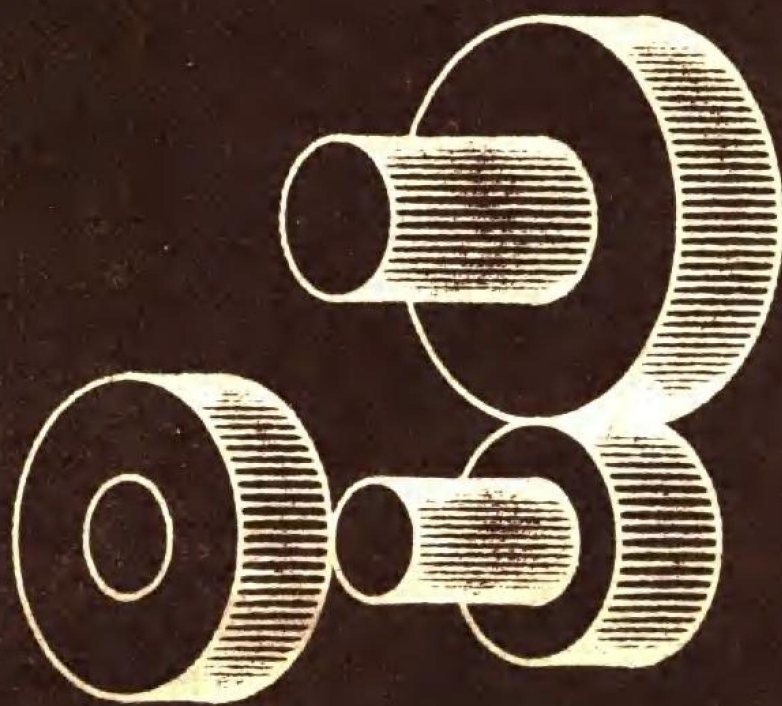


计算机绘图初步

卢振荣 主编



BEGINNING OF
COMPUTER GRAPHICS



西安交通大学出版社

内 容 简 介

计算机绘图(CG)和计算机辅助设计(CAD)已成为科学研究、教学、生产、管理等各行业的一种十分有用的工具,被广泛地应用在工程设计方面。它是科学技术人员智慧和能力的延伸。因此,大学教育普遍开设CG课程已成为必然的趋势。

本书就是试图为工科院校非计算机专业的学生以及各专业领域的科技工作者提供一本学习计算机绘图的入门参考书。全书共分十七章,主要内容有:绘图系统简介,绘图程序结构,空间实体的表达,工程图样的绘制,曲线曲面,截交相贯展开,软件接口,上机操作要领和应用示例等。本书以介绍CG的方法和程序设计为主,简述内容并应用FORTRAN和C语言编写。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,为以后在各自专业领域中应用计算机绘图打下必要的基础。

计 算 机 绘 图 初 步

主 编 卢振荣

责任编辑 房立民

*

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 465千字

1985年1月第一版 1985年1月第一次印刷

印数 1-20000

统一书号 15340 017 定价 3.55元

前 言

计算机绘图 (COMPUTER GRAPHICS 简称 *CG*), 是计算机应用学科的一个分支。世界各国的计算机图学专家们正在这一领域里辛勤地耕耘, 使计算机绘图这门学科向着研究的深度和应用的广度进展, 为科学技术的发展服务。鉴于计算机绘图和计算机辅助设计 (COMPUTER AIDED DESIGN 简称 *CAD*), 对其它学科发展的快速催化作用, 使它已渗透到很多科学技术领域中担任着重要的角色。高等院校教师和科学技术工作者已经感到在教学和科研工作中要能保持不断地涌现出新的成果, 必须对 *CG* 和 *CAD* 的应用给予足够的重视。对于广大的计算机用户 (特别是非计算机专业的科技工作者) 来说, 亦感到扩充这方面知识的必要性, 以适应科研实践和学术上提高的需要。为了普及、推广和应用这一新技术, 计算机绘图课程的开设已是势在必行。但由于这门新兴学科涉及到多方面的知识, 从这门课程的教与学两方面来说, 都存在一定的难度。一般想要学习计算机绘图的人所担心的问题是, 学习过程中会不会面临一些难以克服的障碍? 例如, 较深的数学基础和计算机知识。诚然, 要研究复杂的曲线、曲面和要设计系统的绘图软件, 这些知识是必不可少的。但在开始进入 *CG* 领域时, 却大可不必为此担心。对侧重于计算机应用的读者, 在起步阶段并不需要通晓所有的计算机课程, 而只需了解计算机绘图一般的系统结构和如何应用计算机就可以了。

本书的编写就是试图为非计算机专业的读者找出一条途径, 暂时先绕过那些并非十分急需的基础知识, 而直接步入 *CG* 应用领域的大门。入门以后, 就可根据自己的兴趣和素质, 继续在这一学科领域中自由地翱翔。在具备了基本的 *CG* 基础知识以后, 读者还可以在自己所从事的专业范围内应用 *CG* 的概念和技术, 发挥自己的特长而迅速取得成效。基础技术本身往往并不引人注目, 而丰硕的收益则是在于将它投入应用。计算机绘图亦具有类似的性质。很多工程设计问题应用了 *CG* 和 *CAD* 技术以后, 都迅速地得到了令人满意的结果。

此外, 计算机绘图可以看作是工程制图教学的继续和加深。从学科的发展来看, 工程图学中某些内容的计算机化是不容回避的趋向。绘图应用软件的研究可以减轻大量重复性的手工绘图工作; 而计算机绘图能进行动态显示的优点, 又有助于更新传统的制图教学, 而使之更为直观生动。对于工科的机、电、水、土各专业的学生来说, 都已具有一定的工程制图基础知识, 因此, 本书为了节省篇幅, 在这方面将不再多费笔墨, 而着重介绍计算机绘图的基础知识。本书编写时, 在内容上作了精心地选择并汲取了前人的一些工作经验, 结合我们在长期教学过程中的切身体会来构思和着手编写的。本书适合于理工院校非计算机专业的学生以及各专业领域的科技工作者在学习计算机绘图课程时的参考书。每章还附有一定数量的实例, 将循序渐进地引导读者进行计算机绘图的学习和实践。目前, *CG* 在继续发展, 新的东西还在不断涌现。因此, 与之有关的一些学科知识还有待读者在学习中加以深化和提高。

鉴于当前普及计算机绘图学科的需要, 我们编写了《计算机绘图初步》这本书。本书由卢振荣主编。参加编写的还有: 蔡如芬、陈舜同、李承绪、朱燕萍、张建民、龚小平。由于时间仓促及编者水平有限, 书中存在的问题一定很多, 诚恳希望读者批评指正。

