

大比例尺地形图 机助绘图算法及程序

王来生 鞠时光 郭铁雄等 编著



测绘出版社

大比例尺地形图 机助绘图算法及程序

王来生 鞠时光 郭铁雄等 编著

测 绘 出 版 社

(京)新登字065号

内 容 提 要

本书系统地介绍了计算机应用于测绘大比例尺地形图的基本原理、方法和技巧。全书共分十一章, 主要内容包括: 数据编码及其采集、平面等高线的绘制、曲线拟合、基于空间曲面的插值、大比例尺地形图的绘制、平面面积和立体体积的计算机辅助计算、地形断面图的绘制、地形立体等高线的绘制、真实感地形图的绘制、交互式图形处理技术等等。在附录中给出了GKS图形命令的简要说明。

本书可供从事测绘工作和土木工程设计的工程技术人员及研究人员学习、参考, 也可作为高等院校有关专业的教材或教学参考书。

大比例尺地形图机助绘图算法及程序

王来生 鞠时光 郭铁雄等 编著

*

测绘出版社出版·发行
河北地质六队美术印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所经销

*

开本 778×1092 1/16·印张16.75· 字数375千字
1993年8月第一版·1993年8月第一次印刷
印数0001—3000册 定价13.00元
ISBN 7-5030-0607-2/P·237

前 言

各种土木工程都离不开图,因为它既是表达工程设计思想的主要手段,又是工程施工的重要依据。然而,在工程设计过程中,又正是因为绘制各种图使得工程技术人员耗费了大量的宝贵时间,延长了设计周期。

随着计算机技术的迅速发展,计算机的应用范围已由原来的单纯数值计算扩展到数据处理、辅助设计和人工智能等多个领域。特别是计算机辅助设计技术的发展与应用,使得越来越多的工程设计人员加入到研制、开发和使用计算机应用程序的行列。

在我国的勘测行业,原始的通过野外测量数据用人工绘制地形图的方法受到了挑战,对这种传统的绘图方法进行改革已是不可避免。因为计算机可以大容量、高速度地分析处理这些数据,所以可以缩短绘图周期,降低成本,节省人力和物力。而且,当地形图在屏幕上显示出来之后,工程技术人员就可直接在交互式计算机图形系统的显示终端上进行设计,探索各种解决设计问题的方案。为此,作者编写了本书,以便为在勘测设计等方面进行计算机应用和CAD开发提供一本比较深入和系统的参考读物。

本书介绍的内容有:第一章是绪论,介绍了计算机辅助绘图的发展和应用。第二章介绍了常见的几种数据编码和数据采集的方法。第三章是关于平面等高线绘制算法的讨论,介绍了用规则网格法和三角网法绘制平面等高线的方法。第四章讨论了曲线拟合的几种方法,并对作者开发的实用三次样条插值函数法进行了介绍。第五章对空间曲面的插值进行了介绍。第六章介绍了作者在开发大比例尺地形图自动绘制系统过程中所用到的算法和处理方法。第七章讨论了用计算机辅助计算平面面积和立体体积的方法。第八—十章分别介绍了地形断面图、地形立体等高线和真实感地形图的绘制方法。第十一章对交互技术进行了讨论。在附录中对书中程序所涉及到的GKS指令进行了介绍。

本书以应用为主,对绘图理论和绘图有关硬件知识只作简要介绍,重点放在算法研究和软件编程上。对在绘制大比例尺地形图过程中遇到的等高线在稠密地区易相交、地物图示符号之间的交叉覆盖以及在坎、坡等复杂地貌环境下等高线的走向等问题进行了讨论,努力从实际应用的角度出发去分析和解决问题。本书采用的高级语言是FORTRAN语言,书中所有程序都在VAX 11/780和IBM PC微机上运行通过,可在工程中使用。

本书是由王来生、鞠时光等同志在多年研究基础上编著而成。其中第一章由王来生执笔,第二章由郭铁雄执笔,第三章(一、二、三节)、第五章由王建新执笔,第四章、第六章(一、二、四、五、六节)由郭伟刚执笔,第七、八、九、十章由鞠时光执笔,第三章(四、五节)第六章(三节)、第十一章及附录由俞忻执笔。

