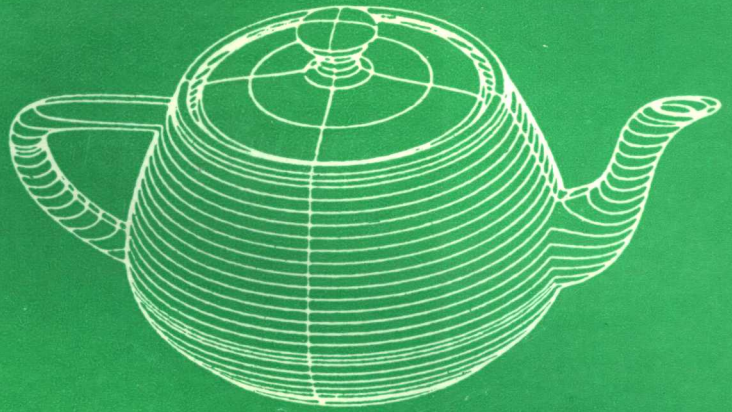


COMPUTER
GRAPHICS



金廷赞著

浙江大学出版社

计算机图形学

计算机图形学

金廷赞 著

浙江大学出版社

1988年·杭州

(浙)新登字10号

计 算 机 图 形 学

金廷赞 著

责任编辑：尤建忠

浙江大学出版社出版

萧山东湘印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

开本787×1092 1/16 印张23.5 字数572千

1988年2月第1版 1992年12月第4次印刷

印数：15001—20000

ISBN 7-308-00047-8/TP·004

定价：9.50元

前 言

二三十年前，还没有计算机图形学这一学科。现在，虽然计算机图形学愈来愈受到人们的重视，但计算机图形学究竟研究什么并没有一个明确的定义。计算机图形学是研究用计算机来处理图形的原理、方法和技术的学科，这大概没有什么问题。但是，什么是图形，处理图形究竟是什么意思，人们却各有不同的看法。过去大都认为图形就是几何数据、数学方程所描述的图形，处理图形则是通过计算机画出或显示相应的图形。近来则有不少人认为，图形的含义也应包含Image（图像）、Picture（图画）和Scene（景物），因而图形处理应包括图像处理、模式识别，甚至计算机视觉。反之，也有的学者强调图形处理与图像处理的不同。确实，在十来年前，计算机图形处理与图像处理（以及模式识别）是完全不同的，它们各有自己的研究目的、方法和设备。但是，随着光栅显示技术的发展和实际课题的需要，它们已经互相渗透。今天，利用计算机完全能够在光栅显示器上产生高度真实感的彩色立体图形，与实际拍摄的实物彩色照片（图像）几乎没有区别。图形处理的某些方法对图像处理是有用的，反过来图像处理的某些方法和技术对计算机图形处理也是有用的。当然，把整个图像处理和模式识别都划入计算机图形学的范围也不适当，正像计算机图形学要用到许多计算几何学方法，但把整个计算几何都划入计算机图形学并不合适一样。作者希望通过本书能把各方面的知识有机地结合起来，使读者对计算机图形学有一个完整的了解。

本书是作者在多年从事计算机图形学教学和科研工作的基础上写成的。现在国外有关计算机图形学的书籍很多，有关文献则更是难以计数。作者希望本书能达到两个看起来似乎有点矛盾的目标。一方面是希望通过学习本书能为进行计算机图形学研究打下坚实基础，另一方面却希望通过本书的介绍使读者了解到当前国内外计算机图形学的研究水平。很明显，兼顾这两个目标是很困难的，何况要在一本书中把一门综合性学科的最新成果都反映进来也是难以办到的。同时，本书虽然主要是为从事这方面研究的大学生和研究生写的，但是由于计算机图形学的应用范围十分广泛，因此，作者也想使本书对关心计算机图形处理的广大科技人员有所帮助，所以，过于专门的材料未曾收入。

