域得到了广泛的应用。

三、国内计算机绘图发展概况

我国开展计算机绘图设备的研究是从1967年开始的,并先后在上海自动化仪表二厂(现上海大华仪表厂)和内蒙古呼和浩特市电子设备厂试制成功了LZ-5型和MSB-1型平台式小型绘图机。1973年,又在上海开始研制大型数控绘图机的工作,于1976年试制成功了具有70年代初期国际水平的HTJ-1855型大型数控绘图机。目前,随着科学技术的迅猛发展,国内对绘图系统的需求日益增加。在引进国外绘图设备的同时,国内已有许多工厂生产多种型号的滚筒式绘图机和平板式绘图机,如由中国科学院电工所研制,哈尔滨龙江仪表厂生产的PDH-I至PDH-IV四种型号,幅面为1000mm×1400mm至1600mm×2800mm的平板式绘图机。上海微电机所生产的PB系列平面电机驱动绘图机,有PB-800, PB-1800等四种型号。哈尔滨龙江仪表厂还研制成功了PCH型彩色喷墨绘图机,这是目前国际上较先进的一种新型计算机硬拷贝彩色图象输出设备。它可以完成一切书写式绘图仪所难以表达的精细详图,输出的图形具有不同的阴影区及明暗面,并有立体感及三维彩色图象的特殊功效,适用于地理、地貌描绘,地质岩层剖面、遥感、遥测、气象、医学等复杂图形的图象处理。

在配置绘图软件系统方面,也取得了可喜的成果。特别是“七五”期间,国家安排了CAD的许多重点科技攻关项目,例如几个机种上的CAD系统软件的研制,24个重点产品对象的大型CAD应用系统的开发与应用等。为适应我国计算机用户的需要,计算机绘图软件的“汉化”进展迅速,已研制成功了多种交互式“汉化”绘图系统。随着计算机的推广使用,我国计算机绘图应用软件的研制、开发工作,必将获得更加丰硕的成果。

第二节 计算机绘图在科研和生产中的应用

近20年来,由于计算机硬件及图形设备的不断增强和绘图系统软件的不断完善,使得计算机绘图已渗透到许多行业,并得到广泛应用。目前,主要的应用领域有:

(1) 计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM) 这是一个最广泛、最活跃的应用领域。据统计,在所有的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,计算机绘图是CAD/CAM领域中极为重要的组成部分。计算机绘图被应用于航空、造船、电子、机械、土木建筑等工程设计,包括设计发电厂、化工厂、汽车车身、飞机或船舶的外形以及电子线路或器件等等。有时,侧重点在于产生部件或结构的精确图样,如机械零件图及整机装配图,建筑物投影图,透视图,管道配置图等。然而更常用的是对所设计的系统和部件的图形实现人一机交互设计和布局。经过反复的迭代设计,便可利用结果数据输出零部件表、材料单以及数控加工数据信息。例如,计算机绘图应用于集成电路设计、印制线路板设计,以及电子线路和网络分析等方面,其优点是十分明显的。一个复杂的超大规模集成电路版图根本不可能用手工设计和绘制,用计算机绘图系统不仅能进行设计和画图,而且可以在较短时间内完成。然后还可以利用计算机来检查设计,只需几分钟就可以将设计修改完毕。又例如飞机设计方案的选择和外形设计最后要落实到飞机几何外形和结构图样上,这些工作都可以由计算机绘图来完成。它包括飞机外形光滑、曲线曲面拟合和建立外形数学模型等全过程,直至最终绘出全部零件图样。还有像厂房平面布置、建筑结构设计、应力分析等等,计算机绘图系统都可以成为得力的工具。

(2) 科学、技术及事物管理 可以用来绘制数学的、物理的、或表示经济信息的各类二、

三维图表。如统计用的直方图、扇形图、工作进程图、仓库及生产的各类统计管理图表等,所有这些图表都用简明的方式提供形象化的数据变化趋势,以增加对复杂现象的了解并协助作出决策。

(3) 地质、地震、大地测量、海洋及气象工程等 计算机绘图被广泛应用于绘制地理的、地质的以及其他自然现象的高精度勘探、测量图形,例如地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象图、人口分布图、电场及电荷分布图,以及其他各类等值线、等值面图。

(4) 模拟及动画 利用计算机来产生物体随时间而变化的图形,已经越来越普遍了。利用这一技术,可以研究许多对象的数学模型,如水流、核反应、化学反应、物体结构在负载下的变形等。利用计算机产生动画片,不仅具有很高的艺术价值,而且具有极高的实用效果。如利用动画技术产生飞行模拟、汽车碰撞、地震破坏等,不仅可以提供逼真的场景画面和可靠的数据,还可以为这些试验提供真正安全、迅速、而又极为低廉的试验条件和比较、存储资料的手段。

(5) 过程控制 利用计算机显示的图象和数据实现与其控制或管理对象间的相互作用。如对石油化工、金属冶炼和电力网的设备运行过程进行监视和控制,机场的飞行控制人员和铁路上的调度人员可以通过计算机产生的运行状态图来有效、迅速和准确地调度、调整空中交通和铁路运输。

