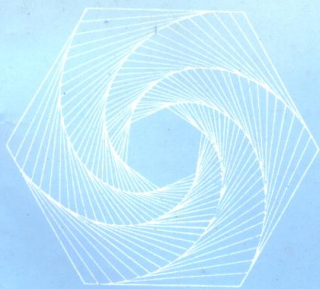


计算机绘图

蒋 融 贺元成 编著 殷国富 主审



成都科技大学出版社

1.41

2/1

计算机绘图

蒋 融 贺元成 编著
殷国富 主审

]

成都科技大学出版社

• 1995 •

(川)新登字 015 号

责任编辑:周树琴

封面设计:龚 丹

· 计 算 机 绘 图

蒋 融 贺元成 编著

殷国富 主审

成都科技大学出版社出版

新华书店经销

成都农垦印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:14.875 字数:362 千字

1996 年 8 月第二次印刷 1995 年 8 月第一次印刷

印数:3000—5500 册

ISBN7-5616-3027-1/TP·131

定价(玉膜):14.00 元

前 言

计算机绘图(Computer Graphics,简称CG,亦称计算机图形学)是70年代产生的一门新兴的交叉学科,是工程图学与计算机科学相结合的产物,涉及各门学科专业、数学基础、图学理论、程序设计、计算机技术及其应用等。

计算机绘图作为计算机辅助设计、制造和管理的基本组成部分,是信息表达、处理、分析和应用的强有力的工具。它使计算机从传统的单一文字处理系统走向先进的文字图形处理系统。计算机处理图形既是计算机应用史上的一次重大变革,也是多种媒体信息处理中以视觉为主的处理技术的重大突破。

随着计算机科学和技术的高速发展,计算机绘图已渗透到了众多的科学技术领域,担任着重要的角色。具有代表性的应用领域有:

1. 科学研究及事务管理。计算机绘图大量地用于产生数学、物理和经济函数的二维和三维图形,简明而形象化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、轻工业、农业、汽车、船舶和飞机等工业部门,计算机绘图普遍用于工程设计。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. 绘制勘探、测量图形。计算机绘图也常用于绘制高精度的地理图、地质图、海洋图、气象图、各种等值线图以及人口分布图。
4. 系统模拟及动画。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,计算机绘图可用于制作动画片、学习游戏卡、教育孩子等;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。

随着经济的迅速发展,我国各行各业的应用日益普及,各类用人单位对工科大学生的知识面和CG、CAD(Computer Aided Design)新技术应用能力的要求都迅速反映到我国大学的教育结构中来。国家科委和国家教委等八个部委共同研制的《大力协同开展我国CAD应用工程》的规划报告中,要求国民经济主要部门的科研设计单位普及推广计算机绘图及CAD技术,加速摆脱手工计算、手工绘图,提高设计工作效率和质量,实现科研设计现代化。规划要求全国主要工科院校学生基本普及CAD技术基础教育,为科研设计现代化输送优秀人才;对在职人员要加强CAD技术的培训和继续教育,还将建立起面向全国和各地区的在职人员培训网,为大中型企业、科研单位培训CAD技术的开发应用人员,以奠定我国CAD应用发展的基础。

计算机绘图是适应现代化建设的新技术,对工科大学生今后在学习和工作中掌握和应用 CAD 技术有决定性的影响,也是工程制图学科发展最活跃的方面。根据最近新修订的工程制图课程教学基本要求,作者在教学、科研实践的基础上参考了国内外计算机图形学、计算机辅助设计与制造(CG/CAD/CAM)等方面的著作和有关文献资料,编写了这本书。

本书从实用出发,由浅入深地介绍计算机绘图的方法和程序设计。主要内容有:计算机绘图系统、绘图程序结构、工程图样的绘制、几何图形变换、曲线、曲面、隐藏线/隐藏面、交互式绘图系统等。精选并运用 BASIC 语言和 C 语言编写举例。书中实例均经过上机调试。通过简明的分析引导,将使读者循序渐进地步入计算机绘图领域,为今后在各专业领域中应用和发展计算机绘图的能力打下必要的基础。本书可作为大学本科、专科计算机绘图课程教材,也可供计算机爱好者步入计算机绘图领域自学使用和作为工程技术人员的参考书。

