

高等学校教材

# 计算机图形学

孙家广 许隆文 编著



清华大学出版社

41  
1

# 计算机图形学

清华大学 孙家广 编著  
许隆文

清华大学出版社

## 内 容 提 要

本书是高等院校工科电子类计算机科学与工程类专业的统编教材, 主要介绍计算机图形学中常用的输入输出设备和系统以及有关算法、数据结构和软件技术。全书共分十章和两个附录, 每章后面留有一定数量的习题, 在附录中给出了图形处理中常用的程序。

本书可作为大专院校有关专业大学生、研究生学习计算机图形学的教材, 也可供研究和应用计算机图形学和计算机辅助设计、制造(CAD/CAM)技术的科技人员学习参考。

J508/12

## 计 算 机 图 形 学

孙家广 许隆文 编著

责任编辑 贾仲良

☆

清华大学出版社出版

(北京 清华园)

北京京辉印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 21 字数: 514千字

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数: 00000~15,000

统一书号: 15235·253

定价: 3.45元

## 出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织行进。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选精优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的，广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本教材系由《计算机与自动控制》教材编审委员会计算机教材编审小组评选审定，并推荐出版。

该教材由清华大学孙家广担任主编，西北电讯工程学院张楚芳、孙嘉修、郑大材担任主审。编审者是依据计算机教材编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考学时数为40至60学时。要求的先修课程为“程序设计基础”、“微型计算机系统及其应用”等。本书介绍的内容主要有：计算机图形学的发展和应用，常用的图形输入输出设备及其系统，直线和直线图形，二次曲线、字符和等值线，自由曲线和曲面，图形变换，光栅扫描的显示技术和系统，计算机图形学中常用的软件形式及人-机交互技术，计算机图形学中的数据结构，立体图形中隐藏线、面的消除和明暗效应的处理，几何造型技术等。本书既注意讨论清楚计算机图形学中最基本、最广泛应用的理论和方法，也力求反映七十年代以来国内外一些重要的新成果，如光栅扫描的显示技术和系统、真实图形的描绘、几何造型技术等。

本教材由孙家广统编全稿，许隆文参加第四、九章的编写，朱鸣学参加第二章的编写，周嘉玉、陈玉健参加第三、五、七章的修改工作。唐泽圣作了多次审阅，并对本书的修改提出了许多指导性的意见。教材编写过程中许多同志帮助誊写草稿，调试程序；教材使用过程中校内外的许多同志提出了不少宝贵意见和建议，在此谨表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1984年2月