(6) 艺术、服装和商业 利用计算机产生或绘制艺术品,如各种美丽、悦目的图案、花纹,甚至传统的油画和中国画等。在印染纺织行业用于花色设计、配料、排料和裁剪、服装图形绘制等。当然,计算机绘图也被用来进行各种商业广告和图案设计等。

(7) 计算机辅助教学(CAI) 目前,在计算机辅助教学中,利用图形显示可以产生直观、生动的图象,使教学和解题过程形象化,极大地提高了学生的学习兴趣 and 教学效果。

计算机绘图还有许多其他的应用领域,如在医学方面,与超声波和X光技术结合,用来绘制人体内脏横切面图,为准确地诊断和治疗提供了更为形象和直观的手段。在农业、体育、办公自动化等诸方面,凡是用到图形绘制和显示的地方,都会涉及到它。计算机绘图给传统的设计制图带来了重大变革,其经济技术效益十分显著,有广阔的应用前景。

第三节 计算机绘图的现状及发展趋势

当前,计算机绘图已进入实用化的阶段,主要沿着以下几个方面发展。

一、进一步完善二维交互式绘图系统

二维绘图软件是CG与CAD技术的主要基础。由于早期的二维绘图软件属静态绘图,即在绘图中人不能对图形进行干预。因此,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,人不仅能和计算机对话、讨论,直接在屏幕上对图形进行修改、删除、编辑等,还能对设计的图形进行动态分析。如在建筑设计中,若给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级数等。二维绘图软件从技术角度已不再存在难题,但在商品市场上能站住脚的国产软件还为数不多,主要原因是商品化程度不够、可靠性不高等,需要在技术、组织管理等方面进一步加以解决和完善。

二、三维实体造型与特征造型

以往在微机上使用的软件包大部分均属二维图形软件包,虽然它也具有画三维图形的功

能,但也仅仅是线框图。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,首先在人的思维中建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,以及其它工程分析,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,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。最近十几年中,美、英、法、德、日、瑞士等国家均已开发了一些三维实体造型系统。我国从 80 年代开始,各大学及科研单位也在这方面进行了大量研究,推出了一批国产实体造型系统,如清华大学的 GEMS,北京航空航天大学 PANDA,上海中船公司的 DPS 等,这些系统已在产品设计中发挥了巨大的作用。传统造型系统多采用只定义公称的几何形状信息,利用体素拼合成型的方法进行实体造型,不太符合设计与制造工程师构造形体的习惯。所以,新一代的参数化特征造型系统的研究正在引起人们的关注。系统中不但含有符合设计、制造构形的几何形状特征,而且还包含精度、材料、工艺、加工管理等特征信息,从而定义了一个完整的产品信息模型,为促进 CAD/CAM 在更高层次上的集成创造必要的条件。

三、CAD、CAM 一体化

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,然后绘出图样送去加工。如今这些工作都可由计算机辅助进行,并把计算机辅助设计与计算机辅助制造有机地结合在一起,形成所谓一体化软件包。它们包含二维、三维的图形软件模块、三维实体造型模块、有限元分析前后置处理模块、数控编程及加工轨迹模拟模块等。这样的 CAD/CAM 软件包把产品的设计、仿真、制造、组装、测试以及文档等各个环节集成在一个统一的系统中,因而实现资源共享和信息集成。目前不少这样的软件包已商品化。因此,CAD、CAM 一体化将成为未来工业设计、制造及管理自动化的必然发展趋向。

四、标准化

随着计算机及图形输入、显示技术和绘图设备性能的不断提高,图形处理应用范围不断拓展,计算机绘图已渗透到科研、生产、教学和社会的各个方面。为了缩短图形软件研制周期,降低研制成本,便于使用并能在不同系统间相互移植,开展计算机图形学标准化方面的研究,制定图形处理的标准是本学科发展的一个新动向。目前已经被国际标准化组织 (ISO) 接受为国际标准的有三个:一是二维图形核心系统 GKS (Graphics Kernel System);二是三维图形核心系统 GKS-3D;三是程序员的结构层次交互式图形标准 PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard)。GKS 标准具有很强的图形处理功能,可以实现对图形信息的生成、存储、变换和撤消等,是一个与计算机及其外围设备、应用软件及程序设计语言均无关的二维图形软件接口。用户通过应用程序能方便地调用 GKS 的全部功能,从而给软件编制人员提供了莫大方便,而且各应用程序可以交换,能在不同系统上运行,具有很好的可移植性。GKS-3D 是 GKS 的简单扩充,它保留了 GKS 的全部二维功能,新增加了三维处理功能。如增加了六种输出原语:三维折线,三维标记,三维文本,三维填充区域集,三维象元阵列和三维通用原语。提供了四种变换:规格化坐标变换,工作站变换,图段变换和观察变换等。

PHIGS 不但是一个比 GKS-3D 功能更丰富、交互程度更高的三维图形软件标准,而且也

是一个造型系统。PHIGS 中引入了一些新概念,如结构、结构体编辑、遍历属性汇集等。PHIGS 中的结构是组合数据及参加操作的一种数据描述,结构是一些结构元素的有序集合,操作可以在结构元素级进行。一个结构元素可以是一个图元、一个属性或一个视图选择。其几何图元包括折线、区域填充、文字、像素数组等,几何图元都有它自己的属性集。一般来说标准化程度往往标志着一个学科的发展及水平,应给予高度的重视。