计算机绘图是一门空间概念很强和实践性很强的课程,因此在学习中应注意以下几点:

1. 熟悉计算机设备的使用和细心上机操作;
2. 勤于空间构思和进行编程设计;
3. 耐心调试、敏捷思考和完善显示结果;
4. 及时总结,积累经验,提高出图效率和绘图程序设计能力;
5. 结合课题,应用计算机绘图取得实际效果。

本书由成都科技大学蒋融主编。四川轻化工学院贺元成编写了第四章及第一、第五、第六章部分内容。其余内容由蒋融编写。本书由成都科技大学殷国富教授主审。胡义、龚石钰等老师对本书提出了许多宝贵意见。在此表示衷心的感谢。

由于计算机图形技术发展迅速,计算机绘图将是一个神奇深邃而又广袤无边的世界,本书只是一个抛砖引玉的开始。加之编者水平有限,疏漏错误之处,敬请读者批评指正。

编者
1995 夏

目 录

第一章 计算机绘图系统

§ 1.1 系统配置	(1)
§ 1.2 绘图机工作原理	(8)
§ 1.3 IBM PC 图形模式	(13)
§ 1.4 Turbo C 图形模式	(19)
§ 1.5 绘图机的基本绘图命令	(30)

第二章 二维图形变换

§ 2.1 概念	(33)
§ 2.2 二维图形变换的数学方法	(35)
§ 2.3 级联变换	(39)
§ 2.4 二维图形变换的程序设计	(42)

第三章 三维图形变换

§ 3.1 三维图形基本变换	(47)
§ 3.2 正投影变换	(54)
§ 3.3 轴测投影变换	(59)
§ 3.4 透视变换	(64)
§ 3.5 连续旋转立体的绘制	(68)
§ 3.6 曲面立体的绘制	(73)
§ 3.7 三维绘图基础	(78)

第四章 绘图程序设计

§ 4.1 图形程序设计	(82)
§ 4.2 图形子程序设计	(87)
§ 4.3 平面图案的程序设计	(96)
§ 4.4 动画技术	(101)

第五章 工程图样基本软件设计

§ 5.1 三种坐标系	(104)
§ 5.2 图框、标题栏的程序设计	(104)
§ 5.3 工程图样设计方法	(107)
§ 5.4 尺寸标注的程序设计	(114)
§ 5.5 剖面线程序设计	(119)
§ 5.6 加工符号的程序设计	(128)
§ 5.7 零件图的程序设计	(129)
§ 5.8 装配图的程序设计	(132)
§ 5.9 图库的概念	(132)

第六章 曲线

§ 6.1 概述	(135)
§ 6.2 规则曲线	(135)

§ 6.3 拟合曲线	(138)
第七章 曲面	
§ 7.1 概述	(154)
§ 7.2 参数曲面	(154)
§ 7.3 规则曲面	(155)
§ 7.4 双三次曲面	(157)
§ 7.5 曲面块通用程序设计	(163)
§ 7.6 曲面块的拼接与旋转	(167)
第八章 隐藏线、隐藏面消除	
§ 8.1 概述	(170)
§ 8.2 背面消除	(172)
§ 8.3 曲面的消隐	(185)
第九章 交互式绘图系统	
§ 9.1 交互式绘图系统的组成	(192)
§ 9.2 交互作用方式	(196)
§ 9.3 交互技术	(197)
§ 9.4 交互式绘图软件	(198)
第十章 C 语言摘要	
§ 10.1 说明及表达式	(206)
§ 10.2 简单的 C 程序介绍	(206)
§ 10.3 C 程序的上机步骤	(210)
第十一章 绘图软件 AutoCAD 简介	
§ 11.1 启动和基本操作	(212)
§ 11.2 绘图命令	(214)
§ 11.3 编辑和显示控制命令	(215)
§ 11.4 图层	(217)
§ 11.5 块	(218)
主要参考文献	(220)