# 目 录

## 前 言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 概 述                  | 1  |
| §1 计算机图形学的发展及其应用         | 1  |
| 一、计算机图形学的确立及硬设备的发展       | 1  |
| 二、计算机图形软件系统及算法的发展        | 2  |
| 三、计算机图形学的应用              | 3  |
| 四、计算机图形学在我国的发展概况         | 5  |
| §2 常用的图形输入输出设备           | 6  |
| 一、常用的图形输入设备              | 6  |
| 二、常用的图形输出设备              | 9  |
| §3 计算机图形系统的组成            | 13 |
| 一、计算机图形系统的功能及设计过程        | 13 |
| 二、计算机图形系统的组成             | 15 |
| 习 题                      |    |
| 第二章 直线和直线图形              | 18 |
| §1 计算机图形学中常用的坐标系和描绘直线的要求 | 18 |
| 一、计算机图形学中常用的坐标系          | 18 |
| 二、描绘直线图形的要求              | 19 |
| §2 生成直线的几种常用算法           | 21 |
| 一、逐点比较法                  | 21 |
| 二、正负法                    | 24 |
| 三、对称的数值微分法               | 27 |
| 四、简单的数值微分法               | 28 |
| 五、Bresenham算法            | 28 |
| §3 随机扫描的图形显示器产生直线的原理     | 30 |
| 一、线产生器                   | 30 |
| 二、描绘直线图形的符号指令            | 32 |
| 三、显示文件                   | 35 |
| §4 存储管显示器产生字符、图形的工作方式    | 37 |
| 一、控制字符                   | 37 |
| 二、四种工作模式                 | 39 |
| 三、程序编制                   | 40 |
| §5 直线段和直线图形生成程序          | 42 |
| 一、直线段生成程序                | 42 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 二、直线图形生成程序            | 43 |
| 习 题                   |    |
| 第三章 二次曲线、字符和等值线       | 45 |
| §1 圆弧和椭圆弧的拟合法         | 45 |
| 一、圆弧的逐点插补法            | 45 |
| 二、圆弧的正负插补法            | 49 |
| 三、数值微分法产生圆弧           | 52 |
| 四、数值微分法产生椭圆弧          | 54 |
| §2 二次曲线的参数拟合法         | 55 |
| 一、二次曲线的一般参数方程         | 55 |
| 二、二次曲线的分类             | 56 |
| §3 字符                 | 60 |
| 一、字符发生器               | 60 |
| 二、用软件产生字符的方法          | 62 |
| §4 等值线图               | 66 |
| 一、等值线的定义              | 66 |
| 二、离散点网格化              | 67 |
| 三、矩形域上等值线的绘制          | 69 |
| 习 题                   |    |
| 第四章 自由曲线和曲面           | 73 |
| §1 三次样条曲线和三次参数样条曲线    | 73 |
| 一、三次样条曲线              | 74 |
| 二、三次参数样条曲线            | 76 |
| 三、三次样条与三次参数样条的混合函数    | 78 |
| §2 Bézier 曲线          | 78 |
| 一、Bézier 曲线的数学表达式及其性质 | 79 |
| 二、三次 Bézier 样条曲线      | 81 |
| §3 B 样条曲线             | 81 |
| 一、B 样条曲线的数学表达式        | 82 |
| 二、二次和三次 B 样条曲线        | 82 |
| 三、三次 B 样条曲线的边界条件和反算拟合 | 86 |
| 四、三种三次参数曲线段的等价表示式     | 87 |
| §4 曲面                 | 88 |
| 一、孔斯 (Coons) 曲面       | 88 |
| 二、贝塞尔 (Bézier) 曲面     | 90 |
| 三、B 样条曲面              | 92 |
| 习 题                   |    |
| 第五章 图形变换              | 94 |
| §1 窗口、视图及其坐标变换        | 94 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 一、用户域和窗口区          | 94  |
| 二、屏幕域和视图区          | 94  |
| 三、窗口区和视图区的坐标变换     | 94  |
| 四、坐标变换中的误差及其消除     | 96  |
| §2 二维图形的裁剪         | 97  |
| 一、二维线段的裁剪          | 98  |
| 二、任意多边形的裁剪         | 100 |
| 三、字符的裁剪            | 105 |
| §3 图形的几何变换及齐次坐标技术  | 105 |
| 一、齐次坐标技术           | 105 |
| 二、二维图形的几何变换        | 109 |
| 三、三维图形的几何变换        | 114 |
| §4 三维图形的投影、透视变换及裁剪 | 117 |
| 一、平行投影             | 118 |
| 二、透视投影             | 123 |
| 三、三维裁剪             | 133 |
| 习 题                |     |
| 第六章 光栅扫描的显示技术和系统   | 142 |
| §1 光栅扫描的图形显示器      | 142 |
| 一、基本原理             | 142 |
| 二、光栅扫描的图形显示器       | 142 |
| §2 光栅扫描生成图形的基础知识   | 146 |
| 一、光栅图形的表示          | 146 |
| 二、直线的扫描转换          | 146 |
| 三、字符的扫描转换          | 147 |
| 四、扫描转换的速度          | 149 |
| 五、真实图形的显示          | 149 |
| §3 区域扫描转换的有关算法     | 151 |
| 一、引言               | 151 |
| 二、多边形的扫描转换         | 152 |
| 三、优先数              | 155 |
| 四、y-x算法            | 157 |
| 五、实时扫描转换           | 157 |
| 六、扫描转换算法的小结        | 160 |
| §4 光栅扫描的图形系统       | 160 |
| 一、表示方式             | 160 |
| 二、光栅模板的控制及系统的构造    | 160 |
| 三、用几何形式表示的光栅图形系统   | 162 |
| 四、一个简单的光栅图形系统      | 163 |