此外,将人工智能领域的研究成果,如把由知识库和推理机组成的专家系统引入计算机绘图技术也将是一个新的研究课题。

第二章 计算机绘图系统

第一节 计算机绘图系统简介

图样被称为“工程师的语言”，它包括各种设计图样与施工图样等。如何用计算机绘图代替手工绘图，快速生成高质量图样是目前各企业面临的一个重要任务。我们常说的“自动绘图”、计算机绘图、交互式绘图、计算机辅助几何设计（CAGD）、计算机辅助设计（CAD）等都必须有相应的图形输出，离不开计算机绘图系统的支持。那么什么叫计算机绘图系统？其组成与功能如何？下面我们将一一介绍。

一、计算机绘图系统的概念和基本组成

所谓计算机绘图系统就是一个以计算机为主，并配有相应的外围设备和图形软件，不但具有数值处理能力，同时还具有图形输入、生成及输出等能力的一个完整系统。若具有人机对话功能，则称此系统为交互式计算机绘图系统。

一般的计算机系统都由两部分组成，即硬件和软件，要组成一套基本的计算机绘图系统也不例外。计算机绘图系统的硬件除必备的计算机外，还应包括图形输入和图形输出等外围设备，如图形显示器、绘图仪等。

其软件通常分成三部分：图形系统、数据库或文件管理系统、应用程序。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（如线型、颜色等）及物体各部分连接关系的坐标数据，同时应提供与外围设备相关的驱动程序及开发应用程序的支持程序（又称接口程序）。数据库或文件管理系统则可以永久保留被显示的图形信息及与图形生成和应用相关的支持数据。应用程序主要是为处理用户的特定问题而设计的，具有一定的专用性。它可以从图形系统中取出数据存入数据库或文件中，也可以从数据库或文件中提取信息加以处理，或直接送入图形系统中。同时还可向图形系统传送图形处理命令，说明物体的几何特征，并能调用一系列绘图子程序生成图形，显示在图形显示器上。图 2-1 说明了计算机绘图系统的基本组成及各部分之间的相互关系。

二、计算机绘图系统的功能划分

计算机绘图系统起码应具有计算、存储、对话、输入和输出五方面的基本功能。

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。在图形数据库中应有坐标的几何变换、曲线和曲面的形成、图形的交点和连接点计算以及包含检验等功能。

2. 存储功能 在计算机的内存、外存中能存放图形数据，尤其是要存放图形数据之间的相互关系，可根据设计人员的要求实现有关信息的实时拾取，图形的变更、增加、删除等处理。

3. 对话功能 通过图形显示器直接进行人一机通信。设计人员通过显示屏观察设计的结果和图形，通过键盘或鼠标器等对不满意的部位发出修改指令。

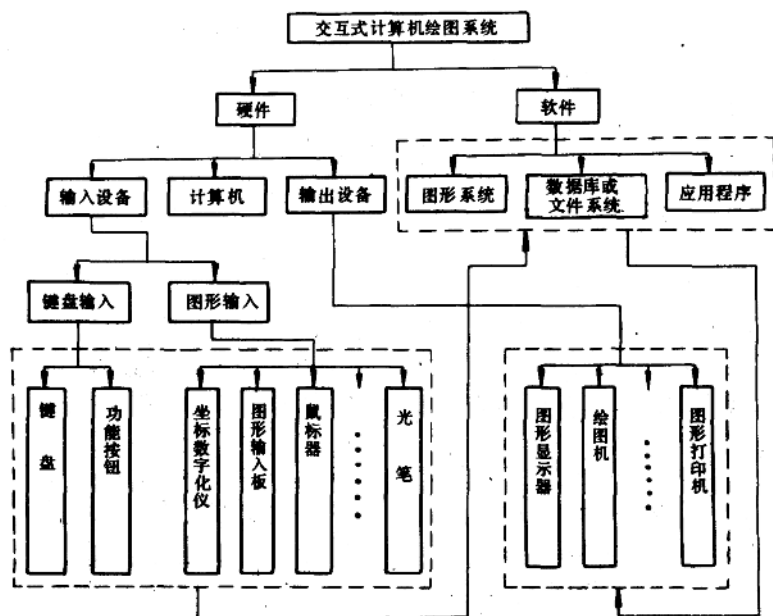


图 2-1 交互式计算机绘图系统的基本组成

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 为了长期保存分析计算结果或对话需要的图形、信息等，需要有相应的输出功能。由于对输出的结果有精度、形式、时间等要求，因此输出设备应是多种多样的。