本书的目的主要是介绍计算机图形处理的软件设计、数学原理、基本技术和算法。具体的程序或框图和例子只是为了说明问题，为节省篇幅已尽量减少。这也许会增加阅读本书的困难，但好在这方面已有好几本很好的参考书，特别是 T. Pavlidis 的《Algorithms for Graphics and Image Processing》和 D. F. Roger 的《Procedural Elements for Computer Graphics》是很值得读者参阅的。

计算机图形学是一门正在发展形成中的新兴学科，许多方法正在探索之中。这方面的研究可以说是前程宽广，大有可为。本书的许多论述仅是作者个人的观点，很可能是不适当的。书中错误也在所难免，因此，衷心希望同行和读者能给予批评指正。

最后，作者对形成本书有所帮助的同行、同事表示衷心感谢。本书最后介绍的几个计算机图形处理实验系统以及所附的彩色照片等都是作者的一些研究生做的工作，在这里我也对他（她）们表示感谢。又承蒙梁友栋教授在百忙中对本书进行了评审，在此也一并致以衷心的感谢。

金廷赞

1987年9月于浙大求是园

目 录

1	引论	
1.1	计算机显示技术的发展概况和应用领域	1
	计算机显示技术的发展概况 交互性计算机图形系统的应用领域	
1.2	交互性计算机图形处理系统	5
	交互性计算机图形处理系统的结构 图形处理硬件 图形软件	
1.3	计算机图形学	16
	图形的描述 计算机图形学的研究内容	
2	光栅扫描显示器	
2.1	CBX-800图形显示器的结构和MAP技术	18
	CBX-800的组成 MAP技术 高分辨率彩色显示	
2.2	CBX-800与主机的通讯	24
	输入输出端口 基本输入输出子程序(零级子程序)	
2.3	CBX-800命令	25
	CBX-800命令说明 CBX-800命令应用举例 CBX-800命令测试程序	
2.4	CBX-800一级子程序包	31
	有关初始化和图形属性的子程序 基本图形元素显示子程序 输入处理子程序 数据传送子程序	
3	随机扫描显示器	
3.1	HTX-1 图形显示器概况	35
3.2	HTX-1 指令系统	37
	指令内容和使用说明 显示档案的编制	
3.3	HTX-1与主机的通讯	49
	接口和信息交换方式 基本输入输出子程序 接收中断信息子程序	
3.4	HTX-1一级子程序包	53
	初始化和置状态子程序(属性子程序) 基本图形元素显示子程序 子图形显示子程序 实时输入子程序	
4	图形输入输出设备	
4.1	数字化图形输入板	57

HIPAD图形输入板 HIPAD与主机的通讯 HIPAD图形输入板一级子程序

4.2 点阵打印机 63

FX-100打印机命令 FX-100零级子程序 用FX-100打印图形用FX-100打印图像——半调技术 FX-100一级子程序

4.3 数字化绘图仪 70

FWX-4675绘图仪概况 FWX-4675绘图命令 FWX-4675一级子程序

5 高级图形系统的总体设计

5.1 系统的硬件配置与软件设计原则 75

系统的硬件配置 通用图形软件的设计原则

5.2 图形软件包与高级语言和操作系统的联系 78

高级语言的选择 图形软件包与高级语言的联接 操作系统的选择

5.3 图形系统总体设计若干问题 79

几个坐标系 窗口与视区 图形元素 图形属性 图形的变换 图形的删除 图形的运算 字符和汉字 图形元素的层 交互功能 系统管理

5.4 图形软件标准化与GKS 89

图形软件的标准化 GKS的图元与图段 GKS的输入功能 GKS的工作站 图段的存贮 GKS环境下图形软件的开发

6 图形的表示与数据结构

6.1 图形与图像的数学表示 94

对数学表示的要求 数学表示的若干方法 其它表示方法

6.2 图形文法 100

形式化描述 图形属性

6.3 图形数据结构——图形档案 104

树结构 表(记录)结构 关系节结构

6.4 图形档案的搜索 109

路径栈与变换栈 表结构的搜索 节结构的搜索

6.5 存贮结构与废料收集 111

顺序存贮 单组结构 字结构 双重存贮结构

7 图形交互技术

7.1 基本输入方法 115

键盘输入 定位 图形对象的指点 输入点列 输入自由曲线 三维图形数据的输入

7.2 实时输入处理 123

查询与中断 事件排队

7.3	菜单技术	125
	交互方式 光按钮与键盘功能的设置 对话控制程序	
7.4	交互手段与环境	129
	图形反馈 网格, 标尺与准线 橡皮带功能 拖动 配色盘 擦刷	
7.5	显示对象的修改	132
	线面图的修改 光栅图的修改	