第一章 计算机绘图系统

计算机绘图系统是一个以计算机为主的系统,它包括:

硬件系统:计算机,绘图机,数字化仪等图形处理和输入、输出设备等。

软件系统:编辑、编译、计算和图形处理的系统软件。

§ 1.1 系统配置

计算机绘图时,首先对图形进行分析、数学处理,编写源程序,再通过输入设备送入到计算机内存中,由计算机进行编译、计算和图形处理之后,最后由输出设备绘出图形。系统的主要设备组成如图 1-1 所示。

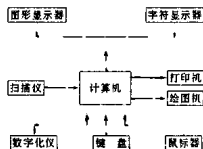


图 1-1 绘图系统的基本配置

一、计算机

计算机是绘图系统的核心部分,它除了接受外部设备输入的程序、数据、命令等进行处理,执行运算、输出结果,并控制和协调各外部设备的正常工作外,还起着图形处理器的作用。它通过输入设备接受绘图程序或图形坐标信息,经过图形数据处理后,可通过输出设备输出字符或图形。

二、输入、输出设备

(一)输入设备

输入设备是用户与主机联系的工具,它们为用户提供了向计算机图形数据库输入程序、命令和数据的手段。输入设备有多种,它们以各种方式与计算机系统连接。输入设备主要有键盘、数字化仪、鼠标和图形扫描仪。

1. 键盘(Key board)

键盘由字符键、数字键和各种功能键组成,是最常用的字符和数字输入设备。利用键盘上的光标控制键和功能键是键盘的典型特征。功能键在用户一次击键后能进入常用的操作

而光标控制键则通过屏幕光标来选择坐标位置。此外,在键盘上常常还带有一个用于快速数字数据输入的小型数字键盘。通用键盘的配置包括字母数字键、光标控制键、可编程的功能键和一个小数字键盘。可以用于输入坐标数据、选择目标、拾取图形坐标和指定绘图命令等,但效率比较低。

大多数键盘都采用 ASCII 标准字符装置。(ASCII 是 American Standard Code for Information Interchange 美国标准信息交换码的缩写,采用二进制编码。)

2. 数字化仪(Digitizer)

数字化仪也称绘图板,是一种标准的输入设备。它将图形转变成为计算机所能接受的数字形式再输入到计算机里去,可用于绘图、测绘、桌面排版、制作动画片等领域。精度一般在 $\pm 0.5\text{mm}$ 到 $\pm 0.1\text{mm}$ 之间。

图 1-2 是小数字化板。小数字化板、键盘和显示器可作交互绘图用。

3. 鼠标器(Mouse)

自 1982 年问世以来,鼠标器日益普及。它是一种手持式输入设备,因其外形酷似老鼠,故也有“老鼠”之称。

(1) 分类

鼠标器分为两大类:机械鼠标器、光学鼠标器。其工作原理如图 1-3、1-4、1-5 所示。其特点列于表 1-1。



图 1-2 小数字化板

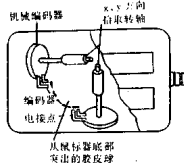


图 1-3 机电式鼠标器

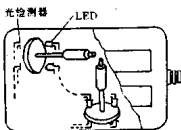


图 1-4 光电机械式鼠标器

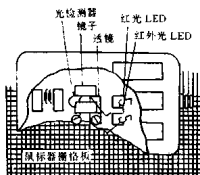


图 1-5 光学鼠标器

表 1-1

类型 \ 特点		优 点	缺 点
机械鼠标器	机电式鼠标器	1. 不需要专用反射板, 使用方便; 2. 分辨率高。	1. 需维护, 滚动球需定期清洗; 2. 精度低。
	光电机械式鼠标器		
光学鼠标器		1. 无活动部件, 可靠性高; 2. 能精确地复位, 精度高。	1. 需专用反射板, 使用不方便; 2. 分辨率受限于反射板的网格线密度。