这五种功能是计算机绘图系统所具备的最基本功能，至于每一功能中具有哪些能力，则因系统不同而不同。计算机绘图系统的基本功能框图如图 2-2 所示。

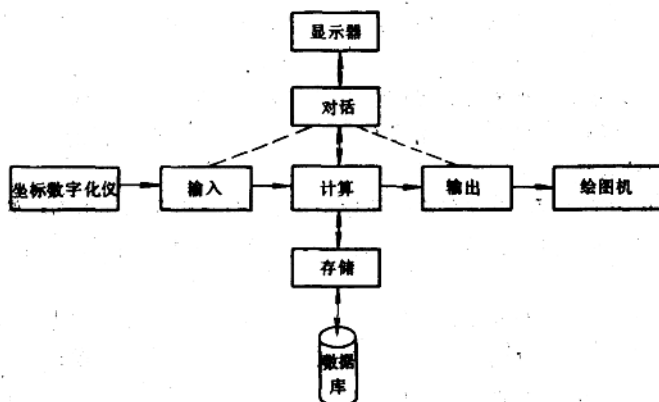


图 2-2 计算机绘图系统的基本功能

第二节 常见的图形输入输出设备

在一个基本的计算机绘图系统中,光有计算机是不够的,还必须根据需要配备必要的图形输入输出设备。图形输入设备是将用户的图形数据、绘图系统的各种指令等转换成电信号传送给计算机,以便处理。同样,图形输出设备则将计算机处理好的结果数据转换成可见的图形呈现在用户面前。下面将分别介绍几种常见的图形输入输出设备的基本原理和结构。

一、图形输入设备

(一) 键盘

作为图形输入装置的键盘与一般的电传打字机、控制台打印机的键盘相似。除通常以ASCII码编码的按键外,还附有一些指令控制键和功能键,以便完成图形操作时的某一特定功能,如指定光笔工作方式,切换图形几何变换方式以及开始菜单作业等。

(二) 坐标数字化仪

坐标数字化仪是一种图形数据采集装置,见图2-3。它可以将图样上的点或线变换为数字坐标输入到计算机内。从原理上讲有机械式、超声波式和电磁式等,最常见的是电磁式。现以电磁式为例说明其工作原理。

这种设备利用了电磁感应的原理。台板上在X、Y方向上有许多平行的印制线,每隔大约 $200\mu\text{m}$ 一条,在游标中装有一个线圈,当线圈中有交流信号时,在十字交叉线的中心产生一个电磁场。这样,当游标在台板下运动时,台板下的印制线上就会产生感应电流。印制板周围的多路开关等线路可以检测出最大的信号,即游标十字交叉线中心所在的位置,从而得到该点的坐标值。一般生成坐标的方式有两种:点方式和点列方式。所谓点方式就是移动游标,按一下按钮,生成一个点的坐标;而点列方式,则是随着游标的移动而生成一系列的轨迹点坐标。点的生成为每秒几个点到几百个点,随所给设备的指令而定。有的设备以指令的选择方式提供给用户,也有的在设备的边缘处以菜单的方式提供给用户选择使用。所给点的坐标值的格式有二进制的,也有ASCII码的。

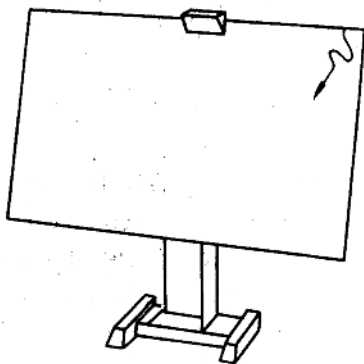


图2-3 电磁式坐标数字化仪

(三) 图形输入板

图形输入板的工作原理与坐标数字化仪很相似,只是图形输入板面积偏小,分辨率较低。图形输入板的定位游标往往由输入光笔来代替,使用更方便,如图2-4所示。

(四) 鼠标器

鼠标器有两种类型:机械式鼠标器和光电鼠标器。机械式鼠标器上面有一个或多个按钮(大多为三个按钮),底部孔内装有与电位器联接的小球。操作时,鼠标器沿桌面移动,靠摩擦力使小球滚动,带动电位器控制游标移动,并可得到相应的坐标;光电鼠标器其结构如图2-5所示,它的底部有一光源,当鼠标器在专用板上移动时,采用光束调制及光学编码技术测出鼠标器移动量,并得到相应的坐标。鼠标器的作用主要用来在屏幕上或坐标数字化仪上拾

取指定点坐标, 选择菜单项或捕捉图形目标。

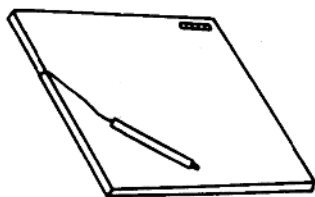


图 2-4 图形输入板

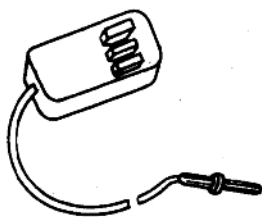


图 2-5 鼠标器

(五) 光笔

光笔是一种检测光的装置, 是实现人与显示器、计算机联系的一种有效工具。它由笔体、透镜组、光导纤维以及光电倍增管和开关电路等部分组成, 如图 2-6 所示。

将光笔笔头对准显示器上某点, 同时按压触动开关, 当电子束扫描经过荧光屏上此点时, 光透过小孔, 经透镜聚焦, 光导纤维送出, 通过光电转换产生一个脉冲输出, 经逻辑计算可获得光笔所指处的坐标, 加上与程序配合, 就可用光笔在荧光屏上直接画图, 修改图形以及将图形作旋转、平移等几何变换。