编 者 一九八四年国庆节

目 录

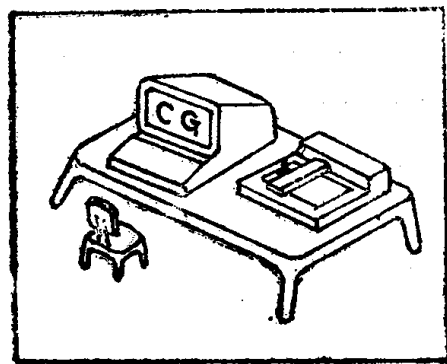
第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 计算机绘图的发展及应用	(1)
§ 1.2 本课程的学习目的	(3)
§ 1.3 本课程的学习方法	(3)
第二章 计算机绘图系统的基本知识	(5)
§ 2.1 硬件基本知识	(5)
§ 2.2 绘图机的作图原理	(9)
§ 2.3 功能绘图软件介绍	(13)
第三章 绘图程序结构	(17)
§ 3.1 基本绘图程序块的构成	(17)
§ 3.2 绘图程序块的组合及相互关系	(20)
§ 3.3 分析、设计和运行一个绘图程序	(24)
第四章 空间实体的计算机表达	(28)
§ 4.1 空间实体 (<i>Entity</i>)与计算机化 (<i>Computerize</i>)	(28)
§ 4.2 数据元素	(29)
§ 4.3 数据关系	(30)
§ 4.4 空间立体的计算机表达	(33)
第五章 交互式(人-机对话)的设置	(42)
§ 5.1 交互式的作用	(42)
§ 5.2 交互式的实现	(42)
§ 5.3 人-机对话的灵活应用	(47)
§ 5.4 菜单与交互式绘图的多种转移	(49)
第六章 二维几何变换	(56)
§ 6.1 二维图形几何变换的数学方法	(57)
§ 6.2 二维平面图形处理程序	(64)
第七章 三维几何变换	(70)
§ 7.1 平移变换	(70)
§ 7.2 比例变换	(72)
§ 7.3 旋转变换	(74)
§ 7.4 压缩变换	(76)
§ 7.5 透视变换	(77)
第八章 三视图	(81)
§ 8.1 空间坐标体系	(81)
§ 8.2 物体角点的信息存贮	(82)

§ 8.3	三视图的获得	(83)
§ 8.4	三视图的程序设计	(84)
§ 8.5	按第一角画法配置和设计的三视图程序	(92)
§ 8.6	同时绘制三个视图的子程序设计	(93)
第九章	轴测图	(96)
§ 9.1	正轴测投影的获得	(96)
§ 9.2	正轴测图子程序	(99)
§ 9.3	圆的正轴测投影	(101)
§ 9.4	圆柱的正轴测投影	(105)
§ 9.5	组合体的拼接	(113)
§ 9.6	斜轴测投影的获得	(115)
§ 9.7	任意旋转角的正轴测图	(118)
第十章	透视图	(125)
§ 10.1	透视图的获得	(125)
§ 10.2	单点透视	(128)
§ 10.3	两点透视	(129)
§ 10.4	三点透视	(131)
§ 10.5	透视图程序设计	(132)
第十一章	工程图样基本软件设计	(136)
§ 11.1	图框和标题栏的程序设计	(136)
§ 11.2	视图的分割和子图形元素	(139)
§ 11.3	尺寸标注的程序设计	(143)
§ 11.4	剖面线程序设计	(152)
§ 11.5	加工符号程序设计	(166)
第十二章	曲 线	(168)
§ 12.1	规则曲线	(168)
§ 12.2	拟合曲线	(179)
第十三章	曲 面	(193)
§ 13.1	不规则曲面的表达	(193)
§ 13.2	Coons 曲面块	(199)
§ 13.3	Bezier 曲面块	(209)
§ 13.4	B样条曲面块	(212)
§ 13.5	曲面块的拼接与旋转	(221)
第十四章	截交 相贯 展开	(223)
§ 14.1	棱柱、棱锥的截交线及其表面展开	(228)
§ 14.2	圆柱及圆锥的截交线及其表面展开	(235)
§ 14.3	球面的展开	(243)
§ 14.4	圆柱相贯及其表面展开	(246)

第十五章 软件接口	(252)
§ 15.1 绘图机基本功能及指令.....	(252)
§ 15.2 图形子程序.....	(254)
§ 15.3 软件接口.....	(255)
第十六章 交互式计算机绘图	(261)
§ 16.1 交互式绘图的原理及有关设备.....	(261)
§ 16.2 建立图形程序库.....	(267)
第十七章 上机操作要领	(269)
§ 17.1 上机工作步骤.....	(269)
§ 17.2 进驻 (LOG ON) 计算机.....	(270)
§ 17.3 编辑 (EDIT) 一个源文件.....	(270)
§ 17.4 编译 (COMPILE) 一个源文件.....	(274)
§ 17.5 连接 (LINK) 目标文件与库文件.....	(274)
§ 17.6 运行 (RUN) 一个可执行文件.....	(275)
§ 17.7 其它一些常用的命令简介.....	(275)
§ 17.8 打字指法.....	(276)
附录一: 计算机绘图应用示例	(280)
附录二: C 语言摘要	(292)

第一章 绪 论

§ 1.1 计算机绘图的发展及应用



自第一台计算机问世以后，它的发展极为迅速，目前已涌现大容量和高速运算的大型计算机和各种微型机。以往繁琐复杂的科学计算，如果使用人工往往需要很长时间，现在有了计算机的辅助，在短时间内就可以完成。这在实际上使人的智能得到了扩展。近十年来，这一技术又有了进一步的发展，经常被提到的有：

计算机绘图(Computer Graphics)简称 CG；

计算机辅助设计(Computer Aided Design)简称 CAD；

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing)简称 CAM；

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering)简称 CAE。

它们均属于计算机应用学科的范畴，是正在发展的新兴学科。因为它们涉及到多门学科

的知识，例如工程课题的原始设想、工程图学基础、数学基础、程序设计方法学、计算机科学和计算机的应用等等，这些知识间的相互渗透，形成了一个新的学科领域(图 1-1)。我们可将它比作科学园地中一枝萌发出土的新芽，这枝茁长的新芽应该植根于各种工程设计专业的土壤之中，它将促进各工程学科的发展，而结出更为丰硕的成果来。