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| 习 题 |                                  |
| 第七章 | 计算机图形学中常用的软件形式 .....168          |
| §1  | 计算机辅助图形设计的软件组织 .....168          |
| §2  | 专用的图形描述和分析语言 .....170            |
|     | 一、图形描述和分析语言的要求 .....170          |
|     | 二、图形描述和分析语言简介 .....170           |
|     | 三、GIS 图形描述语言的编译思想 .....171       |
| §3  | 在高级语言中扩充图形描述的功能 .....175         |
|     | 一、一种具有绘图功能的BASIC .....175        |
|     | 二、如何在BASIC语言中增加绘图功能 .....177     |
| §4  | 图形设计程序库 .....178                 |
|     | 一、图形设计程序库的功能要求 .....179          |
|     | 二、GIS 图形程序库 (GIS—GS) 简介 .....180 |
| §5  | 人-机交互的图形处理语言 .....183            |
|     | 一、交互处理的形式 .....183               |
|     | 二、设计交互式命令语言的原则 .....185          |
|     | 三、设计交互式命令语言的方法 .....186          |
|     | 四、GIS 系统中的交互式命令语言 .....192       |
| §6  | 图形软件的标准化 .....193                |
| 习 题 |                                  |
| 第八章 | 计算机图形学中的数据结构 .....195            |
| §1  | 问题的提出 .....195                   |
|     | 一、引言 .....195                    |
|     | 二、图形的拓扑信息和几何信息 .....196          |
| §2  | 图形的层次结构 .....198                 |
|     | 一、图形的一层结构 .....198               |
|     | 二、图形的多层结构 .....199               |
| §3  | 几何造型中的数据结构 .....202              |
|     | 一、三维形体的几何表示 .....202             |
|     | 二、几何造型中常用的数据结构 .....205          |
| §4  | 光栅扫描生成图形的数据结构 .....213           |
|     | 一、数组下标检索法 .....213               |
|     | 二、分割检索法 .....215                 |
| 习 题 |                                  |
| 第九章 | 真实图形的描绘 .....217                 |
| §1  | 平面立体图隐藏线的消去 .....218             |
|     | 一、基本的求交运算 .....218               |
|     | 二、凸多面体表面外法线与可见性的关系 .....219      |
|     | 三、平面外法线与 $\beta$ 角的计算 .....220   |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 四、凹多面体隐藏线的消去 .....            | 221 |
| §2 回转二次曲面体和自由曲面体的描绘 .....     | 227 |
| 一、求回转二次曲面体的轮廓线 .....          | 227 |
| 二、用连续法求二次曲面体的交线 .....         | 228 |
| 三、自由曲面体的绘制 .....              | 232 |
| §3 隐藏面的消除 .....               | 234 |
| 一、“扫描线”算法 .....               | 234 |
| 二、深度优先、区域采样算法 .....           | 235 |
| 三、Z向深度缓存算法 .....              | 236 |
| §4 明暗效应 .....                 | 236 |
| 一、明暗效应的数学表示 .....             | 237 |
| 二、明暗效应的处理 .....               | 239 |
| 三、透明度 .....                   | 241 |
| 习 题 .....                     |     |
| 第十章 几何造型技术 .....              | 243 |
| §1 几何造型中的基本概念 .....           | 243 |
| 一、几何造型的现状 .....               | 243 |
| 二、几何造型的功能 .....               | 244 |
| 三、几何造型中的基本概念 .....            | 244 |
| §2 几何造型中形体表示的几种常用模式 .....     | 249 |
| 一、表示模式的要求 .....               | 249 |
| 二、几种常用的表示模式 .....             | 251 |
| 三、各种表示模式的特点和转换 .....          | 257 |
| §3 几何造型系统 .....               | 259 |
| 一、PADL 系统 .....               | 260 |
| 二、TIPS-1系统 .....              | 265 |
| 习 题 .....                     |     |
| 附录A: GIS图形描述语言的语句格式 .....     | 269 |
| 附录B: GIS—GS中有关二维的部分程序清单 ..... | 273 |
| 参考资料 .....                    | 317 |

# 第一章 概 述

在这一章,我们侧重讨论计算机图形学的发展及应用,常用的图形输入输出设备,以及计算机图形系统的组成,使读者对本书所要介绍的有关计算机图形学的内容有个概括性的了解。

## §1 计算机图形学的发展及其应用

计算机图形学是伴随着电子计算机及其外围设备而产生和发展起来的。它是近代计算机科学与雷达、电视技术的发展汇合而产生的硕果。在航空、造船、汽车、电子、建筑、气象甚至艺术等各个部门中的广泛应用,推动了这门学科不断发展,而且不断解决应用中提出的各类新课程,又进一步充实和丰富了这门学科的内容。