光笔的功能一般有两种, 一为拾取, 二为跟踪。所谓拾取就是当屏幕上有图形时, 选取图形上的某点为参考点, 对图形进行某种处理。所谓跟踪, 就是用光笔拖动游标在屏幕上任意移动, 从而在屏幕上直接输入图形。在交互式绘图系统中, 还可利用光笔去拾取菜单。

二、图形显示设备

图形显示设备按其工作方式可分为随机扫描图形显示器、光栅扫描图形显示器等。

(一) 随机扫描图形显示器

这种显示器是一种出现最早的图形显示器, 人们又称之为直接画线器或轨迹扫描设备。它的基本工作过程为: 从显示文件存储器中取出绘线指令或字符显示指令、显示方式(如高亮度、线型等)指令, 送到显示控制器, 由显示控制器控制电子束的偏转, 轰击荧光屏上的荧光粉, 从而出现一条发亮的图形轨迹。然后取下一条指令, 重复以上过程直到画出整幅图形。

这类图形显示器的优点是光点可以做得很小, 图形清晰, 线条光滑, 易于局部修改。缺点是受画线长度的限制, 难以画特别复杂的图形, 且价格较贵。

(二) 光栅扫描图形显示器

垄断 80 年代图形显示器市场的是彩色光栅扫描图形显示器。

光栅扫描图形显示器用显象管作为显示器件, 其扫描方式与电视机相同, 即顺序扫描。其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; 在垂直偏转线圈产生的垂直磁场作用下, 电子束沿着垂直方向扫描。每行扫描的为等数量的离散点, 每个点称为一个像素, 每个像素可以具有不同的灰度、颜色等属性。每幅图象所扫过的像素点称为显示器的分辨率, 常见的有(512×512)个像素点, 这种扫描制与电视制式兼容。目前已出现了(1024×1024)的高分辨率彩色显示器。

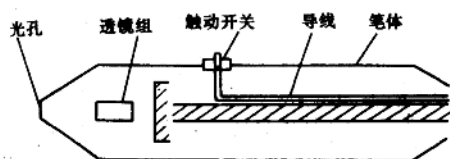


图 2-6 光笔的结构

光栅扫描显示器具有随机扫描显示器所没有的优点。突出的一点是它不仅可以显示物体的轮廓线、特征线等所谓线图形,而且可以显示被各种灰度和颜色的象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,因而适宜于做模拟器,当前微机上配置的显示器多为此类。它的不足之处在于交互操作时响应慢,输入图形信息也比较费时间。此外,在显示斜线时,线条的阶梯效应解决起来比较麻烦。

三、图形输出设备

(一) 绘图机

高性能的绘图设备是绘图系统中最重要设备之一,绘图机是最常用的图形输出设备。绘图机主要有滚筒式和平台式两大类。

滚筒式绘图机:滚筒式绘图机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。绘图纸紧紧缠绕在滚筒上,由电机带动,随滚筒一起移动。而笔架只能沿滚筒轴向,由另一电机带动一起移动。两者构成X、Y运动方向,控制滚筒的转动和笔架的移动,从而画出图形曲线。这种绘图机结构简单,价格便宜,易于操作,但精度、速度不可能太高,且要求用标准图纸。其结构见图2-7。

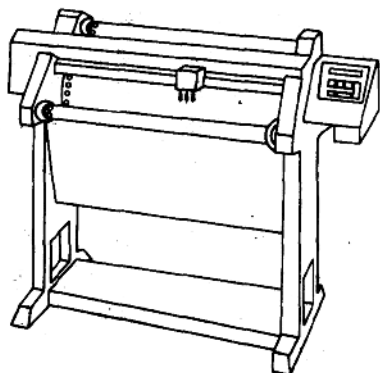


图 2-7 滚筒式绘图机

平台式绘图机:平台式绘图机的特点是绘图纸平铺在台面上,笔架可在X、Y两个方向上运动,笔架上可装多支不同颜色的笔,笔的起落、更换由专门电路控制。纸是由真空吸附或静电吸附的方式固定的,笔架的驱动有步进电机、伺服电机、直线电机或平面电机多种方式。常见的平台绘图机有两种,一种是平面电机驱动的绘图机,另一种是步进电机驱动、机械传动的绘图仪,分别见图2-8、图2-9。这类绘图机优点是绘图速度快、精度高,绘图的幅面大,并配有多支绘图笔及刻刀,绘图时,可观察到全图;但相对占地面积大,价格偏贵。

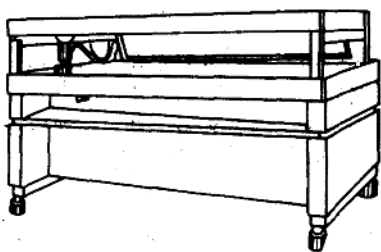


图 2-8 高速平台式绘图机

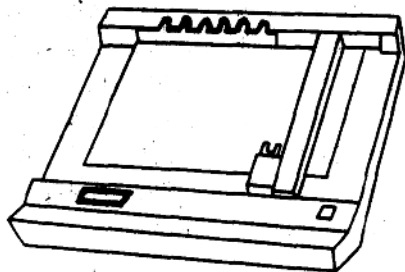


图 2-9 机械传动式绘图仪

(二) 图形打印机

图形打印机为针式打印机,结构有单针、排针、矩阵式等多种,能双向打印,打印的点阵密度比普通的点阵式打印机要高。即使如此,它绘制的曲线连续性比绘图机质量也要差,一般用于对绘图质量要求不高的场合。目前国外已生产出能打印彩色图形的彩色图形打印机。