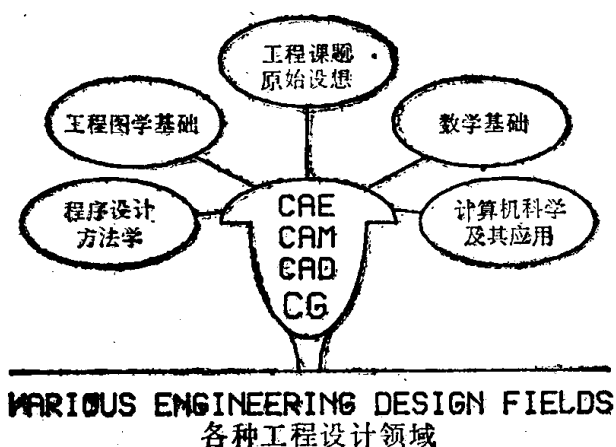


图 1-1 新兴的应用学科

在信息交流中，人的眼睛对于吸收图象的效果要比扫描一连串数字快得多。计算机绘图就是将大量的科学计算结果，转换成图表、图线或图形输出，它所产生的可视性映象是计算

机输出方式中最具有直观效果的一种。有了屏幕映象的辅助，就可以对设计进行修改和优化，直到获得满意的结果，最后输出图样。

人类是聪明的、主动的和具有创造才能的，但工作速度比较缓慢；与此相反，计算机是被动的和呆板的，但工作起来却极为高速。我们能否设法汲取两者之长，使高速运算的计算机听候人类的使唤呢？在科学技术不断发展的今天，这是完全可以实现的。CG 和 CAD 的作用，就是建立起某种方法(应用软件)，使计算机领会人的意图，进行科学分析和计算并迅速绘出图样。它能使工程师和设计人员从繁琐重复的计算和艰辛的绘图工作中解放出来，去从事更为重要的创造性工作。也就是把人类的聪明才智和创造能力与计算机的不怕繁琐和高速功能结合起来，使两者相得益彰。任何工程设计领域的科技工作者都知道，由于设计的

修改而去重画一整套设计图纸，将是多么繁重的一项工作。而计算机绘图和计算机辅助设计可以帮助设计师大大减轻这种繁琐重复的劳动，只要改变和输入新的设计参数，让计算机来忠实地进行设计修改和图样绘制，它是既无怨言又能快速准确地完成任务的。例如，要绘制工程技术图样，就需要先把图样规格中常用的各种图线、图形、标题栏、尺寸标注、光洁度等编制成带有形式参数的子图形程序，然后反复地调用它们来绘制工程图。又如，要进行曲线设计，则可以先把各种离散点拟合曲线的方法编制成子程序，然后按需要进行选择来调用它们，绘制曲线图象。这些子图形程序就是绘图软件的构成部分。一个完整的计算机系统应该有以下几个部分组成(图1-2)。

计算机硬件设备：指的是主机和它的外围设备，如屏幕显示器、键盘、宽行打印机、 $X-Y$ 绘图机。但是单有硬件设备，机器是不会工作的，必须配有系统软件。

系统软件：指的是操作系统和进行科学计算用的支撑软件，例如 BASIC、FORTRAN、C 等语言。有了系统软件就可以进行科学计算了，但还不能绘图。必须配有基本绘图软件后，才能进行绘图。

基本绘图软件：指的是计算机系统所具备的绘图基本功能，例如抬笔移动，落笔画线，写字符等一些最基本的绘图子程序。但单有这些基本功能来绘图常常会感到不够用，因此要研究和扩展一些通用绘图软件。

通用绘图软件：指的是在基本绘图软件的基础上，为开阔应用而研制的扩展绘图功能，例如画多边形、画圆弧、几何元素求交等等，它们是计算机绘图中常用的一些子程序，统称为通用绘图软件。

绘图应用软件：对于不同的工程设计领域，针对特定的设计和绘图问题还可以研制各自的专用或应用软件。在这一新兴学科的园地里，可开拓的范围是很广阔的，它也是各工程专业的科技人员可以精心耕耘和大有可为的领域。

国外在六十年代已开始了对 CG 和 CAD 的研究，由于计算机绘图和计算机辅助设计的应用，使设计工作的效率成十倍地增长，让人们尝到了甜头。因此，在七十到八十年代，世界上很多著名的计算机公司在改进硬件质量的同时，还投入了大量的人力去进行软件的研究。使计算机绘图和计算机辅助设计得到了进一步的发展。随着计算机设备的引进，现在我国一些高等院校和研究所也装备有大、中型计算机和各种微型机，有的还带有 CAD 系统。此外，我国自制的各种微型机也将会迅速发展和普及，到本世纪末，将普遍使用 CG 和 CAD 技术。因此，现在就要为普及和推广这一新技术作好准备。

我国已引进了不少大型和微型计算机系统，但由于软件跟不上，致使有些设备未能充分发挥效用。关于计算机绘图软件，国外很多计算机公司都提供有各种通用和应用软件。近年来也有不少外国公司来我国展示和销售他们的软件包，但价格很昂贵，并且对一些关键性的技术往往不会完整地转让，这就限制了对一些引进设备的充分利用。因此，我们要对开发自己的计算机绘图软件工作给予足够的重视，一方面可以节省大量外汇，另一方面也可以发挥

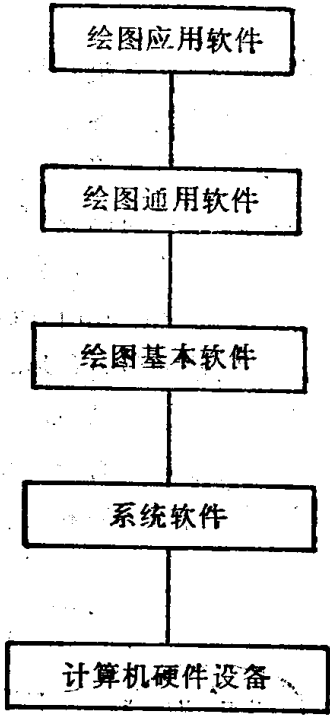


图 1-2 计算机系统

我国各种专业人才在智力方面的优势。研制一套好的绘图软件往往要投入大量工作,并花费繁重的脑力劳动去进行设计和调试,国内不少单位已经做出了很多成绩。他们研制出的软件质量可与国外同类型软件相媲美。这说明我们国家在这一新兴学科领域里是有发展潜力的。为了冲破国外的垄断局面,我国在绘图软件的开发研究方面仍要继续发扬自力更生、奋发图强的精神,逐步建立起我国的绘图软件系统。这对于普及和推广 *CG* 和 *CAD* 技术是重要的,也会给我国的 *CG* 和 *CAD* 的发展和应用开辟广阔的前景。

§ 1.2 本课程的学习目的

我们的教育要面向未来。在当前这个计算机化的年代里,对于理工科院校一个完整的工程教育来说,必须包括一些新的内涵,亦即大学课程的内容应随着科学技术的发展而逐步更新,以使我们培养的学生将来能更为有效地工作。现在高等学校培养出来的学生将是我国未来的工程师、科学家和研究人员,是为振兴中华而作出贡献的年青一代,他们必须具有新的科学技术知识。

几世纪来,工程图学作为一门经典学科,为人类的文明和技术的发展作出了贡献。现在,工程设计和工程制图的逐步计算机化已是一个必然的趋势,特别是对于那些大量重复数据的图形来说,应用计算机绘图要比传统的手工方法更为精确和效率高。因此,在高等工程教育中,开设计算机绘图课程也是必然的。此外,很多复杂的设计和制图问题,应用画法几何概念和计算机绘图概念结合起来分析,就会很容易地得到解决。这就是学科之间相互渗透所带来的效果。用通俗的话说,图学与计算机科学的结合 (*Graphics married with Computer Science*),产生了一门十分有用的新兴学科——计算机绘图。