### 一、计算机图形学的确立及硬设备的发展

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。显示器用一个类似于示波器所用的阴极射线管(CRT)来显示一些简单的图形。1958年,美国CALCOMP公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GERBER公司把数控机床发展成平板式绘图仪。在整个50年代,计算机大多由电子管组成,用机器语言编程,主要应用于科学计算,因此为这些计算机配置的图形设备仅仅具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时期,称之为“被动”的图形学。到50年代末期,美国麻省理工学院的林肯实验室在“旋风”计算机上开发的SAGE空中防御系统,第一次使用了具有指挥和控制功能的CRT显示器,操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,类似的技术在设计和生产过程中也陆续得到了应用,它预示着交互式图形生成技术的诞生。

1962年,美国麻省理工学院林肯实验室的Ivan E.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形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的一些基本概念和技术直至今日还在广为应用。60年代中期,美国麻省理工学院、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德飞机公司开展了计算机图形学的大规模研究,同时,英国的剑桥大学等也开始了这方面的工作,从而使计算机图形学进入了迅速发展并逐步得到广泛应用的新时期。

如果说60年代是计算机图形学蓬勃发展的时期,那么70年代则是这方面技术开花结果的时期。在这十年中,交互式的图形系统在许多国家得到了广泛的应用,许多新的更加完备的图形系统又不断的研制出来。除了传统的军事上和工业上的应用之外,计算机图形学还进入了教育、科研、艺术和事务管理等领域。这些应用进而推动了图形设备的更新和发展。就图形显示设备来看,60年代中期出现的是随机扫描的显示器,它具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。但为了避免图形闪烁,通常需要以30次/秒左右的频率不断刷新屏幕

上的图形。为此需要一个刷新缓冲存储器来存储计算机产生的显示文件，还要求有一个较高速度的处理器（这在60年代中期是相当昂贵的），因而成为影响交互式图形生成技术进一步普及的主要原因。

针对这一情况，60年代后期出现了存储管式显示器，它不需要缓存及刷新功能，价格比较低廉，分辨率高，显示大量信息也不闪烁。但是它却不具有显示动态图形的能力，也不能进行选择性的删除。存储管显示器的出现可以使一些较简单的图形实现交互处理，而其低廉的价格使得计算机图形学得以推广和普及。目前，已有存储管式的显示器与刷新技术相结合，从而提高了这类设备交互处理的功能。

到70年代中期，廉价的固体电路随机存储器的出现，可以提供比十年前大得多的刷新缓冲存储器，因而就能采用基于电视技术的光栅扫描的图形显示器。在这种显示器中，被显示的线段、字符、图形及其背景等都按像素一一存储在刷新缓冲存储器中，按光栅扫描方式以每秒30次的频率对存储器进行读写以实现图形的刷新而避免闪烁。光栅扫描图形显示器的出现使得计算机图形生成技术和现有的电视技术相衔接，使得图形更加形象、逼真，因而更易于推广和应用。这也是当前光栅扫描图形显示器受到普遍重视和迅速发展的原因之一。

在图形输出设备不断发展的同时，出现了许多不同类型的图形输入设备。早期的定位、拾取输入装置——光笔，由于易损坏，使用笨拙，而被各种类型的图形输入板所代替。与此同时，还发展了操纵杆、跟踪球，定位“老鼠”、拇指轮、叉丝等定位、拾取装置。此外，键盘是交互式图形生成系统不可少的输入设备，与一般键盘不同的是它附有一些命令控制键和特殊的功能键。坐标数字化仪与图形输入板类似，用它可把图形坐标和有关命令送入计算机中去，其中全电子式坐标数字化仪近年来获得了广泛应用。

## 二、计算机图形软件系统及算法的发展

随着计算机系统、图形输入、输出设备的发展，计算机图形软件系统及生成、控制图形的算法也有了很大的发展。

60年代后期的几年中，计算机图形学的发展比预期的要缓慢一些，除了具有刷新存储器的图形显示设备价格昂贵的原因之外，开发一个图形系统要耗费大量的人力和机时，而且对硬件和用户的依赖性都较大，这就给不同的用户开发使用图形软件系统带来许多困难。