8 图形的生成

8.1	点生成算法	134
	直线的点生成算法 圆弧、椭圆弧的点生成算法	
8.2	线生成算法	140
	圆弧的逼近 椭圆弧的逼近 圆锥曲线的统一快速最优逼近 -- 族参数曲线的逼近	
8.3	正负法	148
	基本原理 正负法绘图的几个要素 换向规则	
8.4	T-N方法	151
	T-N方法的基本原理 T-N算法 步长的确定	
8.5	Bezier方法	154
	Bezier曲线 Bezier曲线的性质 Bezier曲面	
8.6	B样条方法	159
	B样条曲线 二次和三次B样条曲线 B样条曲线的讨论 B样 条曲面	
8.7	曲线与曲面的拟合	165
	用抛物线、圆弧进行拟合 样条拟合和B样条拟合 最小二乘法	
8.8	用曲线产生曲面	171
	双线性曲面 单线性曲面 孔斯(Coons)曲面 双三次曲面 平移曲面 旋转曲面 管形曲面	

9 图形变换

9.1	二维图形变换	183
	变换的级联与分解 基本图形元素变换的实施 Bezier曲线与B 样条曲线的变换	
9.2	齐次坐标与三维图形变换	193
	齐次坐标 齐次坐标变换的性质	
9.3	三维线性变换	198
	平移变换 比例变换 整体比例变换 错切变换 旋转变换	
9.4	投影变换	203
	正投影与三视图 轴测投影	
9.5	透视变换与透视投影	208

10 图形算法基础

10.1	交点计算	215
	一般方法 二直线段的交点 直线段与曲线段的交点 曲线与曲线的交点 直线与平面的交点 直线与曲面的交点	
10.2	交线计算	223
	平面与曲面的交线 曲面与曲面的交线	
10.3	包含与重叠	226
	点在区域内的判断 线段与区域的重叠 区域与区域的重叠	
10.4	凸包计算	233
	凸包的概念 凸包的计算	
10.5	轮廓线	234
10.6	等值线	236
	绘制等值线的方法 利用网格绘制等值线(方法二) 利用点阵(或光栅)连接与显示等值线(方法三)	
10.7	区域的填充	238
	基本方法 x连贯性算法 y连贯性算法 不用排序的填充算法 线画图的填充	
10.8	区域的运算和分解	243
	区域的运算 区域的分解	

11 图形的裁剪

11.1	裁剪策略和基本原理	248
	裁剪策略 裁剪的基本原理	
11.2	线段的裁剪	249
	对分法 标号法 梁友栋-Barsky方法裁剪 算法的改进	
11.3	多边形的裁剪	256
	问题的提出 Sutherland-Hodgman算法 梁友栋-Barsky多边形裁剪法 蜿蜒边界问题	
11.4	三维裁剪	261
	三维窗口 三维线段的裁剪 多边形面和多面体的裁剪	

12 消隐处理

12.1	图形消隐处理的基本原理	266
12.2	Roberts方法	268
	凸多面体的消隐处理 Roberts方法	
12.3	一般平面立体的消隐处理	271
	平面立体的数据结构 平面立体的消隐过程	

12.4	光栅图消隐算法	275
	深度存储算法 扫描线方法 区间连贯性算法 优先级算法	
12.5	Warnock方法	279
12.6	曲面的消隐处理	281
	曲面立体的消隐 高程线算法 参数曲面的消隐处理 外形线消隐处理 曲面立体的隐藏面消去	