由于作者水平限制,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

1992. 9

源 程 序 一 览 表

程 序 代 码	程 序 名 称	页 码
EXP31. FOR	规则网格等高线的查询	27
EXP32. FOR	三角网的划分	43
EXP33. FOR	用离散数据点绘制平面等高线	55
EXP41. FOR	分段三次多项式插值法 (scdxs)	66
EXP42. FOR	B样条法 (B SPLINE)	72
EXP43. FOR	B样条法子程序 (bks和pt)	72
EXP44. FOR	张力样条法 (ZLYTH)	79
EXP45. FOR	实用三次样条函数法 (pratical-spin3)	84
EXP51. FOR	双三次Coons曲面子程序	94
EXP52. FOR	双三次Coons曲面主程序	98
EXP61. FOR	路灯子程序 (R122)	109
EXP62. FOR	架空管线符号子程序 (R3230)	111
EXP63. FOR	隐点判断算法 1	124
EXP64. FOR	隐点判断算法 2	125
EXP65. FOR	隐点判断算法 3	126
EXP66. FOR	break1	127
EXP67. FOR	break2	127
EXP71. FOR	tableinput	136
EXP72. FOR	土方计算程序	146
EXP81. FOR	单层断面程序	168
EXP82. FOR	多层断面程序	172
EXP83. FOR	多视区显示程序	179
EXP84. FOR	地貌断面图绘制程序	189
EXP91. FOR	绘制立体等高线程序	223

注：表中EXP××. FOR

表示程序所在章数

表示该章的第几个程序

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 计算机辅助绘图的发展和应用	(1)
第二节 计算机绘制地形图的一般过程	(3)
第三节 计算机辅助绘图的基本设备	(4)
第四节 交互式计算机图形显示系统的组成	(9)
第二章 数据编码及其采集	(11)
第一节 数据编码	(11)
第二节 数据采集	(17)
第三章 平面等高线的绘制算法	(22)
第一节 规则网格法及其程序设计	(22)
第二节 三角形网的建立	(33)
第三节 三角网法绘制等高线及程序设计	(48)
第四节 绘制流线的原理	(59)
第五节 计算机绘制平面等高线阴影图的原理	(62)
第四章 曲线拟合	(63)
第一节 分段三次多项式插值法	(63)
第二节 Bezier曲线法	(68)
第三节 B样条法	(70)
第四节 张力样条法	(74)
第五节 实用三次样条插值函数法	(81)
第五章 基于空间曲面上的插值	(88)
第一节 Coons曲面	(88)
第二节 Bezier曲面	(99)
第三节 B样条曲面	(102)
第六章 大比例尺地形图的绘制算法及程序设计	(105)
第一节 大比例尺地形图的特点	(105)
第二节 绘制系统的构成	(106)
第三节 地物子程序库的建立	(108)
第四节 数据转换	(117)
第五节 $2\frac{1}{2}$ 维消隐算法	(122)
第六节 系统的处理流程	(128)

第七章 平面面积和立体体积的计算机辅助计算	(134)
第一节 直接由平面等高线计算面积和体积的算法	(134)
第二节 直接由原始数据计算面积和体积的算法	(141)
第三节 用断面法计算土石方	(158)
第八章 地形断面图的绘制	(163)
第一节 地形断面图的计算机绘制算法	(163)
第二节 地质剖面图的计算机绘制	(171)
第三节 多视区显示算法	(177)
第四节 地貌断面图的计算机绘制	(185)
第九章 地形立体等高线的绘制	(205)
第一节 二维图形变换的数学基础	(205)
第二节 三维图形变换的数学基础	(210)
第三节 隐藏线消去	(216)
第四节 计算机绘制立体等高线	(219)
第十章 真实感地形图的绘制	(232)
第一节 真实感图形的基本概念	(232)
第二节 真实感图形的计算机生成	(232)
第三节 真实感地形图的绘制	(236)
第十一章 交互式图形处理技术	(243)
第一节 交互式图形处理技术	(243)
第二节 交互式工程规划系统	(251)
附录 常用GKS图形命令说明	(258)