70年代初期，廉价的存储管式图形终端的出现和普及为广泛应用计算机图形生成技术提供了条件，促使计算机图形系统的软件朝着通用、高级、与设备无关的方向发展。十余年来，发展了多种计算机图形软件系统，概括起来有以下三种类型：

（1）用现有的某种高级语言写成的子程序包。用户使用时按该高级语言的规定调用所需要的子程序生成各种图形。这类系统很多，使用较广泛的有DISPLA、GINO-F、GPGS、PLOT10 (IGL) 等。国际上图形软件标准化的典型规范 GKS, CORE 的文本也是子程序包的形式。这种程序包能够实现图形输出设备的各种基本绘图及显示功能，实现交互式的图形设计及处理。这种类型的图形软件系统基本上是一些用高级语言写成的子程序，一般有了算法，编写程序并不困难。而且配有该高级语言的计算机均能运行，因此具有便于移植、推广的优点，但执行速度较慢，效率较低。

（2）将某一种高级语言的功能加以扩充，使其具有图形生成功能。例如 APL-G 就是一种将 APL 语言加以扩充并可以用于交互式生成图形的语言。要实现这种形式的图形软件，

必须熟悉原有语言的编译系统并加以正确的扩充,实现起来工作量较大,而且不可移植。其优点是系统比较简练,紧凑,执行速度较快。

(3) 专用的图形生成语言。对于某一种类型的设备,可以配置专用的图形生成语言。如果要求简单,可以采用在多功能子程序包的基础上加上命令语言的方式。<sup>\*</sup>如果需要配置一个具有综合功能的较为复杂的图形生成语言,又要求有较快的执行速度,则应配置一个完整的编译系统。比起简单的命令语言,它具有更强的功能;比起子程序包,它执行速度较快,效率更高,但开发工作量大,且难于移植到其他机器上去。

随着通用的、高级的、与设备无关的图形软件的发展,提出了一个图形软件功能标准化的问题。早在1974年,在美国国家标准化局举行的ACM SIGGRAPH“与机器无关的图形技术”的工作会议上,就提出了制订有关标准的基本规则,当时把范围限制在只具有图形输出功能和具有交互功能的二、三维直线图形、字符及其视图变换上,较高级的绘图功能,隐藏线、面的消除以及光栅扫描显示技术等尚不包括在内。在这一会议后,美国计算机协会(ACM)成立了一个图形标准规划委员会开始了这一工作,在多年图形软件工作经验的基础上,1977年该委员会提出了称为“核心图形系统”(Core Graphics System)的规范,1979年又公布了修改后的第二版,增加了包括光栅扫描图形显示技术在内的许多其他功能,但仍作为进一步讨论的基础。西德提出的GKS规范,虽然只有二维的图形功能,但由于它采用了虚拟设备接口,虚拟显示文件以及工作站等概念,因而受到有关人士的重视。制定“标准”的主要出发点仍然是程序的可移植性。绝对的程序可移植性,即一个图形系统无修改地在任意两套设备上运行,一般是很困难的,但是只对源程序作少量修改即可运行还是可以做到的。显然,标准化的图形系统为生成这样的一种通用基本软件或称之为支撑软件打下了良好的基础。

在计算机图形系统所涉及的算法中,有各种坐标变换及几何变换,二、三维图形的生成,等值线的绘制,二、三维图形的裁剪,曲线及曲面的拟合、逼近和光顺,体素拼合,几何造型,色彩、阴影、灰度图形的处理,以及各种数据结构的组织、几何信息及拓扑信息的运算等许多内容。多年来,围绕这些算法发表了许多论文和报告,进行了十分热烈的讨论和探索,其核心无非是为了节省时间和空间。其中的某些变换和算法,近年来已日趋成熟和完善,许多变换及算法还用硬件来实现以提高速度。有些公司正在开发图形处理机,用硬件来实现图形处理的有关算法和软件技术。但在诸如体素拼合,几何造型,隐藏线、面的消除,光栅扫描生成图形的技术和算法,图形输入技术以及交互式图形处理系统等方面,仍有很多问题等待着人们去作进一步的探索。