从发展的眼光来看,计算机绘图知识对于工科学生也是必须的。工科学生掌握了基本的 *CG* 应用技术之后,他们的聪明才智就会得到进一步的发展,这必将在他们未来的实际工作中取得很好的效益。根据现有的统计资料表明,应用计算机绘图和计算机辅助设计以后,可以提高工作效率六倍到五十倍。为科学技术人员大大节约了时间,并且提高了设计质量。

此外,用 *CG* 来给学生讲授计算机应用,比起单纯地讲授计算机语言的效果要好得多。*CG* 好比是一块动态的黑板,对屏幕上绘出图形的修改和再现,将使学生更能理解各种语句和指令的作用,以及它们对程序设计质量所产生的细微影响。随着经验的积累,学生的创造能力将向各自所从事专业的纵深方面发展,当 *CG* 与专业领域中的课题结合以后,就会取得更多的成果。中国有句古语叫做“青出于蓝而胜于蓝”,这正是我国广大教育工作者坚信和盼望的。

§ 1.3 本课程的学习方法

计算机绘图涉及到多门学科的知识,例如各工程学科的专业知识、图学基础、数学基础、程序设计基础、计算机学科基础和计算机设备的使用等,它是由这些知识之间的相互结合和渗透而形成的。

对于非计算机专业的工科学生和广大的科技工作者来说,要进入计算机学科领域,将会遇到很多台阶需要跨越,面对众多的基础课程和专业知识的知识往往会使人们望而却步。用一个生动的比喻来描述,就象图 1-3 所示的那样,在非计算机专业的科技工作者和计算机应用领域之

间,存在有一个峡谷和一条石阶山径,若没有引路的向导,要填补这个峡谷和攀越这条山径确实具有一定的难度。不经过一年半载的自学和努力是难以达到彼岸的。

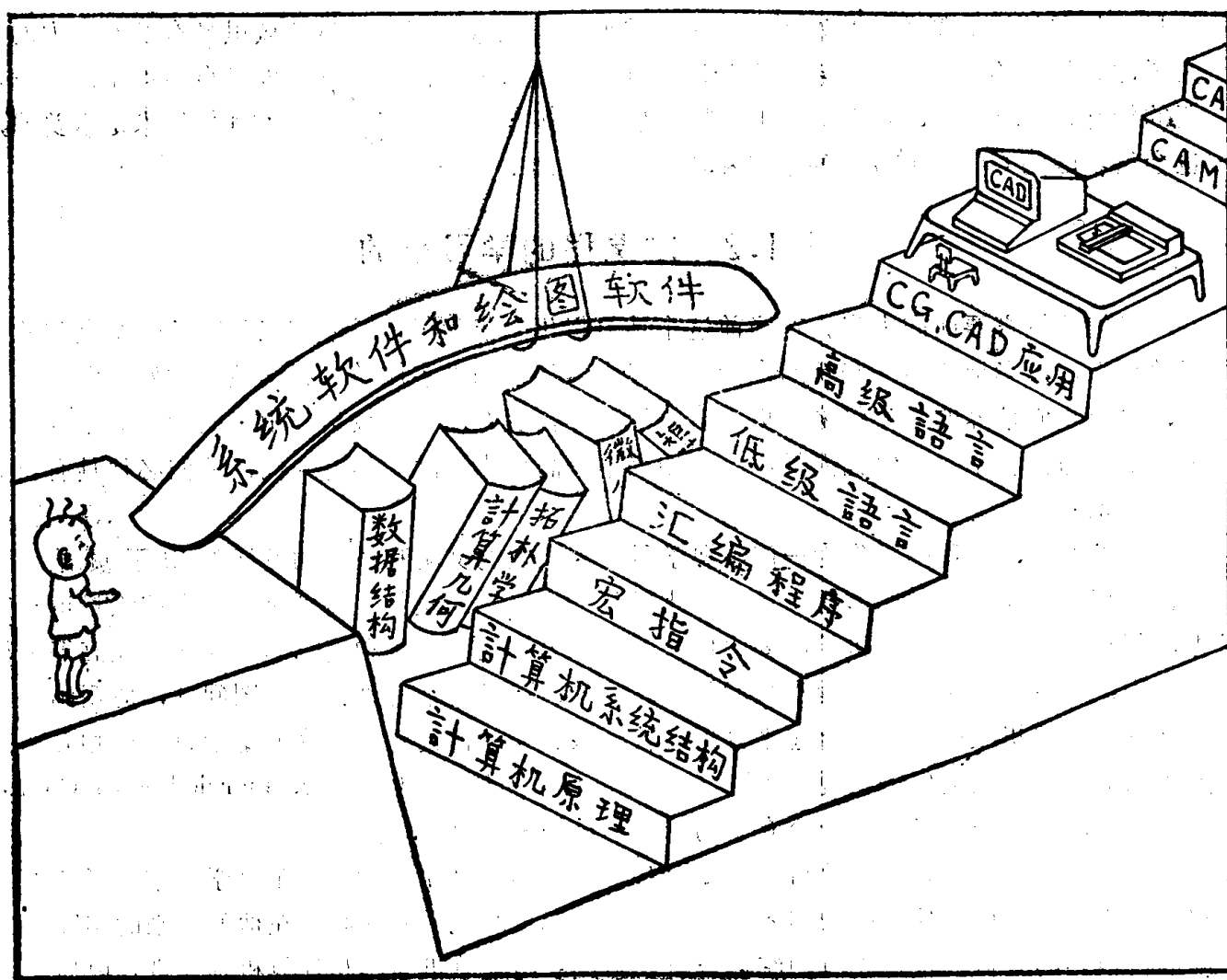


图 1-3 计算机绘图入门

但对仅着眼于 *CG* 和 *CAD* 应用的科技工作者来说,能否设法先越过这些障碍呢?在计算机系统日益发展和完善的今天,这是能够实现的。所存在的峡谷和台阶可以由数学工作者和软件工程师的工作来预先弥补,而广大的用户不必都要从头做起。人们只需懂得一、二门高级语言和上机操作步骤,就可通入计算机,编制程序和应用它们。对于计算机绘图来说,高质量的系统软件和通用绘图软件相当于架设起一座桥梁,使用户越过计算机内部的一些过程,能直接使用高级语言来调用绘图软件而获得理想的图形输出效果。工科专业学生在校学习期间,经过几段 *CG* 和 *CAD* 选修课程的学习和上机实践,将会很快进入这一新技术的领域,从而提高毕业后的工作适应性。

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:

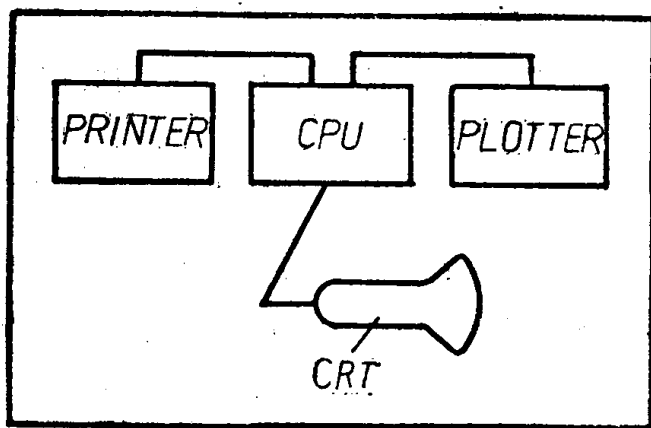
要熟悉计算机设备的使用和细心上机操作。

要勤于空间构思和进行编程设计。

要耐心调试、敏捷思考和修改显示结果。

要及时总结、积累经验、提高出图效率和绘图程序设计能力。

要结合课题,应用 *CG* 取得实际效果。



第二章 计算机绘图系统的基本知识

计算机绘图系统是一个以计算机为主的系统，它除了有计算能力外，还必须有产生图形的能力。计算机绘图系统应包括：

硬件系统：计算机，必要的外部设备，图形输出、输入设备等。

软件系统：使计算机能够进行编辑、编译、计算和实现图形输出的信息加工处理系统，一般包括系统软件、数据库、绘图语言、子程序库等。

本章将扼要地介绍计算机生成图形的硬件和软件的基本知识。

§ 2.1 硬件基本知识

利用计算机进行绘图时，首先对所画图形进行数学处理，然后用该计算机使用的语言编写源程序，通过输入设备输入到计算机的内存贮器中，由计算机进行编译和图形处理后，直接控制绘图机绘出图形。为了在计算机绘图过程中可以按人的意志修改图形，创造了能进行人-机对话的交互式绘图系统。图 2-1 是多用户交互式计算机绘图系统的示意图，它由下列主要设备组成：

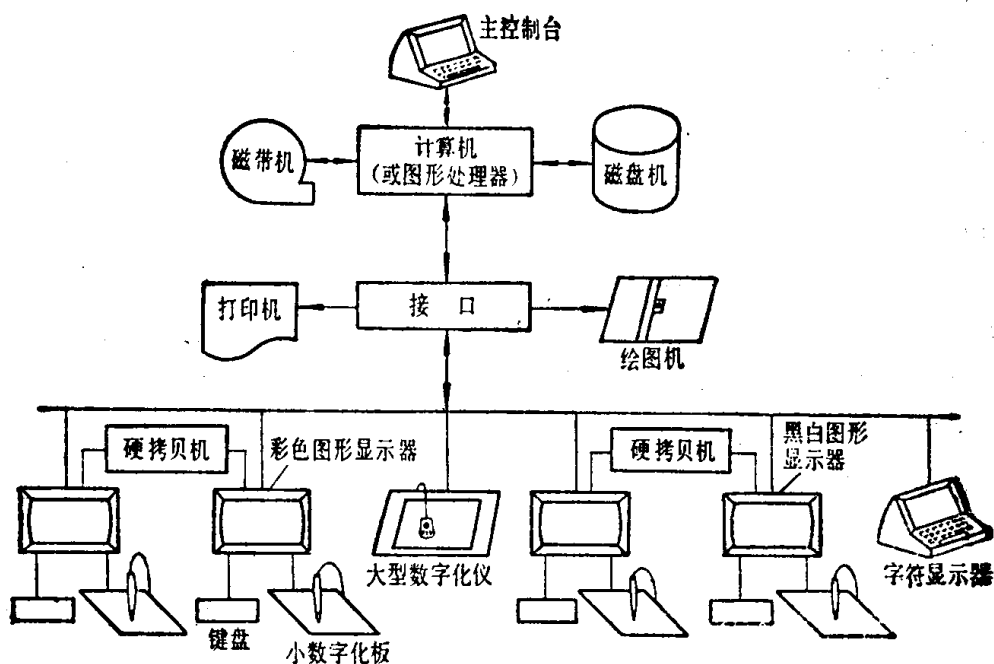


图 2-1 多用户交互式计算机绘图系统的示意图

一 计算机

计算机是自动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、输出中间结果和最后结果，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。

目前，由于小型计算机内存容量的扩大，外存容量（指存在磁盘、磁带上）可按需要选择，又可多用户同时工作，所以，常用小型计算机作为绘图系统的控制机。也有用微型计算机作为绘图系统的控制机。

二 输入、输出设备

常用的非图形输入、输出设备有键盘、电传打字机、字符显示器、宽行打印机等。图形输入设备有键盘、小数字化板、大型数字化仪等。图形输出设备有图形显示器、硬拷贝机、绘图机等。

小数字化板又称图形输入板。由图 2-1 可知，小数字化板、键盘和图形显示器可作交互式绘图用。当电笔压向板面时，电笔所在的坐标位置（即 X 、 Y 坐标值）能被感知，并在图形显示器的荧光屏上显示出相应坐标位置。它有删除、作图、标点和指示清单等功能。图 2-2 是小数字化板的示意图。小数字化板的精度以分辨率来衡量，就是以相邻两点之间可分辨的最小距离来衡量。小数字化板的分辨率在 0.25 mm 到 0.025 mm 之间。由于用小数字化板进行交互式绘图，在操作上更符合人的习惯，精度也能满足一般绘图的需要，故得到广泛的使用。

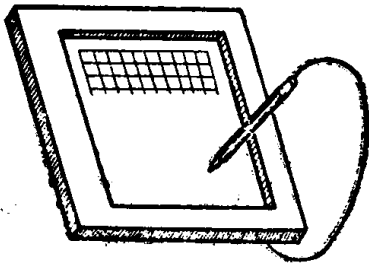


图 2-2 小数字化板

大型数字化仪主要用来输入复杂的图形，它可把图形转换成坐标数据形式，贮存在计算机的磁盘或磁带上，也可以重新在图形显示器或绘图机上复制成图。它比小数字化板的有效面积更大，精度也较高。直接输入图形时，操作者把图纸放在面板上，使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。