第一章 绪 论

第一节 计算机辅助绘图的发展和应用

一、计算机辅助绘图的发展

图是科学技术领域里一种共同的语言,是人类信息的载体之一。人们在现代生产活动的各个领域,经常要绘制各式各样的图纸,用以表达设计思想,交流经验以及指导生产活动。

电子计算机的出现和迅速发展,改变了传统的手工绘图方式。50年代初,人们根据数控机床的原理,用绘图笔代替刀具面发明了第一台平板式数控绘图机,随后又发明了滚筒式数控绘图机。数控绘图机的发明,不但使古老的绘图科学有了突破性发展,而且使应用计算机实现自动绘图成为可能。60年代,国际上发明了阴极射线管(CRT),这是一种以图形显示的形式将数据输入和输出的设备。它的出现,使计算机自动绘图进入一个新的发展阶段。

无论是计算机自动绘图还是计算机图形显示,都不能将图形资料直接输入给计算机,必须将图形转换为数字,才能被计算机所接受。因此,作为一个绘图系统,为了实现自动绘图和自动显示,必须具备由“数”变“图”和由“图”变“数”的功能。由于计算机、数控绘图机,光笔、图形显示器、图数转换器等设备的产生和发展,以及图形数据处理方法的深入研究,促进了图学的发展。在经历了设备研制,理论探讨,系统建立,应用研究等阶段以后,就逐渐地形成了一门新兴的学科——计算机图学。

计算机图学作为一门新兴的学科,从一开始,就在各种学科中引起越来越多人的兴趣,由于研究探讨和从事实践活动的人员不断增加,并根据不同专业研究方向的需要,在计算机图学领域内,形成了不同的分支,例如:计算机绘图、图像处理及模式识别等等。

计算机绘图又称为计算机图形学,在这个分支中心理论研究方面,第一篇论文是美国的伊凡·萨瑟兰(I.E.Sutherland)于1963年发表的《SKETCHPAD——一种人机对话系统》,文章介绍了由计算机产生图形的人机对话系统的全面情况。接着在美国、西欧等主要工业国家陆续开展了这方面的研究工作。但在整个60年代均处于实验室研究阶段,投入使用的系统不多,主要是由于计算机设备昂贵,系统的研制处于萌芽阶段,因而应用受到很大限制,60年代后期,美国的史蒂夫·孔斯(Steve Coons)的总结性论文的发表,促进了这个学科的发展,他的理论在英国得到了迅速反响,不久即投入了使用。进入70年代以后,随着计算机设备质量的提高和成本的降低,逐渐形成了计算机图形处理系统,从而使运用计算机进行图形处理、绘图获得了推广。到了70年代后期,大规模集成电路技术取得了重要进展、特别是微处理机的出现,廉价的半导体随机存储器(RAM)的大量生产以及外部设备的性能提高、价格降低,使图形处理系统更为便宜。同时,随着用户对其性能要求越来越高,以及新型显示装置的相继问世,图形处理系统也向人机对话更为方便的交

互式系统方向发展。

我国60年代末期开始研制数控绘图装置和显示设备,并在理论方面也进行了探讨和研究。1968年我国第一台数控绘图机研制成功,1977年第一台用小型电子计算机直接控制的平面电机型绘图机通过了技术鉴定,1981年科学院研制成功PDH-120型自动绘图系统。与此同时,为了满足国民经济发展的需要,先后从国外引进了近百台各种类型的绘图机和不同类型的绘图系统,广大科技人员在消化先进技术的基础上,奋发图强,不断将我国的计算机绘图技术推向新的水平。目前,我国不但能生产各种类型的绘图机,也能生产黑白或彩色显示设备,并且在发展生产的过程中,培养和训练出一大批从事计算机图学的人才。我国的正负法绘图原理以及对双圆弧逼近绘图法的研究,都达到世界先进水平,在计算机绘图的应用方面也取得了巨大进展。

二、计算机辅助绘图在CAD中的应用

随着计算机工业的日新月异,计算机应用软件开发的迅猛发展,人们已不只是使用计算机来进行数值计算,而且用它来进行事务管理与辅助设计。计算机辅助设计(CAD)已经广泛地应用于造船、航空、航天、机械、电子、建筑、测绘等部门,CAD是一门多学科、综合性的新技术。一个CAD的软件系统一般包括四部分:

(1) 图形技术(曲线、曲面、二维图形和立体造型);

(2) 数值分析(设计计算,有限元分析等);