13 真实感显示

13.1	真实感的计算机模拟	286
13.2	色彩模型	287
13.3	照明模型	291
	基本照明模型 透明性和阴影的处理 Torrance-Sparrow模型与Cook-Torrance模型	
13.4	三维仿真显示	296
	多面体的仿真显示 曲面的仿真显示 视线(光线)投射算法	
13.5	光线跟踪	298
13.6	仿真显示的若干问题	300
	采样与反混滑 表面纹理 自然景物的模拟与FRACTAL几何	
13.7	立体感显示	303
	CRT立体感显示 计算机全息立体显示	
13.8	线条画的真实感处理和半调技术	305
	线条画的真实感处理 半调技术	

14 图像处理 and 识别

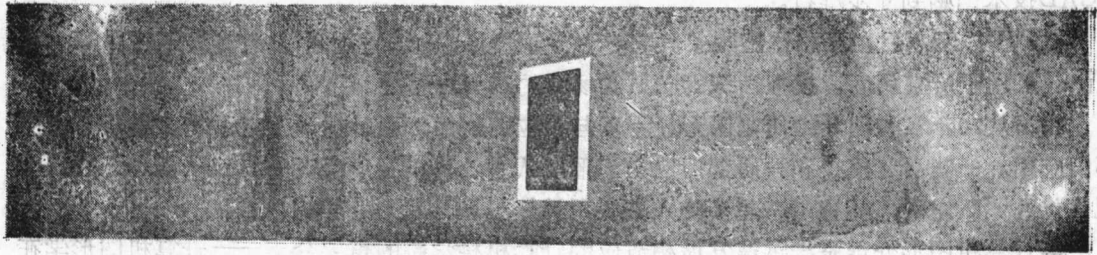
14.1	图像编码压缩	308
	行程码 差分码 等值线码 霍夫曼码	
14.2	图像变换	311
	图像几何变换 图像的非几何变换	
14.3	图像滤波	315
	邻域平均法 图像低通滤波器	
14.4	图像锐化与勾边	318
	梯度法与拉普拉斯算子法 图像高通滤波器 二值图的边缘检测 轮廓细化	
14.5	字符和图形识别	321
	模板匹配 特征抽取 景物分析	
14.6	从图像获得三维数据	325
	由透视投影获得三维数据 由图像明暗获得三维数据	

15 应用与展望

- 15.1 微机图形处理系统MGPS 328
MGPS的特点与总体结构 研制MGPS的若干问题 体素造型子系统 曲面造型子系统
- 15.2 图形处理应用系统 337
交互性计算机绘图系统 计算机辅助印制板设计系统 计算机辅助服装排料系统 计算机辅助包装装潢设计系统
- 15.3 展望 350

参考文献

主题词索引



引 论

1.1 计算机显示技术的发展概况和应用领域

1.1.1 计算机显示技术的发展概况

交互性计算机图形处理的核心是计算机显示，因此，我们从计算机显示谈起。

显示技术是在阴极射线管（CRT）发明之后迅速发展起来的。CRT好像一支神奇的画笔，能够画出各种人们看不见的电信号波形（示波器），能够重现客观世界的形象（电视机）。但它是否也能按人们的意志描绘或创造所需的图形呢？随着电子技术的发展，特别是计算机技术的发展，这已逐步成为现实。

1950年由计算机(MIT's Whirlwind I 计算机)带动的图形显示器已经能够产生简单的图形。而最早的实时控制计算机显示系统是1953年投入使用的北美防空系统SAGE (Semi-Automatic Ground Environment System)。最早用于CAD (计算机辅助设计, 即 Computer Aided Design) 的系统是美国麻省理工学院的SKETCHPAD系统(1962年)。1965年, 美国洛克希德公司成立专门小组, 化费100人年的工作量, 于1972年完成一个用于飞机设计的交互性图形处理程序系统, 即CADAM。它能够绘制工程图, 进行分析与产生数控加工纸带。这是一个相当庞大的系统, 主机有IBM 360/91一台(2MB), IBM 370/168一台(8MB), 以及数十个IBM 2250图像终端, 软件包含800多个子程序。

