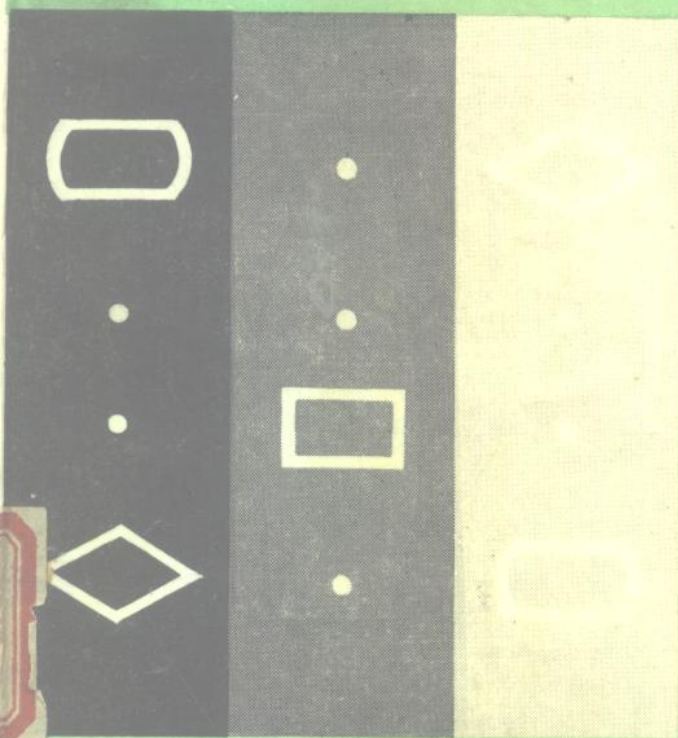


计算机基础自学丛书

计算机辅助图形设计

孟明辰 辜凯宁 陈玉健 编著



机械工业出版社

计算机基础自学丛书

计算机辅助图形设计

孟明辰 辜凯宁 陈玉健 编著



机械工业出版社

出版说明

计算机的广泛应用极大地提高了人类认识和改造客观世界的能力，特别是微电子及大规模集成电路技术的发展，微型计算机的广泛应用为各国工业技术的改造提供了重要而有效的途径。一场以解放人类智力为标志的新技术革命开始了。其规模和深度都将是空前的，不仅涉及到科学、工业、经济、教育等各个领域，同时也将会引起社会结构和生活方式的改变。

预计 90 年代将出现以知识处理为基础的智能技术与智能系统，并得到广泛的应用。例如，智能机器人，智能信息处理系统，智能计算机辅助设计系统，智能办公室自动化系统等。它将开创新的计算机应用领域。传统的数据处理，计算机控制等应用更加向前推进。

为了适应新技术革命的需要，帮助各个领域的科技人员进一步普及和提高计算机基础科学知识，使计算机得到广泛的更有效的应用。我们特为全国机电专业及计算机应用专业中专以上文化水平的读者编写了这一套丛书。对广大读者只要具有基本的数字电路及逻辑设计基础知识，均可自学这套丛书。“丛书”着眼于计算机的应用，搜集归纳了国内外大量的资料，并在长期的教学和科研工作基础上进行编写的。丛书力求做到选材上的先进性、系统性和完整性。由浅入深全面系统地阐述了计算机科学的基础知识，同时对计算机的主要应用领域的先进技术也作了必要的介绍。

“丛书”编写者是清华大学计算机科学与技术系长期在第一条线从事教学、科研工作的副教授、高级工程师、讲师。丛书由清华大学周远清主编，叶乃奉为全套丛书的编写、定稿和出版作了大量的工作。