硬拷贝机能把图形显示器荧光屏上的图形和文字复制（copy）到特种纸上。拷贝出的图可供绘制正式图前进行检查之用，也可作为资料保存，但图形清晰度稍差。

三 绘图机

绘图机是绘图系统的主要设备。它由电子计算机控制自动完成各种绘图动作。常用的绘图机分成滚筒式和平台式两类。

(1) 滚筒型绘图机

图 2-3 是滚筒式绘图机的示意图。绘图纸卷覆盖在

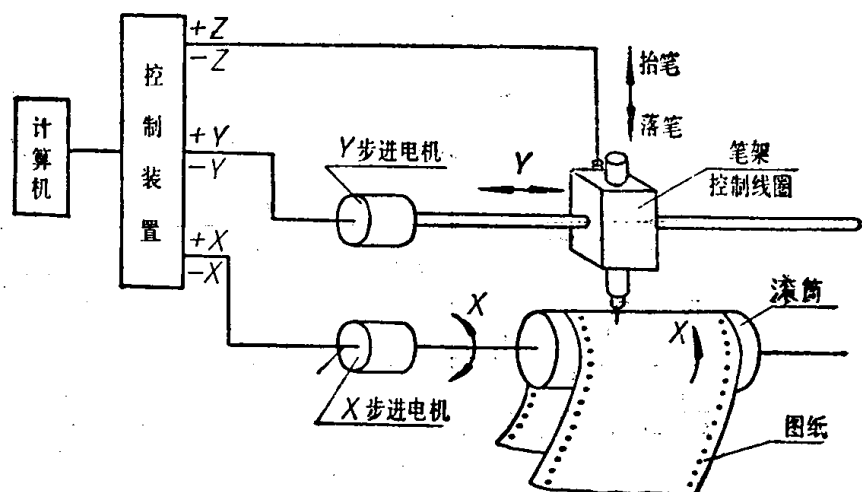


图 2-3 滚筒式绘图机传动示意图

滚筒上,滚筒的两边有链轮,图纸的两侧有链孔,当步进电机通过传动机构带动滚筒旋转时,链轮就带动图纸来回移动,形成 X 方向运动。 Y 方向的运动是由笔架的移动来完成的。依靠这两个运动就可绘制图形。这种绘图机结构简单,绘图速度快,在 X 方向上可以连续绘制几十米长的图形,但需要用两侧有链孔的专用图纸。

(2) 平台型绘图机

根据驱动方式的不同,平台型绘图机可分为有导轨、横梁的平台型绘图机及无导轨、横梁的平面电机型绘图机。

图 2-4 是有导轨、横梁的平台型绘图机的示意图。横梁沿导轨作 X 方向运动,笔架在横梁上作 Y 方向运动,这样就可绘制图形。这种绘图机因为移动部件惯性大,故绘图速度较低,但绘图精度要比滚筒型绘图机高,因此,比较适宜于绘制复杂的曲线。

平面电机型绘图机的驱动部件是平面电机。电机的定子是平板,动子可在定子平板下作直线运动,所以它不需要其它传动机构,如图 2-5 所示。因为动子上直接装笔架,故运动部件非常轻,而且动子与定子之间又是气体摩擦,所以平面电机型绘图机绘制直线时可达很高的速度。一般可达 60 米/分以上,加速度可达 $1\sim 2g$ (g 为重力加速度)。特别适宜于电子工业绘制集成电路图和频繁抬、落笔的大量随机直线图。

四 绘图机的主要技术指标

绘图机的主要技术指标有绘图速度、步距、绘图精度、绘图机功能等项目。

(1) 绘图速度

绘图速度是指绘图机上画笔移动的速度。它应该有两个指标,一是最高速度。二是加速度。画图时,画笔由静止状态到运动状态再停下来,画笔是作变速运动。因此绘图机的加速度决定了绘图速度的高低。如一台绘图机的绘图速度很高,而加速度较小,则画笔达到最高速度要很长时间,故这台绘图机总的绘图速度不会很快。只有绘图速度和加速度都很大时,该绘图机才能达到速度快、效率高的指标。

绘图机的加速度取决于驱动元件的转矩及运动部件的惯量。在驱动元件转矩相同的情况下,运动部件的惯量越小,绘图机的加速度就越大。

绘图机的速度以米/分计,加速度以 g (9.8 米/秒²) 计。如平面电机型绘图机的加速度可达到 $1\sim 2g$,一般它的绘图速度可达到 $60\sim 90$ 米/分。

(2) 步距

步距也名脉冲当量、分辨率。当计算机向驱动部件发出一个走步脉冲时,驱动部件就带

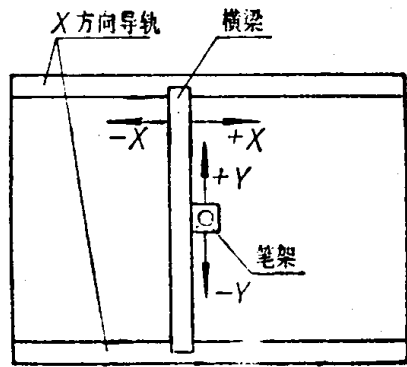


图 2-4 平台式绘图机

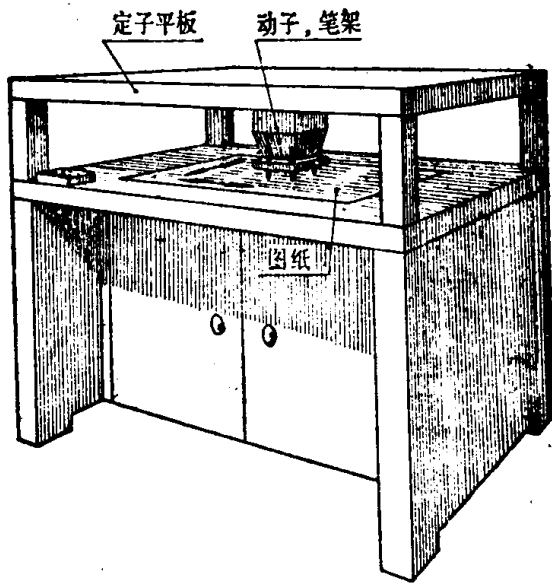


图 2-5 平面电机型绘图机

动画笔（或图画纸）移动一个步距。绘图机的步距一般在 $0.1 \sim 0.01$ 毫米之间，步距越小，绘图机的精度越高。

(3) 绘图精度

绘图精度是指实际绘制的图线与理论图线之间的误差率，它包括下面几项。

(i) 静态精度 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。

(ii) 重复精度 画笔从出发点移动一定距离后，再回到出发位置时，出发点与实际终点之间的偏差。

(iii) 零位精度 画笔从零位移动到绘图台面所允许的最大距离，再返回零位时，零位与实际终点间的偏差。

(iv) 总精度 积累误差的允许值。

(4) 绘图机功能

绘图机功能是指绘图机能绘制图形的复杂程度。如图幅大小，绘图机的插补功能（指能否插补直线、圆、抛物线等），装画笔的数量、曲线拟合功能等。

五 绘图机的联接方式

绘图机与计算机之间的联接方式可分成联机方式和脱机方式两种。

图 2-6(a) 是联机方式的示意图。计算机把用户输入的绘图程序进行处理，形成绘图数据，通过接口输给绘图机。计算机直接控制绘图机每个动作。这种联接称为联机方式。它的优点是可直接得到图形。但计算机的计算速度大大快于绘图机的绘图速度，联机工作必然造成计算机等待绘图机的动作，大量浪费计算机的时间，增加绘图成本。