(三) 其他图形输出设备

图形硬拷贝设备：常见的硬拷贝设备是利用类似静电复印的原理，能快速输出图形，能将图形显示器上显示的图形在 20s 内拷贝出来。

喷墨绘图机：其原理为从喷管中喷出墨水，用电场偏转、磁场偏转或机械偏转等方法来控制墨水的喷射方向，用控制电荷或控制电场等方式来控制墨水滴的产生。

激光绘图机：这是一种很有前途的高速绘图设备，具有速度高、噪声低等特点。

第三节 绘图机的绘图原理

在绘图设备中，笔与纸的相对动作是最基本的，一般有以下八个方向： $+X$ ， $-X$ ， $+Y$ ， $-Y$ ， $+X+Y$ ， $+X-Y$ ， $-X+Y$ ， $-X-Y$ ，如图 2-10 所示。有些绘图机则只有前四个方向的基本动作。笔与绘图板之间的相对运动分别由 X 方向与 Y 方向的步进电机(或伺服电机)控制，有些绘图机这两个方向的驱动部件能同时运动，有些绘图机在某一时刻只能沿 X 、 Y 两个方向中的一个方向运动。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，我们把这一距离称为绘图机的步距。不同的设备产生图形的方式不尽相同，然而，尽管这些方式各具特色，一般都可以称为增量法。对于八个基本方向的直线，绘图机绘制十分方便，而对于一般位置直线、圆弧或任意曲线，则必须进行必要的走步计算，其方法甚多，此处仅介绍最常用的方法——插补算法。

一、绘图机的基本动作

不同类型的绘图机，画笔动作也有差别，但画笔与绘图板之间的相对运动基本是一致的。一般可分成以下几个基本动作：

选笔：对于多笔绘图机，根据颜色代号可以自动选择不同的画笔。对于单笔绘图机，则只能选唯一的画笔。

走步：沿四个或八个方向分步移动。

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。

回机器零点：抬笔走到绘图机上物理坐标系的原点（此点一般在台面的左下角）处。

回图形原点：抬笔走到用户定义的绘图坐标系的原点。

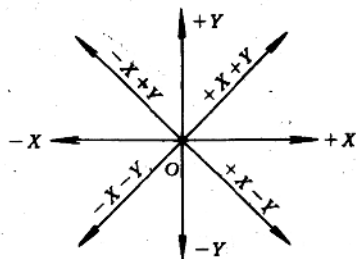


图 2-10 绘图机的八个基本动作方向

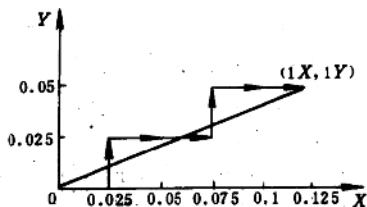


图 2-11 绘图仪的走步方式

二、插补运算的概念

插补运算就是按给定的基本数据(如直线的起点、终点坐标)插补出中间点的坐标,从而产生出直线、曲线的逼近形状。绘图机绘制线段是靠画笔在X、Y两个方向移动,每个方向一次最多移动一个步距,从而画出一条阶梯状折线,如图2-11所示。由于绘图机的步距一般较小,较精密的绘图仪的步距仅为0.025mm,因此,所画折线是肉眼分辨不清的,人们看到的仍是直线形状。

插补运算的方法有多种,如逐点比较法、数值微分法等。这里仅介绍逐点比较法的插补原理。

所谓逐点比较法,就是在绘图过程中,画笔每移动一步,就与规定要画的对象进行比较,然后决定下一步应向哪个方向走步,这样用步步逼近的方法完成所绘对象的图形绘制。其执行过程如图2-12所示。

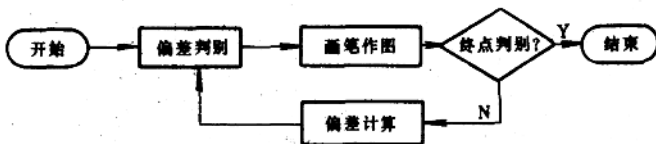


图 2-12 逐点比较法的执行过程

三、直线插补

下面以第一象限内的直线绘制为例说明直线插补的基本原理。如图2-13所示。OA为所要绘制的线段, M为当前画笔的位置。M点相对OA线段有三种不同的位置,即M点在OA线上,在OA线的上方,或在OA线的下方。

如何判断M点与OA线的关系,可用直线斜率比较法。其偏差值计算如下:

$$\Delta k = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_M}{X_M} - \frac{Y_A}{X_A} = \frac{Y_M X_A - Y_A X_M}{X_M X_A}$$

因 $X_M X_A$ 始终为正值,所以 Δk 的正负取决于 $Y_M X_A - Y_A X_M$, 令 $F_M = Y_M X_A - Y_A X_M$, 若M点在OA线上,则有 $\beta = \alpha$, 即得

$$\Delta k = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha = 0, \text{ 即有 } F_M = 0.$$