### 三、计算机图形学的应用

由于计算机图形设备的不断更新和图形软件系统功能的不断扩充,也由于计算机硬件功能的不断增强和系统软件的不断完善,使得计算机图形学在最近20年内得到了广泛的应用。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。计算机图形学被用来进行建筑工程、机械结构和部件等设计,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形,然而更常用的是对所设计的系统和部件的图形实现人-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、以及数控加工用的纸带或磁带等。例如,在电子工业中,计算机图形学应用于集成电路设计、印刷线路板设计、以及电子线路和网络分析等方面,优点是十分明显的。一个复杂的大规模或超大规模集成电路版图根本不可能用手工设计和绘制,用计算机图形系统不仅能进行设计和画图,而且可以在较短的时间内完成。然后利用计算机来检查设计,只需几分钟就可以对设计修改完毕。又例如在飞机工业中,由于飞机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纸上,这些工作都可以由计算机图形学来完成,它包括飞机外形光顺、曲线曲面拟合和建立外形数学模型等全过程。造船工业和飞机工业相似,除了进行船型产生、表面光顺、管道布置等,还要像建筑工业那样进行平面布置和结构设计等,其他诸如应力分析、动力学和静力学的技术分析等等,计算机图形学都可以成为得力的工具。

(2) 科学、技术及事务管理中的交互式绘图。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和变化趋势,以增加对复杂现象的了解并协助作出决策。

(3) 绘制勘探、测量图形。计算机图形学被广泛地用来绘制地理的、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、面图。

(4) 系统模拟及动画片。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。利用计算机产生的动画片,不仅具有很高的艺术价值,而且具有极高的实用效果。例如计算机图形学用来进行飞行模拟,不仅可以产生飞行器运动的现实环境,也可以产生如云、雾、烟、灯光,以及不同大小和形状的其他飞机等景物,从而可以用来进行飞行员的地面训练和进行飞机格斗等。在外层空间飞行技术的模拟,以及诸如汽车碰撞、地震破坏等等安全系数的测定方面,计算机图形学不仅可以提供逼真的场景画面和可靠的数据,还为这些试验提供了真正安全、迅速、而又极为低廉的试验条件和比较、存贮资料的手段。

(5) 过程控制。计算机图形学的另一种应用是过程控制,用户使用这一技术实现与其控制或管理对象间的相互作用。例如石油化工、金属冶炼和电力网的控制人员可以根据设备关键部位的传感器送来的图象和数据,对设备运行过程进行有效的监视和控制;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) 办公室自动化。目前,在办公室甚至家庭中,用字符及图形终端生成和交换信息已经实现,传统的硬拷贝或软拷贝文件不仅可以包括文字、符号,而且可以包括表格、图形及其他二维信息。

(7) 艺术和商业。计算机图形学已用于产生艺术品,例如各种图案、花纹,甚至传统的油画和中国画等。当然,这一技术也被用来产生各种商业广告以吸引顾客,推销商品。也已用于电影摄制,大大节省布景和道具的费用。

(8) 计算机辅助教学(CAI)。计算机图形学已广泛应用于计算机辅助教学系统中,它可以使教学过程形象、直观、生动,极大地提高了学生的兴趣和教学效果。

还有许多其他的应用领域,例如农业上利用计算机来对作物的生长情况进行综合分析、比较时,就可借助于计算机图形生成技术来保存和再现不同种类和不同生长时期的植株的形态,模拟植物的生长过程,从而合理地进行选种、播种、田间管理、以及收获等等。在轻工方面除了印染纺织行业使用计算机图形学来设计花色外,服装行业还可用它来进行配料、排料和剪裁。在医学方面,计算机图形学同超声波和X光技术相结合,已被用来产生人体内脏的横切面,从而为准确的诊断和治疗提供了更为形象和直观的手段。在刑事侦破方面,计算机图形学被用来根据所提供的线索和特征,再现当事人的图像及犯罪场景。还值得一提的是在“SIGGRAPH '83”学会上,有人提出了在程序运行过程中显示数据结构变化的图形系统,从而为计算机辅助软件开发作出了新的尝试。

总之,计算机图形学的应用是非常广泛的,随着微型计算机和各种图形终端的发展,随着各种图形软件的不开发,其前景可以预期会是更加引人入胜的。

#### 四、计算机图形学在我国的发展概况

我国开展计算机图形设备方面的研究大约开始于60年代中期。由于众所周知的原因,在十余年中没有取得引人注目的进展。近几年来,随着我国四个现代化事业的进程,计算机图形学无论在理论研究方面,还是在实际应用的深度和广度方面,都正在蓬勃地发展着。