(2) 分辨率

鼠标器的分辨率是指鼠标器每移动 1 英寸所能检测出的点数, 单位 dpi。现在大多数鼠标器的分辨率为 200dpi。在高分辨率的屏幕上使用高分辨率的鼠标器可以达到更平滑的效果。

(3) 接口

在微机上使用的鼠标器接口有总线口、串行口和特殊端口三种。最常用的是串行口鼠标器, 它能直接插入 COM1 或 COM2 RS-232 口, 而不需要任何总线接口板或其它外部设备。

(4) 驱动程序及其使用

每种鼠标器都带有一个驱动程序, DOS 应用程序通过调用鼠标器驱动程序就可以得到鼠标器移动及按钮信息。

鼠标器驱动程序要通过显示控制接口板来控制鼠标器在屏幕上的移动, 因此它必须支持现有的显示控制接口板来保证其在系统里的正确工作。现有的鼠标器驱动程序都支持标准的显示控制板, 包括 EGA 和 VGA 等。

鼠标器在底盘上来回移动时, 光标位置作相应的移动。鼠标器在底盘上拿起或放下对屏幕上的光标位置都没有影响。鼠标器上带有二到三个独立的按钮, 用来选择屏幕上的项目、输入命令或其它由所用程序决定的不同用途, 一个指头就可以控制这些按钮。鼠标器既简单、实用, 所需空间又小, 许多微型机和 CAD 系统制造商都把鼠标器作为一种任选的(有时是必须的)输入设备。

4. 图形扫描仪(Graphic Scanner)

图形扫描仪通过光电处理方式将图片、影像或文件转换成电脑可识别的数据资料, 然后扫描读入电脑内存作进一步的排版、文字识别、档案管理等处理应用。

(1) 分类

扫描仪有三种分类方式, 情况如表 1-2 所示。

(2) 分辨率和灰度级

分辨率(Resolution)和灰度级(Gray level)是衡量扫描仪设备的两个重要指标。分辨率的单位是 DPI(Dots Per Inch), 即每英寸所含点数, 一般在 300~2400DPI 之间。灰度级是指扫描仪所能分辨出的亮暗层次差别; 在彩色扫描仪中则表现为颜色的不同。级数越多表示扫描图像的亮度范围越大, 层次越丰富; 色彩数越多扫描图像越鲜艳真实。

表 1-2

三分类方式	分 类	说 明
按功能分	黑白 B/W (Black with White)	
	灰阶 (Grayscale)	
	彩色 (Color)	
按扫描方式分	手持式 (Hand-held)	体积小, 易携带, 价格大众化, 稳定性较差。
	滚筒式 (Sheet-feed)	自动走纸, 成像稳定, 体积较大, 价格较贵。
	平台式 (Flat-bed)	扫描器质量, 解析度高, 色彩丰富。
按幅面分	宽度 64mm 手持式	如 ARTEC A256S。
	宽度 105mm 手持式	如 ARTEC A1000C A410 兼聚彩打。
	幅面 A4 台式	如 ARTEC A6000C, GENIUS COLOR PAGE I。
	幅面 A0, A1 鼓式	如 CONTEXT, FSS500。

(二) 输出设备

图形输出设备主要有打印机、显示器、绘图机。

1. 打印机 (Printer)

打印机是一种输出各种数据和图形的输出设备。打印机的品种和型号繁多, 有单色和彩色的, 有输出 80 字符宽的和 132 字符宽的, 有带汉字库的和不带汉字库的, 有 9 针和 24 针的等等。24 针打印机打印出的点子比 9 针的密, 因而输出的图形和字符的质量相对比较好。

随着计算机技术的迅速发展, 计算机工作站及计算机网络应用的日益普及, 打印机已经形成了系列化的外设产品。作为各种信息处理系统的外部输出设备, 打印机不仅需要具有能使用普通纸、输出文字和数据、处理图形和图象的能力, 而且要实现高速度、低噪声输出及低价格。激光打印机正是这样的理想选择。