(3) 最优化(线性和非线性规划);

(4) 软件技术(人机界面和数据库等)

CAD软件系统需要工程、数学和软件三方面的专业人员联合开发。一般CAD的流程图如图1-1所示。

实践经验告诉我们,搞设计离不开图纸,“图纸是工程师的语言”,大部分计算机辅助设计的最终结果是得到一份清晰正确的设计图纸(包括简单的统计图表、曲线等)及工程施工图纸。所以,计算机的图形处理功能是CAD技术的一个重要组成部分,图形软件可称CAD软件的基础软件或支撑软件。

随着电子计算机技术的发展,国内外推出了种类繁多、性能良好的图形显示器和高精度的绘图仪,使得计算机图形处理功能越来越强,计算机图形系统能方便地生成图形,对图形进行修改、增删、放大、缩小、平移、旋转、裁剪、开窗口等;还能生成立体图形,

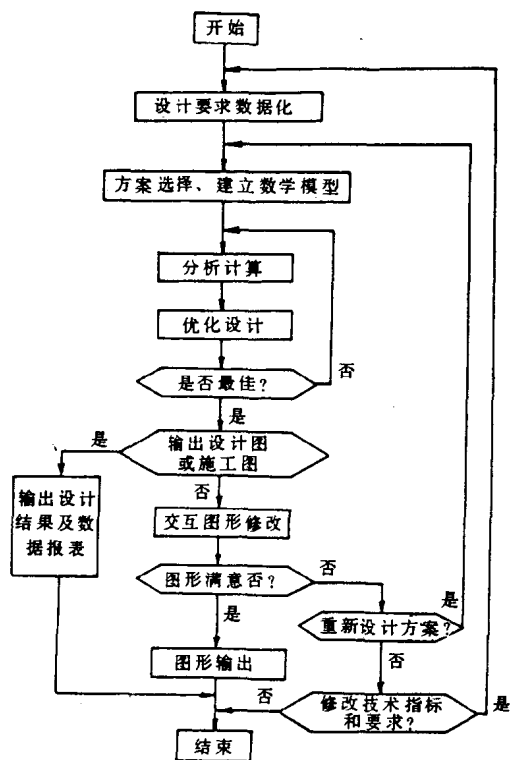


图 1-1 计算机辅助设计流程图

对立体图形作几何变换、取剖面、消除隐藏线、裁剪，输出各种透视投影图。随着带灰度、多色彩、高分辨率的光栅显示器的出现，还能用计算机来生成有明暗效应的，能进行透明、反射、纹理处理的高度真实感的图形，从而使得计算机图形绘制在建筑模型的辅助设计、装璜设计、工程设计、测绘地图中得到了应用。

第二节 计算机绘制地形图的一般过程

地形图自动编绘的提出是适应人类对于地形图的客观需要，它的现实性取决于现代科学技术水平。从50年代制图自动化课题的提出，到现在20多年来，它经历了理论探讨、设备研制、建立系统和应用研究四个发展阶段。目前，地形图自动编绘在一些先进国家已取得初步成效。

地形图自动编绘的一般过程可划分为四个阶段，即编辑准备、信息数字化，计算机编辑处理和图形输出。作业内容大体归纳如下：

一、拟定编辑计划

1. 资料的确定与分析评价，地形图投影与比例尺，地形图内容与表示方法。
2. 资料的预处理，使之适合自动绘制地形图工艺要求。
3. 地形图内容各要素编码系统的设计。即地形图图例的编码。
4. 计算机处理时所用程序的调用编排。
5. 自动绘图工艺的确定，包括图形输出方式、要素分数等。