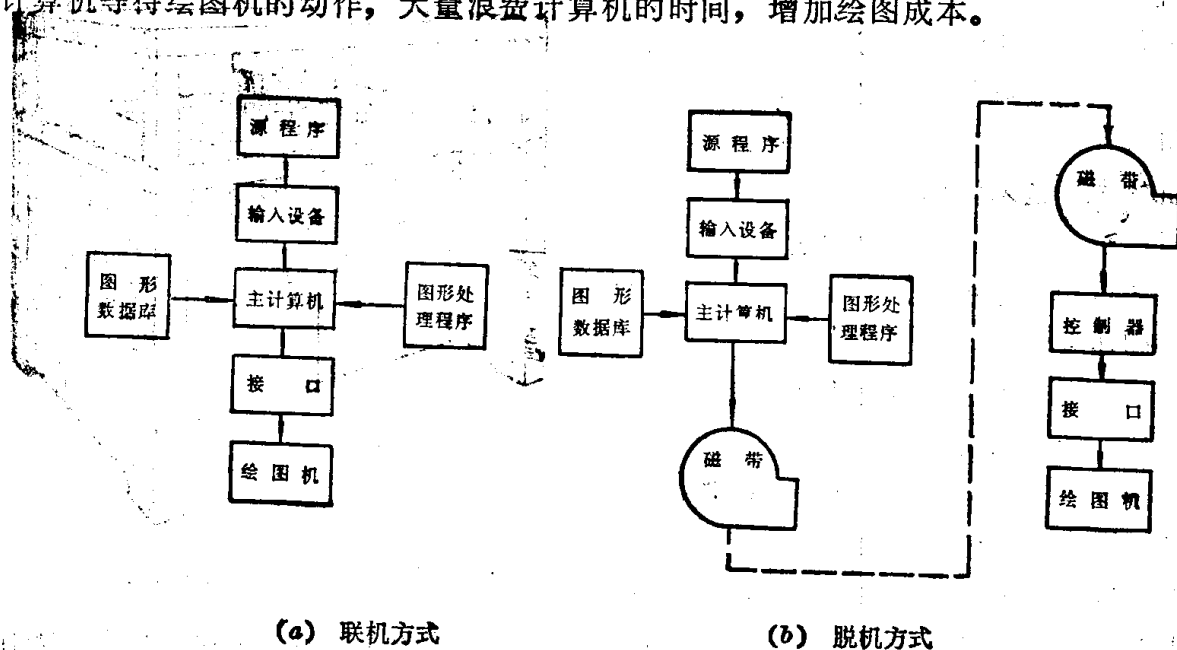


图 2-6 绘图机的联接方式

图 2-6(b) 是脱机联接方式。它的特点是计算机处理后，得出的绘图数据不直接输到绘图机，而是纪录到磁带上，计算机可进行其它工作。绘图时，从磁带上读取绘图数据，通过控制器（或微型计算机）控制绘图机工作。这种脱机方式可节省计算机的使用时间，降低绘图成本。近年来由于微型计算机大量发展，用微型计算机来控制绘图机既经济又方便，所以脱机联接的方式应用较多。

§ 2.2 绘图机的作图原理

绘图机作图时, 画笔或纸的移动是由计算机控制驱动部件(如步进电机)来实现的。当计算机向驱动部件发出一个走步脉冲信息, 驱动部件就带动画笔(或画图纸)移动一个步距。因为画笔只能作 X 或 Y 方向运动, 所以绘图机不能画出理想的线条, 只能画出逼近理想线条的折线。下面来讨论画笔逼近理想线条的方法。

一 绘图笔的动作

绘图笔除能作 X 或 Y 方向走步外, 还能作下面几种动作。

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: 多笔绘图机有选用某一枝画笔的功能。

二 绘图笔的走向

因为绘图机的笔架只能作 X 和 Y 轴向运动, 所以绘图机可能有八个方向的走步, 即 $+X$, $+Y$, $-X$, $-Y$, $+X+Y$, $+X-Y$, $-X+Y$, $-X-Y$, 八方向的走步如图 2-7 所示。

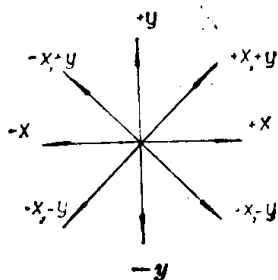


图 2-7 八个走步方向

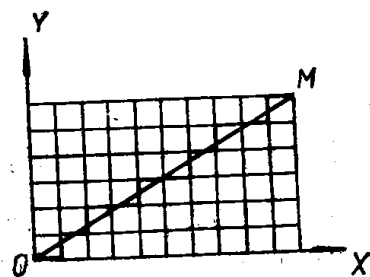


图 2-8 用阶梯线代替直线

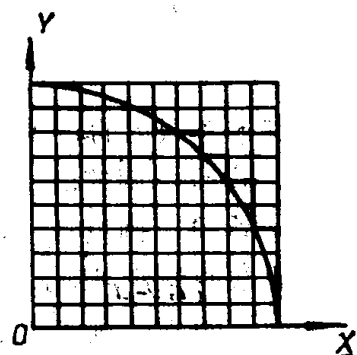


图 2-9 用阶梯线代替圆弧

但是大多数绘图机只提供四个基本走步方向, 即 $+X$, $+Y$, $-X$, $-Y$ 。对于其它方向的线段都是用这四个基本方向的走步逐步逼近的。如要画一条不属于基本走向的斜线 OM , 实际上画的是一条阶梯状的折线, 如图 2-8 所示。由于绘图机的步距很小, 如步距小于 0.05 毫米时, 用肉眼看不出所画线段的阶梯形状, 而成为相当光滑的直线了。绘制曲线也是用画折线的方法逐渐向理论曲线逼近的。图 2-9 表示用阶梯折线来代替圆弧的情况。

从图 2-8 可以看到绘图机画 OM 直线时, 必须在 OM 两点之间插入许多点(即每一步的终点)。这种把线段分解和加密, 并补进许多点的过程称为插补。插补的原则是每走一步都要向理论线段逼近, 所以绘图机走完一步后, 都要求计算机进行运算、判别, 决定下一步应向哪个方向走, 才能向理论线段逼近。为了提高计算机的使用效率, 有的绘图系统使用专用设备——插补机来进行插补运算工作。

插补运算的方法有很多种, 如逐点比较法、正负法、数字积分法、微分分析法等。下面仅介绍常用的逐点比较法。

三 直线的插补

如图 2-10 要画第一象限内的直线 OA 。始点为 $O(X_0, Y_0)$ ，终点为 $A(X_e, Y_e)$ ，画笔当前的位置 $K(X_k, Y_k)$ 。 K 点相对于 OA 有三种不同位置： K 点在 OA 线上方； K 点在 OA 线上； K 点在 OA 线下方。