激光打印机主要由控制器、激光扫描系统、电子照相系统和输纸机构组成。控制器负责数据处理, 接收来自计算机的打印信息。对其进行处理后由激光扫描系统进行扫描, 将需要输出的文字、图形、图象在光导鼓上形成静电潜象, 然后用电子照相系统进行显象处理, 即用带有电荷的增色剂对潜象进行着色。增色剂是带有与潜象相反电荷的细微墨粉, 墨粉吸附在潜象上就形成了可见象。通过输纸机构将可见象转印到普通纸上, 从而完成整个打印操作过程 (见图 1-6)。

激光打印机主要有以下几个优点: 1. 打印速度快, 从低速几 PPM 到高速 100PPM (PPM, Pages Per Minute); 2. 打印质量好, 小型廉价的打印机分辨率都达到 300dpi (印点/英寸), 打印质量可与印刷质量相媲美; 3. 运行噪色低, 噪色一般低于 55dB。

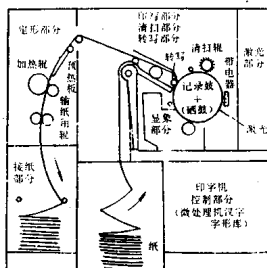


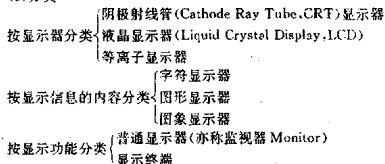
图 1-6 激光打印机的组成

激光打印机还具有多种打印模式,不仅能输出数据和文字,表现各种字体不同字号的变位功能,同时还能处理图形和图象。一般激光打印机都装有多种驻留字体,并配有字体盒和可卸软字体库,而这是其它各种打印机所无法比拟的。

2. 显示设备

显示设备以可见光的形式传递和处理信息,是现代计算机系统中最广泛和不可缺少的设备。

(1) 分类



CRT 就是电视机显像管,有黑白和彩色两种,目前的显示器大部分使用 CRT 作为显示器件。在使用 CRT 显示器中,还常以扫描方式的不同分成光栅扫描和随机扫描两种显示器,以分辨率不同划分为高分辨率显示器和低分辨率显示器等。

(2) 分辨率和灰度级

分辨率(Resolution)指的是显示器所能表示的象素个数。象素越密,分辨率越高,图形越清晰。它不仅取决于自身内部的性能,还与显示器的尺寸有关。

CRT 显示器的尺寸用荧光屏对角线的长度表示,通常有 12, 14, 16, 19 英寸等,分辨率主要有 640×200 , 600×350 , 640×480 , 800×600 , 1024×768 , 1024×1024 , 1280×1024 等几种,请见表 1-3。

普通 CRT 显像管的长宽比例为 4:3,为了使所显示的图形不失真,水平分辨率和垂直分辨率的比值也应为 4:3,如 640×480 , 800×600 , 960×720 , 1024×768 。

表 1-3 显示器尺寸与最大分辨率的对应关系

显示器尺寸	12 英寸	14 英寸	16, 17 英寸	19 英寸
最大分辨率	640×480	800×600	1024×768	1280×1024

灰度级(Gray Level)是指显示器所显示象素的亮暗差别,在彩色显示器中则表现为颜色的不同。灰度级越多,图形层次越清晰、逼真。

分辨率和灰度级是显示器的两个重要指标。

(3) 显示(子)系统及显示标准

一个显示(子)系统由显示控制接口板(显示适配器)和显示器两部分组成。常用的一些显示(子)系统最早见于 IBM PC 系列微型机,它伴随着 IBM 公司个人计算机系统的发展而发展。IBM 公司的个人计算机不断发展,在显示系统方面也不断推出新的显示标准,以适应主机性能的升级。这些显示(子)系统的技术标准已被工业界所采纳,形成了公认的技术标准,广泛地用于计算机系统中。