二、原始信息的收集

1. 遥感资料

随着空间技术的发展，从飞机或卫星可获取大量高精度的地球景观信息，通过自动解译装置能从中择取所需的资料。

2. 地形图数据库

地形图数据库存储有极丰富的地形图数字信息以及大量地理资料，通过数据库的自动检索系统，从数据库中快速提取各种类型的资料。

3. 图形资料

一般指已有的地图，可采用图数转换装置将有关内容用数字形式记录下来。

4. 环境监测资料

环境保护制图常采用此类资料。环境监测资料由固定的或流动的监测站供给。

5. 其它统计资料

各类社会经济现象等现势资料。

三、数字信息规格化处理

包括对数据的检查、纠正、编码转换、统一坐标系、比例尺变换、资料合并、归类以及投影变换等。处理后的信息记入磁带或磁盘,为下一步计算机处理作好准备。

四、制图区域的分类、分级

五、地形图内容的自动制图综合

建立一整套适合于计算机处理的制图综合模式,特别是复杂的多要素的自动综合是实现自动制图的前提。制图综合是制图工作者的创造思维过程。

六、符号图形的计算机处理

符号图形处理包括:分类级别、确定符号尺寸、结构比例、各要素相互关系的避让、移位或交迭处理等。

七、图形输出

图形输出一般可分绘图机输出和图形显示屏幕输出两种,无论何种输出方式,对各种图形符号都应预先编制绘图子程序,由这些子程序和前述各过程的程序文件组成地形图绘制系统。专题地图类型多,表示方法各异,而且不同类型地图其编制特点各不同,资料处理、加工方法更有很大差异,因此在程序设计中必须考虑各种要求,使之有较大的灵活性和适应性。

实现地形图自动编绘将极大地减少繁重的手工作业,并使地图制图趋向定量化和模式化,对自然和经济现象空间分布特征的表示,由过去的定性描述逐步变为采用严密精确的定量分析手段。实现制图自动化要求制图人员更深入地研究和揭示地理要素的内在联系,并掌握数学工具,把各种数学方法引入地图制图领域,还应具备计算机知识,能正确地运用计算机和各种自动制图设备。

第三节 计算机辅助绘图的基本设备

一、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、存贮管图形显示器和光栅扫描图形显示器。

1. 随机扫描图形显示器

这是一种出现最早的图形显示器,使用阴极射线管作为显示器件,其结构如图1-2所示。

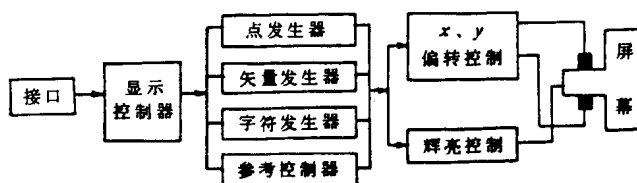


图 1-2 随机扫描图形显示器原理框图

这类图形显示器的优点是光点可以做得很小，图形清晰，所画曲线光滑，缺点是受画线长度的限制，难以画特别复杂的图形。

2. 存贮管图形显示器

存贮管是一种具有存贮功能的特殊电真空器件，分直接式和刷新缓存式两种。存贮管图形显示器的优点是分辨率高，其像素可达 4096×4096 ，图形清晰。但因刷新速度慢，不能作动态显示。

3. 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。它是用显像管作为显示器件，其扫描方式与电视机相同，是顺序扫描，即从屏幕的左上角开始从左到右，从上到下一行行扫描，用半导体随机存贮器（RAM）作为刷新存贮器。一个带有台板输入的光栅扫描式图形终端如图1-3所示。

光栅扫描图形显示器的优点是简单、成本低。当像素为 512×512 时，可与电视制式兼容，显示动态图形。图形照亮，能提供全彩色显示，可选颜色达 256^3 。缺点是在像素少时，显示的曲线不光滑，即所谓阶梯效应。目前已出现了 1024×1024 的高分辨率彩色图像显示系统。