目前, 在市场上已有各种规模的适合各种需要的计算机图形处理系统出售, 其应用已遍及科学技术各个领域。某些产业部门的设计工作, 如飞机、汽车、船舶、大规模集成电路等设计不采

用CAD技术已感到寸步难行。

自CRT显示之后，又相继出现了其它各种显示器件，像液晶显示、激光显示器件等，且也出现了用于航空调度、模拟训练驾驶员等场合的超大屏幕显示系统。

我国从70年代初期开始研制图形显示器与相应的软件，而且也开始在国防、科研与生产部门应用。一些高等院校和科研部门已初步形成从事计算机图形研究的科技队伍。随着四个现代化的飞跃发展，将有越来越多的人关心用计算机进行图形处理的技术。

与计算机图形处理系统迅速发展相适应的计算机科学新的重要分支——计算机图形学在近十几年中也得以迅速发展。这方面的研究著作、论文犹如雨后春笋，不断涌现。

计算机显示技术发展之所以会这样快，主要是作为计算机新型的外部设备——图形显示器与一般的外部设备比较具有许多优点，如速度快、直观、使用方便，以及没有机械噪声，等等。特别是利用光笔、键盘等输入装置，操作者可以方便地与计算机进行对话、信息的输入和修改。交互性计算机图形处理系统(ICGS，即Interactive Computer Graphic System)就是利用计算机对图形进行定义、运算、变换、输入与输出，以及进行交互修改的系统。它自然包含硬件(计算机图形显示器及输入输出装置)和软件(基本图形软件与应用软件)两部分。

虽然计算机显示技术的发展是极其迅速的，但图形处理系统高昂的费用确实大大限制了它的普及。过去，只有军工部门、大工厂企业等才能问津。即使在国外，这种情况也只是最近几年才开始发生变化。不过，我们也应看到，随着微电子技术与计算机技术的迅速发展，设备费用的大大降低，一个广泛应用计算机显示技术的新时期已经到来了。

1.1.2 交互性计算机图形系统的应用领域

现在，我们来讨论交互性计算机图形系统已经或者可以应用的领域。

1.1.2.1 过程监控

各种实时过程，如火箭的运行，某种物理过程，常常可以用一定的曲线(曲线簇)来表示过程进行的情况，且由某些参数控制过程的进行。利用交互性计算机图形系统可以把描述过程进行的图形(例如火箭运行的轨迹)实时显示出来。如果不符合原定要求，可通过反馈(即改变控制参数的值)控制过程的进行，这比用各种仪表来观察和控制过程的进行自然方便、有效得多。

1.1.2.2 情报资料的检索、处理

在各种存贮大量情报资料和其它信息的场合(例如图书馆、银行、气象站、各种档案管理室等)，利用交互性计算机图形处理系统可把文字或数字信息的管理(通常的数据库系统)与图形处理结合起来，以迅速而形象地获取所需的信息。例如：

把各种地图及有关的地形资料存入计算机，指挥员就可迅速检索到所需的图表资料，并可看到相应的地形、地貌。

把百科全书存入计算机内，读者可以迅速查阅各种参考资料，包括其中的图表。

在医疗方面,除可快速查阅各种病案资料外,还可查阅各种X射线照片、心电图、脑电图等,并根据有病器官的测量数据形成立体图像,使其旋转、放大等等,以便进行诊断。

由于计算机能快速处理大量信息,因此,还可实现情报资料的动态检索。例如,根据气象资料可以将各种曲线、曲面显示出来,并且表示出气候随时间改变的情况。

1.1.2.3 计算机制图

工程制图、机械制图历来是工程、机械设计中一项耗费大、效率低的工作,因此,实现计算机制图是把人们从烦琐、重复的劳动中解放出来的有效途径。把各种常用的图形事先存入计算机(图形零件库),就可由设计者随时调用。图形的比例、平移、旋转等等,由手工来做是十分烦琐、重复的劳动,而由计算机来做只要经过简单的计算就能实现。因此,由计算机控制数控绘图机进行绘图能大大提高工作效率。