在图形设备方面,我国陆续研制出了多种系列或型号的绘图机和随机扫描的图形显示器。例如图面为1.8米×5.5米的大型绘图机HTJ-1855,还有LZ系列、HA系列、SHJ系列、CTS系列、SHD系列等平台式或滚筒式绘图仪,HTX-1型随机扫描图形显示器等。不久前研制成功了PDH-120与PB-1800型平面电机式绘图机,以及751,752等型号的图形显示器。这些设备中,有的以绘图机为核心配置了计算机及其他外部设备组成了独立的图形处理系统,大多数则成为各种计算机附属下的一个图形输出设备。近来,随着国际交往的日益增多,我国陆续地从国外引进了一些图形设备,如平面电机型绘图机和存储管的图形显示器等。这些设备在不少部门都发挥了作用。但是,要在我国真正发展计算机图形学,看来还需要在具有较强交互功能的图形设备的研制上作出较大的努力和突破。

多年来在我国和引进的计算机图形设备上,造船、航空、电子、机械制造、土建、地震、地质、大地测量等领域的科学技术人员在计算机图形处理方面进行了大量的工作,研制出了如DPS, SKC-1、2、3,飞龙79、81, HT-80, AD-80, HD-1G, FAN等各种基本与功能绘图软件。它们分别用汇编、BASIC、FORTRAN、ALGOL、BCY等语言写成。造船、航空、电子等工业部门还对引进的绘图系统进行了扩充,研制了许多应用软件,在科研和生产中作出了许多贡献。例如造船工业在数学放样、绘图和火焰切割语言、数据库配置、集成化系统的设计等方面有不少成果,获得了国内外的好评,实际使用中的经济效果也颇为显著。再如航空工业中研制的各种软件系统,可用以构造飞机的外形数学模型,在飞机的改型设计和新机研制中发挥了越来越大的作用。

在三维绘图软件的开发方面,国内对曲线、曲面进行了较多的研究工作,有不少出色的成果。在图形的裁剪与消隐方面也开展了不少工作,有些算法在国内外都是比较先进的。许多单位正在进行的三维几何造型和产生真实图形方面的工作,也取得了可喜的进展。

总之,同国外的发展情况相比,我国在计算机图形学的研究和应用方面,还处于刚刚起步的阶段。特别在交互式图形设备的研制和通用的交互功能较强的图形软件系统的开发方

面，同国外相比还有不小的差距。

## §2 常用的图形输入输出设备

在一个基本的计算机图形系统中，除了计算机之外，各种图形输入输出设备是必不可少的。近代的电子计算机是利用电信号来传输信息的，而图形输入设备是将用户的图形数据、各种命令等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。

在这一节中，我们将按照输入输出设备的功能，分别介绍一下它们的简单原理和结构。

### 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 1.2.1 所示。但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。

表1.2.1

| 名 称               | 相应的典型设备       | 基 本 功 能                   |
|-------------------|---------------|---------------------------|
| 定 位<br>(Locator)  | 叉丝,姆指轮        | 输入一个点的坐标                  |
| 笔 划<br>(Stroke)   | 图形输入台板        | 输入一系列点的坐标                 |
| 送 值<br>(Valuator) | 数字键盘          | 输入一个整数或实数                 |
| 选 择<br>(Choice)   | 功能键,光笔选菜单项    | 根据一个非负的整数得到某一种选择          |
| 拾 取<br>(Pick)     | 光笔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、图组或图案 |
| 字 符 串<br>(String) | 文字键盘          | 输入一串字符                    |

#### 1. 键盘

作为图形输入装置的键盘同一般的电传打字机、控制台打字机的键盘相似。除通常的以 ASCII 编码的键外，还附有一些命令控制键和功能键，以完成图形操作时的某一特定功能，如指定光笔工作方式，指定图形几何变换方式，以及开始菜单作业等等诸如此类的一些命令和功能。组成键盘的键有机械式、簧片式等接触式按键；还有象霍尔键、磁敏元件等无接触式按键。