几种显示(子)系统的性能比较见表 1-4。

表 1-4 几种显示(子)系统性能比较

显示控制接口板	字符方式		图形方式			显示频率 (kHz)
	字符窗口 (点阵)	显示字符数 (列×行)	分辨率 (象素)	颜色种类	调色板	
Monochrome Display Adapter, MDA 单色字符显示	9×14	80×25	720×350	1	无	18.432
Hercules, HGA (MGA) 标准	9×14	80×25	720×350	2	无	18.432
Color Graphics Adapter, CGA 彩色图形/字符显示	8×8	80×25	640×200	4	16	15.75
Enhanced Graphics Adapter, EGA 增强型彩色图形适配器	8×14	80×25	640×350	16	64	21.85
EGA+	8×14	80×25 或 132×30 等	640×480 800×600	16	64	多同步
Video Graphics Array, VGA 视频图形阵列	9×16	80×25	640×480 320×200	16 256	256k	31.75
VGA+	9×16	80×25 或 132×30 等	800×600 1024×768	16	256k	多同步
Extend Graphics Array, XGA 智能型		132×43 132×50 132×60	1024×768			

各种显示器的主要区别在于扫描频率的差别,不同分辨率的显示控制接口板需要配备不同扫描频率的显示器,分辨率越高,显示器的扫描频率越高。

多同步(Multi-Sync)显示器的扫描频率是可变的,它利用自动跟踪技术,使显示器自动与显示控制接口板的输出信号同步,同步的频率范围在15~35kHz之间。多同步显示器可以用于各种显示控制接口板(显示板输出频率须低于扫描频率的上限),因此,使用多同步显示器,当需要提高显示器分辨率时,只需更换显示控制接口板,而不需要更换显示器。

三、绘图机

(一)分类

绘图机是绘图系统的主要设备,它由计算机控制完成绘图动作输出图形,常用的绘图机有三类:滚筒式、平台式、平面电机式。

1. 滚筒式绘图机

如图1-7所示,绘图纸紧贴在滚筒上,并随筒的旋转产生x方向的移动,而笔架在导轨上沿y方向滑动,依靠此两向运动的组合就可绘制图形。这种绘图机的特点是机构紧凑简单、速度快。在x方向上可连续绘制几十米的图形,但需要专用纸,且绘图精度不高。

2. 平台式绘图机

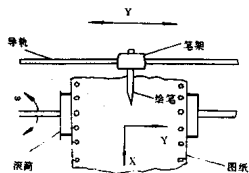


图 1-7 滚筒式绘图机

见图 1-8,绘图纸用压条固定在平台上,横梁导轨在 x 方向上移动,笔架在横梁上作 y 方向滑动。此种绘图机的特点是绘图精度高,功能齐全,但绘图速度低。

3. 平面电机式绘图机

平面电机式绘图机的工作方式基本上与平台式绘图机的相似,如图 1-9 所示。主要不同点是采用了平面电机(x-y 同步线性马达)代替了平台式绘图机中的一套复杂的机械传动系统和横梁,电机的定子就是平板。装有笔架的动子可在定子平板上作直线运动,这就使得运动部件的结构简化,重量减轻(传动部件重量为平台式绘图机的 1/50 左右),大大提高了绘图速度(可达 140m/min)和绘图精度。

三种绘图机的特点比较见表 1-5。

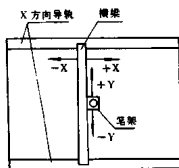


图 1-8 平台式绘图机

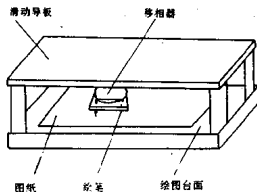


图 1-9 平面电机式绘图机

表 1-5

特性	滚筒式绘图机	平台式绘图机	平面电机式绘图机
优点	1. 机构紧凑简单,易维修保养; 2. 速度快; 3. 可连续自动绘图。	1. 图样精度高; 2. 可监视绘图全过程及图形; 3. 可装割线笔、描头头等,功能较齐全。	1. 图样精度高,质量好; 2. 速度快; 3. 可靠性好; 4. 结构简单,易于维修保养。
缺点	1. 精度不高; 2. 需用特定的纸; 3. 不能监视绘图全过程。	1. 速度较低。	1. 对铅笔要求高; 2. 不能监视绘图全过程。