如 K 点在 OA 线上，则

$$\frac{Y_k}{X_k} = \frac{Y_e}{X_e} = \tan \alpha$$

即

$$X_e Y_k = X_k Y_e$$

令 $F_k = X_e Y_k - X_k Y_e$;

当 K 在 OA 线上时， $F_k = 0$;

当 K 在 OA 线上方时， $F_k > 0$;

当 K 在 OA 线下方时， $F_k < 0$;

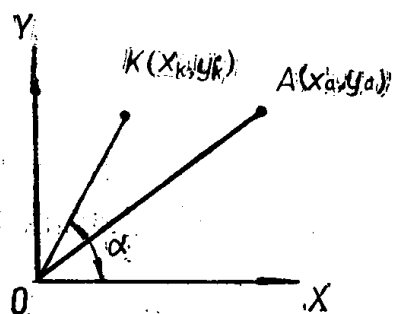


图 2-10 直线的插补

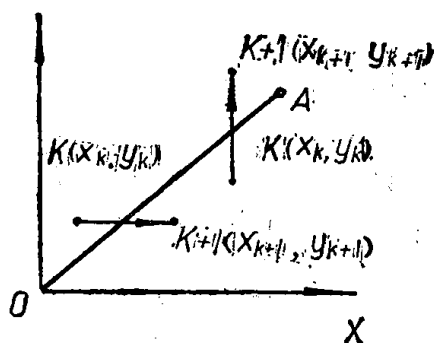


图 2-11 对直线的偏差判别

对第一象限内的直线，插补时规定

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

当 $F_k < 0$ 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进一步简化，如图 2-11 所示。

当 $F_k \geq 0$ 时，画笔沿 $+X$ 方向移动一个单位步长，移动后的坐标为

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

新的偏差

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

当 $F_k < 0$ 时，画笔沿 $+Y$ 方向移动一个单位步长，移动后的坐标为

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k \\ Y_{k+1} &= Y_k + 1 \end{aligned}$$

新的偏差

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

从上面可知，直线的插补运算只有加减的运算，可根据上一步的偏差值和终点坐标推算出下一步的走向。这样每走一步就进行一次计算和判断，直到终点为止。终点的判断可利用起点到终点某个方向（ X 或 Y 向）坐标的总步数来判别。当 $Y_e > X_e$ 时，终点判别用 Y 轴的总步数；当 $X_e > Y_e$ 时，则终点判别利用 X 轴的总步数。

如图 2-12 对第一象限内的直线 OA 进行插补运算。始点 $O(0,0)$ ，终点 $A(4,5)$ 。设绘图机的步距为 1，其插补运算如下表所示。

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			$F_0=0$	$y_a > x_a \quad \Sigma_0 = y_a = 5$
1	$F_0=0$	$+\Delta X$	$F_1 = F_0 - Y_a = 0 - 5 = -5$	$\Sigma_0 = 5$
2	$F_1 < 0$	$+\Delta Y$	$F_2 = F_1 + X_a = -5 + 4 = -1$	$\Sigma_1 = 5 - 1 = 4$
3	$F_2 < 0$	$+\Delta Y$	$F_3 = F_2 + X_a = -1 + 4 = 3$	$\Sigma_2 = 4 - 1 = 3$
4	$F_3 > 0$	$+\Delta X$	$F_4 = F_3 - Y_a = 3 - 5 = -2$	$\Sigma_2 = 3$
5	$F_4 < 0$	$+\Delta Y$	$F_5 = F_4 + X_a = -2 + 4 = 2$	$\Sigma_3 = 3 - 1 = 2$
6	$F_5 > 0$	$+\Delta X$	$F_6 = F_5 - Y_a = 2 - 5 = -3$	$\Sigma_3 = 2$
7	$F_6 < 0$	$+\Delta Y$	$F_7 = F_6 + X_a = -3 + 4 = 1$	$\Sigma_4 = 2 - 1 = 1$
8	$F_7 > 0$	$+\Delta X$	$F_8 = F_7 - Y_a = 1 - 5 = -4$	$\Sigma_4 = 1$
9	$F_8 < 0$	$+\Delta Y$	$F_9 = F_8 + X_a = -4 + 4 = 0$	$\Sigma_5 = 1 - 1 = 0$ (到达终点)

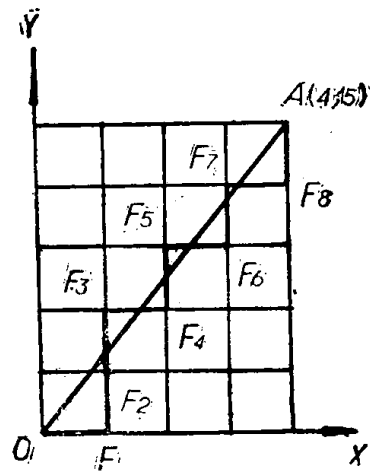


图 2-12 直线插补运算

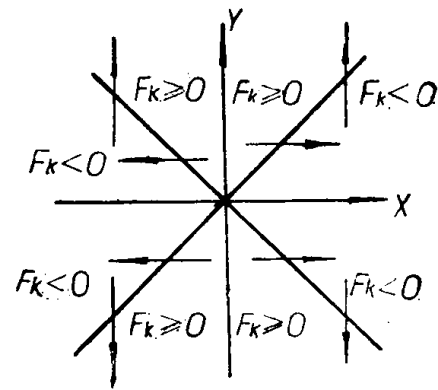


图 2-13 不同象限内直线插补的判别符号

对于其它象限的直线插补方法与第一象限的直线插补方法是相同的，其差别仅是规定不同象限内插补的走步方向有所不同。图 2-13 表示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 圆弧的插补

如第一象限内的圆弧 $\widehat{AB}$ (图 2-14)。始点 $A(X_a, Y_a)$ ，终点 $B(X_b, Y_b)$ ，圆心为原点 O ，半径为 R 。若画笔当前位置为 $K(X_k, Y_k)$ ，则 K 点相对于圆弧 $\widehat{AB}$ 有三种不同的位置，即： K 在 $\widehat{AB}$ 上； K 在 $\widehat{AB}$ 外侧； K 在 $\widehat{AB}$ 内侧。

令
$$F_k = X_k^2 + Y_k^2 - R^2$$

F_k 称为圆弧插补的偏差判别式

当 K 在 $\widehat{AB}$ 上时， $F_k = 0$ ；

当 K 在 $\widehat{AB}$ 外侧时 $F_k > 0$ ； 当 K 在 $\widehat{AB}$ 内侧时 $F_k < 0$ 。

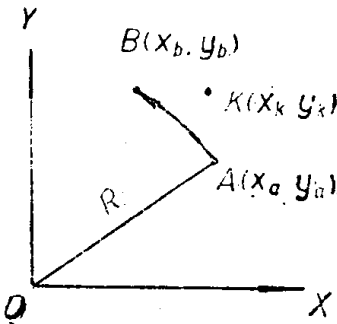


图 2-14 圆弧的插补