若M点在OA线的上方,则有 $\beta > \alpha$, 即得

$$\Delta k = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha > 0, \text{ 即有 } F_M > 0.$$

若M点在OA线的下方,则有 $\beta < \alpha$, 即得

$$\Delta k = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha < 0, \text{ 即有 } F_M < 0.$$

对于第一象限内直线,插补时规定:

当 $F_M < 0$ 时,画笔沿+Y方向走一步,当 $F_M \geq 0$ 时,画笔沿+X方向走一步。

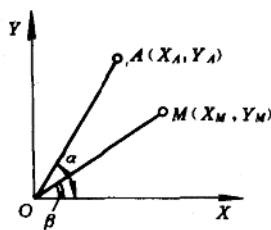


图 2-13 直线斜率比较法

由于 $F_M = Y_M X_A - Y_A X_M$, 画笔每走一步,用此公式来进行偏差计算就要做二次乘法,一次减法,对于插补运算来说,这会大大影响计算速度。为了加快计算速度,可设法对 F_M 进行进一步的简化。

如果设法用前一点的偏差来推算后一点的走步方向以及走步后的偏差,则计算就可以大大简化,下面介绍这种递推法。

见图 2-14, 设画笔的当前位置为 $M_1(X_1, Y_1)$, 此时 $F_1 = Y_1 X_A - Y_A X_1 < 0$, 应沿 $+Y$ 方向走一步到 M_2 , 即 $\begin{cases} X_2 = X_1 \\ Y_2 = Y_1 + 1 \end{cases}$ (+1 表示走一步)

M_2 处的偏差为

$$\begin{aligned} F_2 &= Y_2 X_A - Y_A X_2 = (Y_1 + 1) X_A - Y_A X_1 \\ &= Y_1 X_A + X_A - Y_A X_1 = F_1 + X_A \end{aligned}$$

若 $F_2 \geq 0$, 沿 $+X$ 方向走一步走到 M_3 , 则 $\begin{cases} X_3 = X_2 + 1 \\ Y_3 = Y_2 \end{cases}$

M_3 处的偏差为

$$F_3 = Y_3 X_A - Y_A X_3 = Y_2 X_A - Y_A (X_2 + 1) = F_2 - Y_A$$

依此类推, 可得如下公式:

当 $F_i \geq 0$ 时, 沿 $+X$ 方向走一步, 此时偏差值为: $F_{i+1} = F_i - Y_A$

当 $F_i < 0$ 时, 沿 $+Y$ 方向走一步, 此时偏差值为: $F_{i+1} = F_i + X_A$ ($i = 1, 2, 3 \dots n$)

从上边的公式中可以看出, 偏差 F_i 的推算, 只用到终点坐标 (X_A, Y_A) , 而与中间点的坐标值无关, 且只需进行加减法运算, 大大减少了运算次数。

对于其他象限的直线插补方法与第一象限相同, 其区别仅仅是规定不同象限内插补的走步方向有所不同。图 2-15 给出了各个象限画笔的规定走向, 其偏差计算公式见表 2-1。

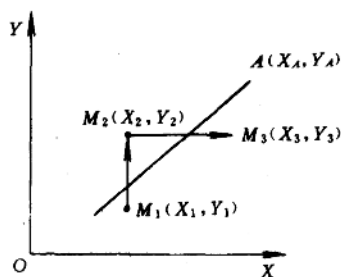


图 2-14 第一象限的偏差计算

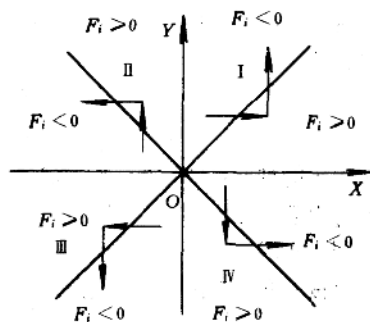


图 2-15 各象限画笔走向

表 2-1 直线插补运算公式

象限	$F_i \geq 0$	$F_i < 0$
第一象限	走 $+X$, $F_{i+1} = F_i - Y_A$	走 $+Y$, $F_{i+1} = F_i + X_A$
第二象限	走 $+Y$, $F_{i+1} = F_i + X_A$	走 $-X$, $F_{i+1} = F_i - Y_A$
第三象限	走 $-X$, $F_{i+1} = F_i + Y_A$	走 $-Y$, $F_{i+1} = F_i - X_A$
第四象限	走 $-Y$, $F_{i+1} = F_i - X_A$	走 $+X$, $F_{i+1} = F_i - Y_A$

四、圆弧插补

圆弧插补与直线插补很相似, 就是在输出圆弧的过程中, 每走完一个单位长度之后就与应画的圆弧进行比较, 根据比较的结果, 然后再决定下一步的走向, 这样一步一步地逼近所画圆弧。如图 2-16 所示, 若按逆时针方向画出第一象限的一段圆弧 AB , 从 A 点画起, 先向 $-X$ 方向走一步, 到了①点, 此点已在所画圆弧内, 应向 $+Y$ 方向走一步, 再比较仍在圆内,