(二)绘图的主要技术指标

1. 绘图速度

绘图速度是指绘图机画笔移动的速度。在绘图时,画笔由静止到最高速度再停下来,此间在作变速运动,因而绘图速度有两个指标,最高速度和加速度。只有两个指标都高时,绘图机才真正是速度快,速率高。

绘图机的速度单位一般是 m/min,加速度单位是 $g(9.8m/s^2)$ 。

2. 步距

步距也称之为脉冲当量或分辨率。计算机发出一个走走脉冲时,驱动部件就带动画笔(或图纸)移动一个步距。绘图机的步距一般在 0.1~0.01mm 之间,步距越小,精度越高。

3. 绘图精度

- (1) 定位精度:画笔作单方向移动时,实际移动距离与按脉冲计算的位移之差。
- (2) 重复精度:画笔从起点移动一段距离后再回到起点,原起点与回程点之间的差距。
- (3) 总精度:累积误差的允许值。

4. 绘图机功能

功能是指绘图机所具备的能力,如图幅大小、插补功能、画笔数量、曲线拟合、线型种类等等。

(三) 绘图机的工作方式

根据绘图机与计算机是否直接联接在一起工作,工作方式可分为两种。

1. 联机方式

绘图机通过并行或串行通信接口方式和计算机直接相联,由计算机直接驱动绘图机工作,这样可即时看到图形。但由于绘图机的机械运动速度远比计算机的运算速度低,因而使计算机常处于等待状态,不能充分发挥计算机高速运算的特点。

2. 脱机方式

将计算机处理后的图形信息记录在硬盘或磁带上备用,需要绘图时再通过输入设备送给绘图机作图,这就大大提高了计算机的利用率。

§ 1.2 绘图机工作原理

绘图机作图时,是由笔和纸的相对运动产生图形的。因只能作 x 和 y 轴方向运动,也即只能有八个方向的走步,如图 1-10 所示,因而绘图机能画出准确的与 x 轴和 y 轴平行的线段,但只能画出逼近理想线条的斜线。图 1-11 表示了用四个和八个基本动作方向逼近斜直线段 OA 。当把步距定得足够小时逼近线将成为相当光滑的直线。各种曲线段也是用类似的方法逼近的,即根据给定曲线的基本参数,插入许多中间点,用以产生逼近曲线的走步动作,运算这一系列中间点的过程就称之为插补。

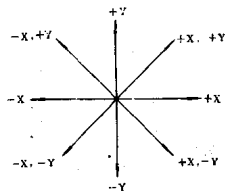
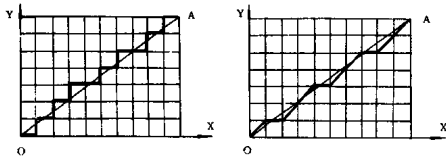


图 1-10

插补的原则是每一步都要同理论曲线逼近,即每一步都要求进行运算、判别,决定下一步的走向,从而一步步逼近。为此人们设计了进行插补运算的专用设备——插补机,大部分绘图机自带了插补器,这就大大提高了主机的利用率。

插补运算的方法很多,一般有逐点比较法、正负法、微分分析法、数字积分法等。本书重点介绍逐点比较法。

逐点比较法是画笔每走一步就算出当前坐标值,与理论值进行比较,判断出下一步的走向,逐步逼近理论曲线,其流程图见图 1-12。



四个基本走向逼近

八个基本走向逼近

图 1-11



图 1-12 逐点比较法插补过程

一、直线的插补

如图 1-13, 要画出第一象限内的直线 OA。始点为 $O(X_0, Y_0)$, 终点为 $A(X_1, Y_1)$, 画笔当前位置 $K(X_k, Y_k)$, K 相对于 OA 有三种不同位置, K 点在 OA 直线上; K 点在 OA 直线上方; K 点在 OA 直线下方。为了计算方便, 规定直线的起点在原点。