但是,没有交互功能的计算机绘图系统(被动式绘图系统)仍然是比较初级的系统,因为图形得在程序中事先设计好,而这并不是一件轻松的工作,且很难做到不出差错。出了差错又常常要在绘图机上绘出之后才被发觉,于是,必须修改程序,重新做起。如利用交互性图形系统,则设计者能在荧光屏前设计图形。如不适当,可随时修改,满意了再在绘图机上绘出。这样,自然大大提高了效率,甚至可在显示屏上直接摄像,从而取消绘图这一环节,给制图带来一次革命。图纸也可由计算机的磁盘、磁带或缩微胶卷代替。

1.1.2.4 计算机辅助设计

计算机辅助设计是一个十分广泛的应用领域。计算机绘图实际上是计算机辅助设计的一个方面。现再列举几个重要方面如下:

计算机辅助几何设计 在飞机、汽车、船舶等设计中,外形设计是十分重要的。它既涉及机械、力学等性能要求,又涉及美学方面的要求。全部由人工进行设计是一件效率低、费时多的工作。但完全由计算机进行自动设计,到目前为止,还难以做到。而且涉及美学方面的问题更需由设计人员参加,才能解决,因为怎样才“美”是要由人来判定的。因此,由人和计算机共同进行设计是最为合适的。计算机可以根据输入参数和一定的数学模型进行初步设计,并在屏上显示出来。设计者交互地进行修改,再让计算机显示新的外形改,再修,……,直至满意。

计算机辅助结构设计 在机械结构、飞机、汽车、船舶的框架结构,以及建筑、桥梁等结构设计中,利用交互性图形系统可一方面计算其力学性能,另一方面显示各种结构的形状与性能曲线,并快速而形象地表示出参数的改变对性能的影响。

计算机辅助线路、管道设计 这方面的例子有印制线路板布局与布线设计,各种管道的平面或空间的布置设计,交通网络的设计,等等。

计算机辅助电路设计与逻辑设计 根据一定的指标,设计电路的参数,并显示相应的特性曲线。或者,把逻辑图转化为电路图,等等。

建筑物的总体设计 各种设计方案无需制作模型即可显示出外形图、各种轴测图、透视图等等,甚至可以“走进”建筑物内部去“看看”采光是否良好。至于建筑物的色彩设计,对彩色图形处理系统来说,真是太方便了。

计算机辅助排料与落料 这方面的例子更多，如服装设计中的开片与排料，飞机、汽车、船舶设计中的外板展开与落料，等等。

我们注意到，在这类问题中，常常可把设计与加工连贯起来。例如服装开片排好后可通过数控切割机进行切割，这样就成为计算机辅助设计与制造（CAD-CAM）。

1.1.2.5 计算机辅助教学

教学需要模型、挂图，而利用交互性图形系统可以产生十分理想的模型与生动活泼的挂图，有如科教电影。而且，远比科教电影制作方便，使用灵活，因为教师可以根据实际情况选择与变换所需画面。