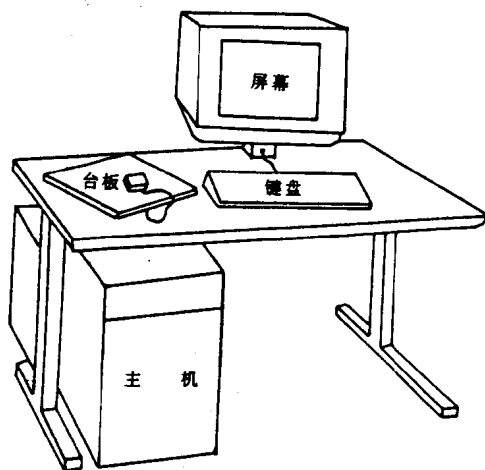


图 1-3 带有台板输入的光栅扫描式图形终端

二、图形输入设备

1. 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。图1-4是某种光笔的结构示意图。

将光笔笔头对准显示器上某点，同时按下触动开关，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

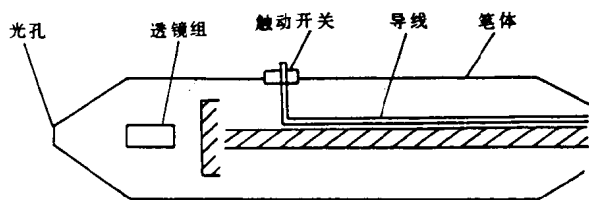


图 1-4 光笔的结构

计算可获得光笔所指处的坐标，加之与程序配合，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上任意移动，从而在屏幕上直接输入图形。在交互式系统中，还可用光笔去指点菜单。

2. 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1-5。它可以将图纸上的点或线变换为数字坐标，输入到计算机内。从原理上讲，有电磁式、磁电式等几种，最常见的是电磁式。

现以电磁式为例简单说一下其原理。它由固定图纸的平板、检测器、电子处理器三部分组成。平板下是检测线圈，做成笔状或游标状。所谓游标是一个中间刻有十字叉丝的线圈，为操作方便，在游标面上还有数个按钮，作功能控制用。

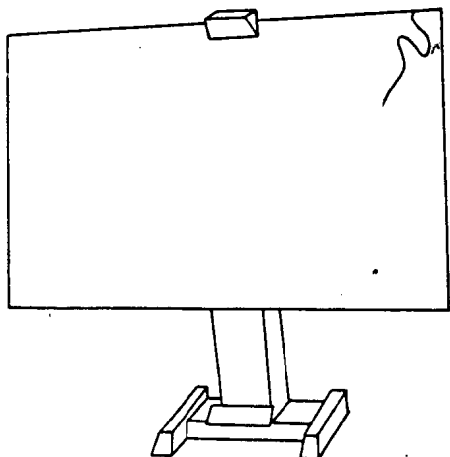


图 1-5 坐标数字化仪

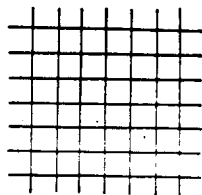


图 1-6 坐标数字化仪的网格

工作时扫描脉冲依次加在 x 、 y 方向各条线上，把游标放在平板上，并使其十字线对准要输入图形的某点，按下按钮，当扫描脉冲扫过检测线圈下时，检测线圈中可拾取到扫描脉冲，经过一套逻辑电路，便可确定出该处的坐标。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。而点列的方式，则是随着游标的移动而生成一系列的轨迹点坐标。点的生成是每秒几个点到几百个点，随所给设备的指令而定。这种选择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。

坐标数字化仪的主要技术指标有：幅面尺寸、精度、分辨率。一般来说，精度为 $0.15 \sim 0.55 \text{ mm}$ ，分辨率为 $0.02 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。

3. 图形或数据输入台板

台板的工作原理与坐标数字化仪相类似,只是台板的分辨率比坐标数字化仪要低,幅面尺寸也小。台板上的定位游标往往由输入笔来代替,使用更加方便。台板一般与交互式图形终端相连接,坐标数字化仪与计算机相连,所以它们所起的作用也就有所不同,前面已经说过,坐标数字化仪主要是用来输入图形的坐标,所以往往是把草图或已有的设计图贴在坐标数字化仪上,将图形的定位坐标点读入计算机,而在计算机内生成图形信息。当然也可以通过坐标定位而转换成其它的一些功能。

台板与图形终端相连,使台板上的坐标点与屏幕上的十字叉丝或游标的位置一一对应,当台板上的游标在台板上移动时,屏幕上的十字叉丝或游标也相应地移动,这样就可以用十字叉丝来指点屏幕上的图形或屏幕菜单命令,进行图形编辑而生成用户满意的图形。此外,在台板上也可贴上命令菜单、作图菜单、汉字菜单等,菜单还可以做成分页式,这样大大增强了交互式图形处理的功能。