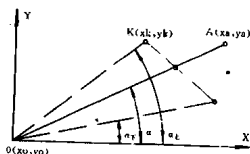


图 1-13 直线插补

A. K 属于 OA, 斜率为 $\tan \alpha$, 有 $Y_k/X_k = Y_1/X_1$, 即 $X_k \cdot Y_1 - X_1 \cdot Y_k = 0$

B. K 在 OA 之上, 斜率为 $\tan \alpha_k$, $\tan \alpha_k > \tan \alpha$, 有 $Y_k/X_k > Y_1/X_1$, 即:

$$X_k \cdot Y_1 - X_1 \cdot Y_k > 0$$

C. K 在 OA 下方, 斜率为 $\tan \alpha_k$, $\tan \alpha_k < \tan \alpha$, 有 $Y_k/X_k < Y_1/X_1$, 即:

$$X_k \cdot Y_1 - X_1 \cdot Y_k < 0$$

令偏差判别式为: $F_k = X_k \cdot Y_1 - X_1 \cdot Y_k$, 则:

$F_k = 0$ 时, $K \in OA$;

$F_k > 0$ 时, K 在 OA 之上方;

$F_k < 0$ 时, K 在 OA 之下方。

对第一象限内的直线规定: 当 $F_k \geq 0$ 时, 画笔沿 +X 方向走一步, 用 +X 表示; 当 $F_k < 0$

时,画笔沿+Y方向走一步,用+Y表示。

$F_k \geq 0$ 时,画笔向+X方向移动一个单位步距后的坐标为

$$X_{k+1} = X_k + 1; Y_{k+1} = Y_k;$$

新的偏差为

$$F_{k+1} = X_k \cdot Y_{k+1} - X_{k+1} \cdot Y_k = F_k - Y_k;$$

$F_k < 0$ 时,画笔向+Y方向移动一个单位步距后的坐标为

$$X_{k+1} = X_k; Y_{k+1} = Y_k + 1;$$

新的偏差为

$$F_{k+1} = X_k \cdot Y_{k+1} - X_{k+1} \cdot Y_k = F_k + X_k.$$

由上可知,直线的插补运算只有加减运算,可根据上一步的偏差和终点值推算出下一步的走向,这样反复计算、判断,直到终点为止。终点的判断是利用起点到终点某个方向(X或Y向)坐标的总步数来判别的。当 $|Y_e - Y_0| > |X_e - X_0|$ 时,取Y轴向的总步数;当 $|X_e - X_0| \geq |Y_e - Y_0|$ 时,取X轴向的总步数。

[例1]已知 $O(0,0)$, $A(2,4)$,绘图机步距为1,试进行插补运算。

所绘图形见图1-14,插补过程见表1-7。

图1-15和表1-6给出了四个象限内直线插补的判别符号及走步方向的关系。

当直线的起点不通过原点时,应将坐标平移以使直线从原点出发。单位不是步距时,应将单位换算成为步距,再进行上述的插补运算。

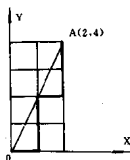


图 1-14

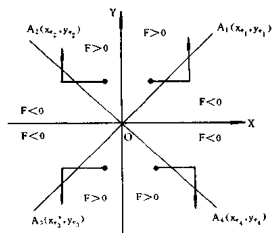


图 1-15 四个象限的直线插补

二、圆弧的插补

欲对图1-16所示的第一象限内的圆弧 $\widehat{AB}$ 进行插补,如始点 $A(X_a, Y_a)$, 终点 $B(X_b, Y_b)$, 圆心为圆心 O , 半径为 R , 画笔当前位置 $K(X_k, Y_k)$, 则 K 相对于 $\widehat{AB}$ 有三种不同的位置: K 点在 $\widehat{AB}$ 圆弧上; K 点在 $\widehat{AB}$ 圆弧外侧; K 点在 $\widehat{AB}$ 圆弧内侧。为了计算方便,现讨论圆心在原点的情况。