#### 2. 坐标数字化仪

将用户图形的坐标数据输入到计算机中是一件令人头痛的事。尤其在图形比较多又比较复杂的情况下，靠人工读坐标点的方法往往容易出错。借助于坐标数字化仪，用游标来拾取图形坐标和命令，就可以使这项工作大大简化。常用的坐标数字化仪有机械式、超声波式、

和全电子式等不同的类型。

### (1) 机械式坐标数字化仪

这种坐标数字化仪是用机械导轨传动，光栅编码计数。其结构原理如图1.2.1所示。

这种设备是用手推动y向导轨作x方向运动，推动y向小车作y方向运动，将标示器(7)上的十字线紧贴在图面上，十字线的中心对准要读入的坐标位置，用手启动标示器旁边的手动按键(6)(有的设备提供了脚踩开关)，便将该点的坐标值输入到计算机，或者记录到纸带或磁带上。其坐标值产生的原理是这样的：当标示器沿y向导轨(1)作上、下移动时，通过钢丝绳(9)带动y光栅读数头(3)上的绳轮转动，从而使主光栅轮转动，并产生y向光电信号输出。由y向导轨(8)移动时，通过钢丝绳(10)带动x光栅读数头(2)的绳轮转动，使x向的光栅产生x向光电信号，

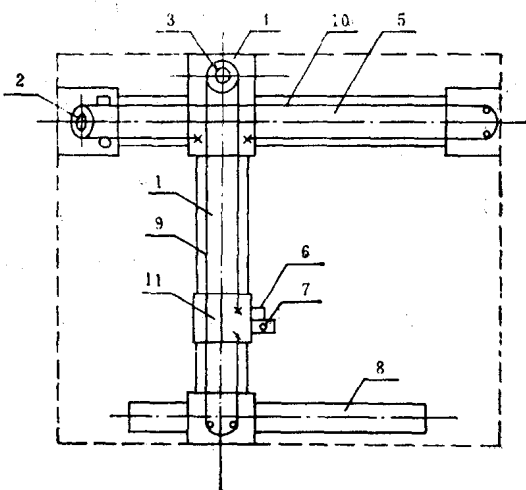


图 1.2.1 机械传动的坐标数字化仪结构原理图  
这个光电信号相当于标示器以板面上的某一点为起点运动到当前位置所产生的脉冲数，从而得到这两点间相对距离的增量值。早期的坐标数字化仪一般采用这种原理。这种设备笨重，移动不便，寿命短，因此近来已逐渐被其他类型的坐标数字化仪所替代。

### (2) 超声波式坐标数字化仪

这种设备的工作原理是：在x、y方向上各有一边装有一个长条形状的超声波传感器，在拾取图形坐标点的笔尖上装有超声波脉冲发生器，当笔尖接触板上的一点时，超声波脉冲经面板传到传感器，记录下超声波传到x、y各边的最小时间，从而换算出该点到两边的距离。这种设备对温度、湿度的变化比较敏感，因而对环境的要求比较高，否则精度会受到比较大的影响。

### (3) 全电子式坐标数字化仪

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200微米一条，在游标中装有一个线圈，当线圈中通有交流信号时，在十字叉线的中心产生一个电磁场。这样，当游标在台板上运动，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，即游标十字叉线中心所在的位置，从而得到该点的坐标值。这种设备对游标和印制板的制作工艺要求比较高，但使用方便，精度也很高。其构造如图1.2.2所示。

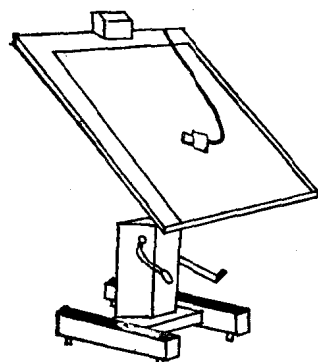


图 1.2.2 全电子式坐标数字化仪

### 3. 光笔

光笔是一种检测装置，确切地说是能检出光的笔。光笔的形状和大小象一支圆珠笔，笔尖处开有一个圆孔，让荧光屏上的光通过这个孔进入光笔。光是由显象管上移动的电子打在荧光屏上产生的。光笔的头部有一组透镜，把所收集到的光聚集至光导纤维的一个端面上，光导纤维再把光引至光笔另一端的光电倍增