4. 其它图形输入设备

其它的图形输入设备还有跟踪球。用手转动跟踪球,可以直接控制屏幕上的游标或十字叉丝移动,配合软件可以进行图形编辑。

操纵杆又叫画面控制器,它往往是交互式图形终端的一部分,可将屏幕上的图形连续放大、缩小,能达到类似电影镜头逐渐推前的效果。也能用它来操纵显示图形画面的区域。

最近还出现了声控装置配合台板作图形输入的系统以及类似文件输入而自动将图形画面读入到计算机内的图形输入装置,这些新系统的出现会使图形输入更加方便有效。

三、图形输出设备

1. 绘图机

绘图机是最常用的图形输出设备。绘图机可分为平台式绘图机(图1-7)和滚动式绘图机(图1-8)两大类。

平台型绘图机:绘图纸固定在台面上,笔架可在 x , y 两个方向上运动,笔架可装多支不同颜色的笔,笔的抬落、更换由专门电路控制。纸是用真空吸附或静电吸附的方式固定,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。

图1-7是X, Y netics型高速平台式绘图机,这种绘图机的优点是绘图速度快、精度高、绘图的幅面大,并配有多支绘图笔及刻刀,但笨重、价格较贵。

滚筒式绘图仪:绘图纸紧紧卷绕在滚筒上,纸随滚筒移动,笔架只能沿滚筒轴向运动,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。

美国H.I公司的CPS-19滚动式绘图仪可以绘A0图纸、重复精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$,分辨率达 0.025mm ,速度达 0.56m/s 。图1-8是一种高速、高精度的4笔绘图机。

绘图机的工作方式分联机工作和脱机工作两种,小的X-Y绘图仪及滚动式绘图机一

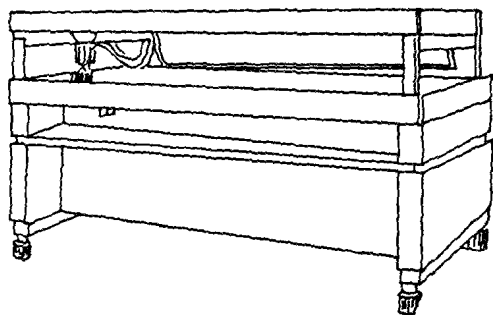


图 1-7 高速平台式绘图机

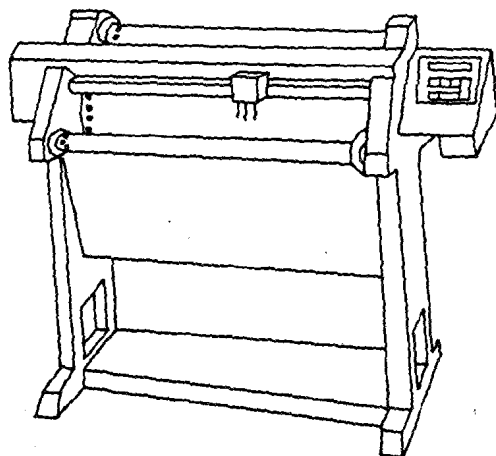


图 1-8 滚动式绘图机

般采用联机方式（图1-9）。为了节省计算机主机的时间，平板式绘图机及A0图纸滚动式绘图机（如GP5400滚动式绘图机）也可以采用脱机式工作，如图1-10。

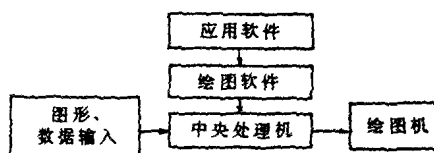


图 1-9 联机工作方式流程图

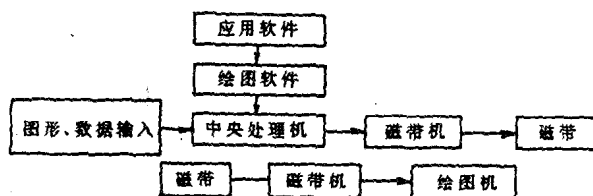


图 1-10 脱机工作方式流程图

在脱机工作方式时，经计算机处理后绘图用的全部数据和命令都先存入磁带，再把磁带装入带有磁带机部件的绘图机，绘图机根据磁带输入的数据和命令慢慢绘制图形曲线。

2. 图形打印机

这种打印机是针式打印机，结构有单针、排针、矩阵式等多种，能双向打印，打印的点密度比普通点矩阵式打印机要高。即使如此，它绘制曲线的连续性及速度比绘图机要差，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。