1.1.2.6 计算机模拟与仿真

这方面的例子也很多。例如：

用计算机显示飞行员在飞行中所看到的外景，且随着操纵杆动作能够改变这种景象。同时，在模拟的仪表盘上显示出各种飞行数据。这就是飞行员的模拟训练器。

用计算机显示模拟的“靶机”和“导弹”，进行计算机辅助打靶训练。

在机械加工中，可用计算机模拟刀具和工件，并选择适当的刀具或工件运动轨迹。这就是计算机模拟机械加工。

在理论研究中，交互性图形系统也有许多用处。例如，高分子结构模型的立体显示、受控热核反应的状态显示，等等。

1.1.2.7 计算机美术创作

把计算机显示技术与人工智能技术结合起来，就可用计算机来进行美术图案、绘画等艺术创作。

1.1.2.8 计算机动画制作

在动画片的制作中，两幅关键画面之间需要插入多幅过渡画面。这是十分繁复的工作，完全可由计算机完成。交互性图形系统还可用来设计一些十分复杂的特技镜头。

可以设想，用计算机生产、复制、传输和存贮电影也是完全可能的，这对传统的电影生产、放映方式无疑是一场革命。

总之，凡是用到图形、图像信息的场合，就有计算机图形系统的立足之地。而凡是需要人加以干涉的场合，交互性就不可缺少。当然，在交互性图形系统的各种应用中，必须有各个具体部门的配合才行，包含各种测量仪表、模数与数模转换、各个过程的数学模型，以及各个领域的专业知识，等等。

展望未来，不难看出，随着微电子技术、显示技术和计算机技术的发展和普及，计算机图形处理、计算机显示的应用范围将会进一步扩大，甚至进入人们的日常生活。现在还相当昂贵的交互性图形系统，不久将成为计算机系统的常规组成部分。人们利用计算机处理图形、图像信息就像现在人们利用计算机处理字符和数字信息一样方便。无疑，它的发展是不可估量的。

1.2 交互性计算机图形处理系统

1.2.1 交互性计算机图形处理系统的结构

计算机处理图形、图像，必须具备计算机、显示器、绘图机等硬件设备，以及相应的程序系统，即软件。因此，一个交互性计算机图形处理系统应由硬件和软件两部分组成。

硬件包括主计算机，图形显示器，光笔和键盘等基本交互用工具，数字化图形输入板、绘图机、图形打印机等图形输入输出装置，以及磁盘、磁带等存储设备。软件包括操作系统、高级语言、图形软件和应用软件。

严格说来，使用系统的人也是这个系统的组成部分。在整个系统运行时，人始终处于主导地位。可以说，一个非交互性计算机图形系统只是通常的计算机系统外加图形设备，而一个交互性计算机图形系统则是人与计算机及图形设备协调运行的系统，它们的关系可用图 2.1-1 中的框图表示。

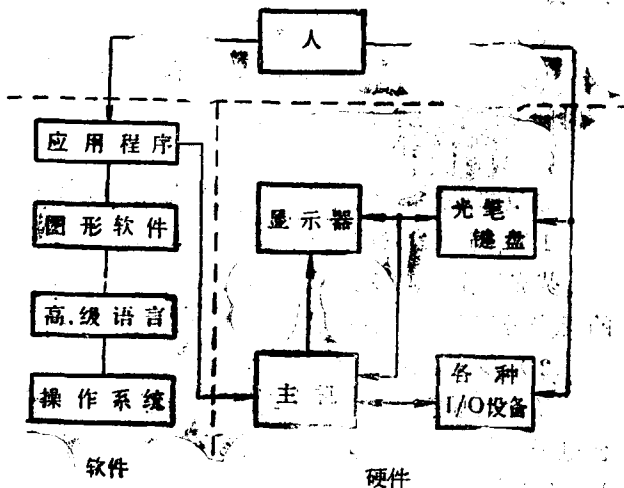


图1.2.1-1 交互性图形处理系统

1.2.2 图形处理硬件

交互性图形处理系统的硬件除主计算机之外，主要是图形显示器。因此，这里着重介绍图形显示器的结构和主要部件CRT的结构，然后简单介绍其它图形处理硬件。进一步的介绍将结合具体设备在第二、三、四章中进行。