仍向+Y方向走一步,直到⑤再作比较,已到了圆外,则应朝-X方向走一步,到了⑥,再比较,如此类推,直至画到B点为止。这样画出的圆弧为阶梯状,所达到的光滑程度完全取决于设备的精度,设备的分辨率越高(即步距越小),则画出的图形曲线就越光滑。

假设圆弧AB为第一象限圆弧,其半径为R,圆心位于坐标原点处,圆的方程为

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

令M(X_m, Y_m)为圆弧上的任意一点,其偏差判别式为

$$F_m = X_m^2 + Y_m^2 - R^2$$

当 $F_m \geq 0$ 时,画笔应沿-X方向走一步,

当 $F_m < 0$ 时,画笔应沿+Y方向走一步。

与推导直线插补时的偏差计算公式类似,同样可将圆弧插补的偏差计算公式进行简化。

假设绘图步距为1,当画笔从M点开始绘图:

如果 $F_m \geq 0$,画笔应沿-X方向走一步,此时

画笔所在处的坐标为($X_m - 1, Y_m$),偏差计算公式为:

$$\begin{aligned} F_{m+1} &= X_{m+1}^2 + Y_{m+1}^2 - R^2 = (X_m - 1)^2 + Y_m^2 - R^2 \\ &= X_m^2 + Y_m^2 - R^2 - 2X_m + 1 = F_m - 2X_m + 1 \end{aligned}$$

同理,当 $F_m < 0$ 时,画笔沿+Y方向走一步,此时画笔所在处的坐标为($X_m, Y_m + 1$),偏差计算公式:

$$\begin{aligned} F_{m+1} &= X_{m+1}^2 + Y_{m+1}^2 - R^2 = X_m^2 + (Y_m + 1)^2 - R^2 \\ &= X_m^2 + Y_m^2 - R^2 + 2Y_m + 1 = F_m + 2Y_m + 1 \end{aligned}$$

从上面的推导可知,沿-X方向走笔时,新偏差等于前一点的偏差值加(-2 $X_m + 1$);沿+Y方向走笔时,新偏差等于前一点的偏差值加上(2 $Y_m + 1$)。新偏差的计算同样只要通过加、减运算即可实现。对于逆向圆弧在其他象限的偏差计算公式及顺向圆弧在四个象限的偏差计算公式可按同样的方法推导,其画笔走向分别如图2-17、图2-18所示,偏差计算公式参见表2-2。

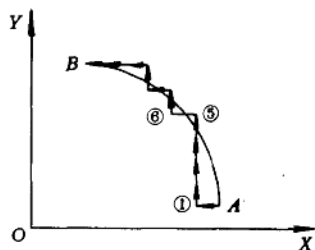


图 2-16 圆弧的插补

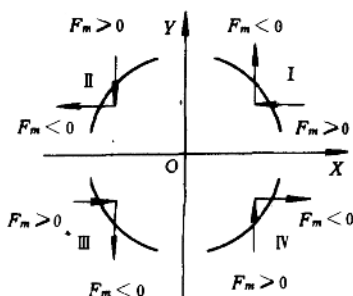


图 2-17 逆向圆走向

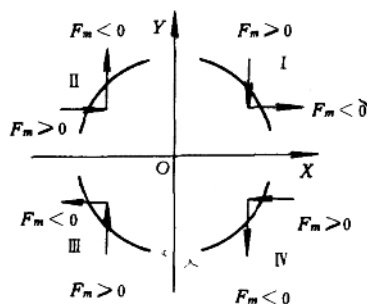


图 2-18 顺向圆走向

表 2-2 圆弧插补偏差计算公式规则表

象限	$F_m \geq 0$		$F_m < 0$	
	走向	计算公式	走向	计算公式
逆 I	$-X$	$F_{m+1} = F_m - 2X_m + 1$	$+Y$	$F_{m+1} = F_m + 2Y_m + 1$
逆 II	$+X$	$X_{m+1} = X_m - 1$	$-Y$	$Y_{m+1} = Y_m$
顺 III	$+X$	$Y_{m+1} = Y_m$	$+Y$	$Y_{m+1} = Y_m + 1$
顺 IV	$-X$		$-Y$	
逆 I	$-Y$	$F_{m+1} = F_m - 2Y_m + 1$	$-X$	$F_{m+1} = F_m + 2X_m + 1$
逆 IV	$+Y$	$X_{m+1} = X_m$	$+X$	$X_{m+1} = X_m + 1$
顺 I	$-Y$	$Y_{m+1} = X_m - 1$	$+X$	$Y_{m+1} = Y_m$
顺 II	$+Y$		$-X$	

习 题

2-1 针对一实际的计算机绘图系统，试说明它的硬件组成和作用。

2-2 设 AB 为第一象限的线段，起点坐标为 $A(1,0)$ ，终点坐标为 $B(6,9)$ ，并设绘图仪的步距为 1。试计算并绘图说明该线段的插补过程。

2-3 设 AB 为第一象限圆弧，起点坐标为 $A(5,0)$ ，终点坐标为 $B(3,4)$ ，圆心在 $O(0,0)$ 处，绘图仪的步距为 0.5。按逆时针方向进行插补运算，试计算其插补结果并绘图说明其插补过程。如果按顺时针方向进行插补，其结果又将怎样？