3. 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，能将图形显示终端上显示的图形在20s内拷贝出来。

4. 其它图形输出设备

图形胶片拷贝设备：将计算机处理后的图形用光学的办法在胶片上拷贝出来。这特别适用于需要获得照相版的场合。另外，还有喷墨绘图机和激光绘图机等。

第四节 交互式计算机图形显示系统的组成

一个交互式计算机图形显示系统就是利用计算机对图形进行定义、组合、变换以及实时修改的系统。它由硬件和软件两个部分组成。其硬件结构如图1-11所示。

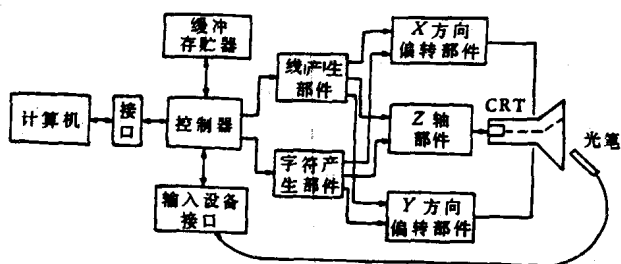


图 1-11 交互式计算机图形显示系统结构框图

下面仅将该系统硬件结构中图形有关的几个部件作一简单介绍。

一、线产生部件

线产生部件又称矢量产生器。它根据帧缓冲器中的显示档案产生显示的图形信息。任何图形（包括字符）都可以分解为直线和曲线，而曲线又可用许多短直线去逼近，线段取得越短，画出的曲线精度就越高。因此，可以说任何图形都可以由许多长短不一的直线构成。

线产生部件只要能画各种不同长度的直线，就能近似地画出各种不同形状的图形。而画直线段时要求线产生部件尽量满足下列条件：

1. 能产生笔直的线段；
2. 产生的线段要确保始点和终点位置准确；
3. 线段的辉度均匀，浓度适当；
4. 线段产生速度快。

线产生部件要同时满足上述条件是有一定困难的。例如，线段要直，产生速度就会受到影响。为此，致力于图形显示器研究的设计师们设计出了各种各样的线产生部件，较好地满足了上述条件，这里就不赘述了。

二、输入设备

在交互式计算机图形系统中，不仅具有图形输出能力，而且还应具有图形输入能力，使用户可以直接通过图形输入方式或调用已有的初步设计图形的方式向计算机传送自己的设计构思，实现交互会话。

图形输入设备多种多样，如光笔、操纵杆、跟踪球、电位器、按钮、图形数字化仪、鼠形光标电位器（俗称老鼠）、摸感屏、键盘等等。

三、显示处理部件及工作过程

显示处理部件主要由计算机接口逻辑、缓冲存贮器和控制器三部分组成。

计算机接口逻辑的主要功能是在图形显示器和计算机之间起数据传输的桥梁作用,通过它把显示器的工作状态与中断告诉计算机,把计算机的命令传送给控制器。

缓冲存贮器又称刷新存贮器,它用来贮存画面信息,以便于CRT画面的重复显示,从而能获得稳定的无闪烁的图像。

控制器的任务是管理数据信息,使显示器各功能部件能协调而有节奏地工作。

交互式计算机图形系统在一般情况下,是先由计算机向显示器缓冲存贮器送入显示档案;一旦送数完毕,显示器转入显示状态,即从缓冲存贮器中顺序读出显示指令;控制器根据指令内容分别把数据送到相应的功能产生部件,使显示屏上显示出图形或字符。为了在屏上产生不闪烁的图形,控制器保证以每秒25次的速率连续不断地重复执行这一显示档案。在图形显示过程中,用户如要修改屏上的图形,可通过光笔标定修改部分,显示器此时暂停显示指令的执行,而去以中断形式报告计算机,并把相应的位置信息传递给计算机,当传送结束再执行暂停的显示指令。由于传送所占的时间仅为几百微秒,故在显示屏上看不出产生的显示中断。计算机收到控制器传来的信息后,进行必要的处理并及时将结果送回显示器,显示器这时又要停止显示,将计算机数据送到相应的缓存地址中去,送数完毕后,控制器又开始执行显示指令,屏上就显示出修改后的图形了。