1.2.2.1 CRT图形显示器

虽然已有各种各样的图形显示装置，但是目前占统治地位的仍是CRT（阴极射线管）显示器，它的核心部件是CRT。

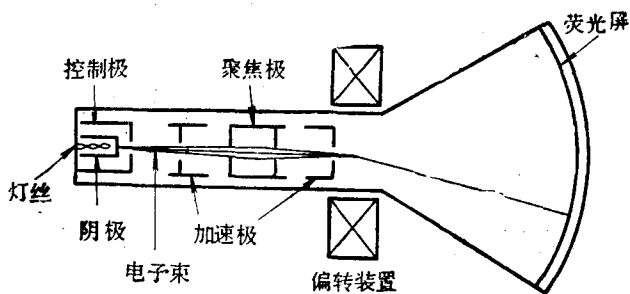


图1.2.2-1 单色CRT结构

(1) 单色CRT

单色CRT的构造见图1.2.2-1，它主要由三部分组成。

1) 电子枪

电流通过灯丝，产生热量，即对阴极加热，从而阴极发射出电子束。在聚焦极加上一定的正电压，使电子束聚焦，形成很细的电子束。再由加速极（通常不

止一个)加上正电压对电子束加速,使它具有足够的能量射向荧光屏。靠近阴极有一控制极,加上负电压后能控制电子束的强弱,甚至使电子束截止。也就是说,控制极能够控制电子束打在荧光屏上所产生的光的强弱。

2) 偏转系统

静电场或电磁场可以用来控制电子束的偏转方向。通常利用两组偏转板或两组偏转线圈来产生静电场或电磁场,使电子束作左右、上下偏转,从而控制荧光屏上光点的左右、上下运动。

3) 荧光屏

荧光屏上涂有荧光粉,电子束打在荧光屏上,荧光粉就会发光而形成光点。其颜色和余辉时间(电子束离开后继续发光的残留时间)的长短决定于荧光粉的种类。

(2) 彩色CRT

彩色图形显示器要采用彩色CRT。彩色CRT通常有两种类型:

1) 渗透型彩色CRT

荧光屏上涂有多层荧光粉,例如,红、橙、黄、绿等。不同速度的电子射线能穿透不同的荧光粉层而发出不同颜色的光。这种彩色CRT常用于随机扫描显示器。

2) 多枪型彩色CRT

多枪型彩色CRT采用多支电子枪发出多束电子束。在电子枪和荧光屏间设有掩膜,以便使电子束射在荧光屏的不同部位。荧光屏涂有不同的荧光粉,能发出不同颜色的光。图1.2.2-2表示多电子束彩色CRT的工作原理。这种彩色CRT常用于光栅扫描显示器。

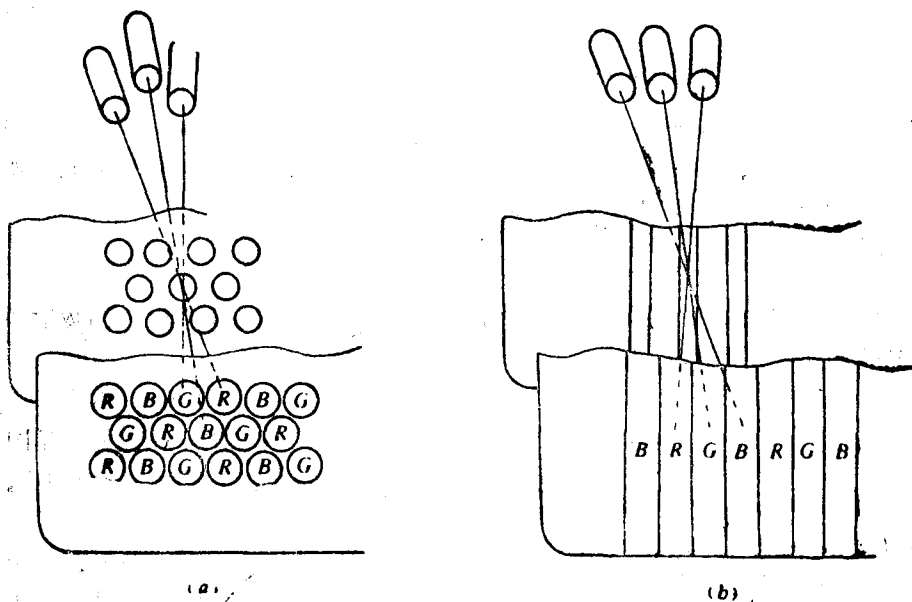


图1.2.2-2 多电子束彩色CRT

(3) 随机扫描与光栅扫描

我们已经知道,荧光屏上显示的图形是由偏转系统使电子束在荧光屏上运动从而使光点