这套丛书共分九册。

第一册计算机概论。阐述计算机的体系结构及各部分工作原理。

第二册高级语言程序设计。介绍 PASCAL 语言及 C 语言的基本结构以及语言的使用。

第三册 PDP-11 机器语言与汇编语言程序设计。介绍 PDP-11 机的基本组成及编程技术。

第四册数据结构。阐述非数值程序中有关结构以及排序和查找等问题。

第五册操作系统。阐述操作系统的有关基本概念以及管理系统资源, 提供用户应用环境。

第六册汉字微型计算机与汉字识别。介绍汉字微型计算机系统的组成、输入编码方案、汉字处理和识别技术以及汉字微型计算机系统的应用。

第七册计算机控制系统及应用。主要分析计算机控制系统的原理、设计方法(连续、离散、状态空间), 通道接口及应用实例。

第八册计算机辅助图形设计。介绍计算机辅助设计基础——二维三维图形设计的基本算法以及交互式图形软件的设计。

第九册办公室自动化基础。阐述数据库的基本概念、办公室自动化基础知识及技术。

在编写这套丛书时, 我们既注意到它的系统性和完整性, 同时又使各册之间有相对的独立性。便于读者能够根据自己从事工作的领域以及自己的兴趣, 阅读全套丛书或选读其中几册。

对于需要使用语言进行程序设计的初学者, 可以首先阅读第一、二、三册。在有关领域中从事计算机应用的科技人员, 可以分别选读第六、七、八、九册。如果需要系统深入了解和掌握计算机科学知识的读者, 建议进一步阅读第四、五册。

书中所选实例经过上机验证, 有的还附有习题, 希望读者能

完成练习，并上机进行实践。

这套丛书既可作广大读者的普及读物和科技参考书，又可作为大学教科书。我们希望，这套丛书能为我国计算机的普及与应用起到一定的作用。

由于编者水平有限，书中定有不当之处和错误的地方，欢迎读者批评指正。

清华大学计算机科学与技术系
计算机基础自学丛书编写组

前 言

在计算机技术的各个领域，计算机辅助图形设计是一个极为重要的课题。它要求配备专用的图形系统软件和图形显示器、台板、绘图机等外围设备。设计人员把设计方案的原始数据输入后，由图形系统软件分析处理，在显示屏（或绘图机）上自动显示出结果和图形，再根据计算机的提示或“菜单”，利用键盘或台板对屏幕上的图形进行修改。人的眼睛接受计算机显示的图形信息要比扫视数字表格快得多，并且计算机本身可以大容量、高速地分析处理，所以，就可以缩短设计周期，降低成本，节省人力和物力。因此，近年来，计算机辅助图形设计在造船、电子、航天、建筑、机械等领域都得到了迅速发展和应用。

本书主要是介绍交互式图形系统的实现方法以及在图形系统中有关的算法、数据结构和有关的软件技术。书中编入了作者多年来从事科学研究许多内容。希望对从事二、三维图形设计或显示的读者，从事关于图形的基本算法或交互图形软件系统开发的读者有所帮助。

本书第一章由陈玉健执笔。第二、三、四章由孟明辰和陈玉健执笔。第五、六、七章由李凯宁执笔。第八章由孟明辰执笔。全书由孟明辰负责汇总。许隆文、童秉枢、曹为宁对本书进行了初审。全书由周远清负责总的审阅。

由于水平有限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

1987年

目 录

第一章 概述	1
§ 1-1 计算机辅助图形设计在CAD中的应用	1
§ 1-2 计算机辅助设计所需要的硬件资源	5
第二章 二维图形设计	20
§ 2-1 图形输出设备的图形功能	20
§ 2-2 功能图的设计	26
§ 2-3 填充	73
第三章 交互式图形系统设计 (1)	97
§ 3-1 GIS1系统概述	97
§ 3-2 图形子程序包	99
§ 3-3 图形语言	102
§ 3-4 嵌入式G2DL语言——FG2DL语言	116
§ 3-5 G2DL的编译过程	117
§ 3-6 GIS1-2D交互处理功能	133
第四章 交互式图形系统设计 (2)	139
§ 4-1 图形设计	142
§ 4-2 定位、标定与选择	153
§ 4-3 菜单程序设计	157
§ 4-4 GIS2-2D的系统结构	162
第五章 几何变换	176
§ 5-1 齐次坐标和齐次变换阵	177
§ 5-2 常见几何变换阵	181
§ 5-3 几何变换的实现	195
第六章 三维图形的显示	201
§ 6-1 三维观察变换	202
§ 6-2 三维裁剪	221

§ 6-3	消除隐藏线	223
§ 6-4	光效应生成技术	238
第七章	实体造型	245
§ 7-1	实体造型理论基础	245
§ 7-2	射线穿透法实体造型技术	258
§ 7-3	离散法实体造型技术	271
第八章	图形数据库简介	282
§ 8-1	数据库系统基本概念	282
§ 8-2	数据模型	291
§ 8-3	图形数据库	304
参考文献		318

第一章 概 述

§ 1-1 计算机辅助图形设计在 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(Computer Aided Design)简称 CAD,已经广泛地应用于造船、航空、航天、机械制造、电子、轻纺、建筑、测绘等部门,大量的事实证明,CAD 不仅缩短了产品的设计过程,减轻了设计工作量,提高了工作效率,更重要的是难以用人工来进行的精确计算或无法精确绘制的图纸得到了圆满解决。

在我国,CAD 技术以它显著的经济效益已受到人们的重视。在一些领域,CAD 技术已经初露锋芒。例如,我国某设计院已把 CAD 技术应用于铁路的线路路基设计,他们采用人机交互式处理的方法进行设计、计算和绘图的全部工作。由计算机直接提供满足施工设计需要的三表一图(即:设计坡度表,填挖高度表,土石方数量汇总表、路基设计横断面图),在设计中通过图形显示和多功能菜单的应用,可以随时修改设计资料、设计内容及增减断面个数,从中可以选择合理方案,并可利用设计中的相同部分进行重复计算,提高设计速度。可以绘出全部或选择绘制一部分路基横断面图。在某线某段施工设计中进行了长 100 多公里的路基设计。经人工复核对比认为,图形清晰准确,土石方数量计算精度较高,缩短了设计流程与周期,提高了工作质量,提高工效 10 倍以上。在桥梁设计中,该研究院用计算机进行桥墩、台、桩基的辅助设计,在生产中收到显著效果,在某线五座大桥、特大桥的设计中,利用 CAD 技术,采用优化设计提高工效六倍,并节约了工程投资。

在电力系统中,可利用CAD技术进行室内照明照度的计算,并绘制出照度图。这种CAD应用软件在我国一些单位中已把它用在大型厂房、生产车间、大型旅店等建筑物的室内照明照度计算,简化了计算手续,提高了计算的准确性,同时还可绘制出房间面积、场地容量、最大照度值及给出照明投资的经济指标。

计算机不仅在辅助设计领域大显神威,还能进行计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing),简称CAM。CAD/CAM改造了传统工业,例如我国飞机行业长期以来一直沿用“模线样板——标准样件”,以模拟量传递为基础的工艺方法。这种方法使飞机试制周期长、精度低、劳动量大。采用了CAD/CAM技术,打破了传统工艺,直接使用飞机外形数学模型数据传递信息,进行数控绘图、数控加工和数控测量。在实际的某型飞机的试制中,某研究所使用多坐标数控编程技术加工复杂型面零件,取得良好的效果,提高了协调精度,比原机型装配周期提前了18天。由于采用CAD/CAM技术,产品质量得到了提高,攻克了一些难度较大的关键技术,使装配对口达到一次成功,缩短了试制周期半年,节省了大量的工装,节约工时约20万小时,估算可节约研制费200万元。

CAD/CAM技术在我国造船业早在70年代就开始应用,经过近十年的努力,已经完成了我国的船体CAD/CAM系统,其中包括:数学放样,结构展开,钢板排料,数控切割,管系布置等功能模块。该系统已在上海沪东和江南造船厂投入实际生产多年,在提高建造质量、缩短建船周期、节省工时和材料等方面取得了显殊的经济效益。为振兴我国造船业,打入国际市场作出了重要贡献。

在工业发达国家,CAD/CAM已成为各类产品更新换代的关键技术,被称为产业革命起飞的引擎。美、日等国都集中相当数量的人力和资金从事CAD/CAM系统的开发。美国的Computer Vision公司(简称CV公司)拥有5000名员工,其中近半数从事CAD系统硬件的研制,其余从事CAD系统软件的开发,美国In-

tergraph公司也有近2500人从事CAD系统软件开发工作。日本富士通公司配备超大型计算机124台,大型计算机319台,中型计算机1640台,小型计算机1642台(1984年),相当部分的计算机用于工业生产的控制,产品的辅助设计。象日本的IBM公司、日立公司的计算机亦都在千台以上。这些国家的CAD系统(硬件和应用软件)已达到商品化,在工业革命中起了不可估量的作用。

我们要看到我国在CAD/CAM技术上与先进国家的差距,更要看到我国在CAD/CAM方面已经迈开了第一步,并取得了可喜的成果,要树雄心、立壮志,迎头赶上世界先进水平。

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)。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”,大部分的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。

70年代初期,我国已经开始研究和应用CAD/CAM技术,在一些行业中取得了可喜的成果,同样,这些研究也推动了计算几何和计算机图形学的理论研究,建立和发展了我国图形学理论和技术研究队伍。

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确度的绘图仪,使得计算机图形处理的功能更强了,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,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

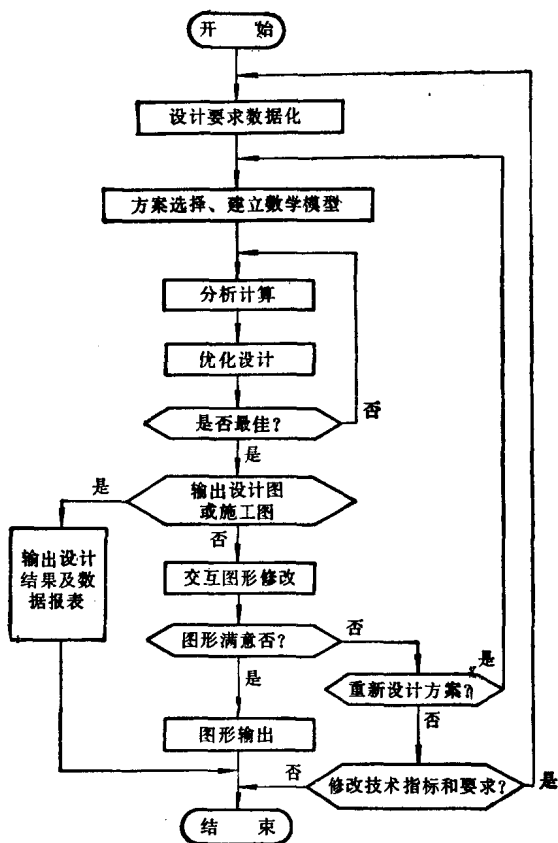


图1-1 计算机辅助设计流程图

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学的应用深入到建筑模型的辅助设计、装璜设计、盆景和绘画以及动画片设计等艺术领域。

计算机辅助图形设计就是用计算机软件技术在 CAD 硬件系统的基础上完成图形的生成及对图形的几何处理，自动产生用户所需要的各种图形设计。

§ 1-2 计算机辅助设计所需要的硬件资源

要进行CAD研究及开发CAD软件，必须要有CAD所需的硬件资源，购买什么样的CAD系统，主要看我们工作的需要与经济实力如何，再去选择性能价格比较好的系统。搞CAD除了要进行数值计算外，还要进行图形处理，所以本章我们首先介绍几种图形输入输出设备，然后再介绍一些比较典型的CAD系统。

一、图形输入输出设备

(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。

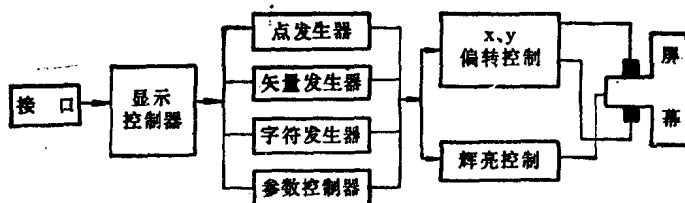


图1-2 随机扫描图形显示器原理框图

阴极射线管到目前为止仍是一种使用得较广的显示器件，用控制电子束的偏转和亮度而在荧光屏上画出图形，常选用涂有短余辉和长余辉两层荧光粉的管子作显示管，以减少闪烁，给观察者一种舒适的感觉。阴极射线管有许多类型，其偏转方式有静电偏转、电磁偏转及两者结合等三种，其聚焦方式有静电聚焦、电磁聚焦两种。常采用电磁聚焦以获得很小的光点，提高分辨率，偏转方式则采用电磁偏转或电磁偏转与静电偏转相结合的方式。

所谓随机扫描是指电子束的扫描顺序不是固定的，扫描时不必满屏幕扫描，只需要在有图形处扫描，并可从一处跳到另一

处。

图中的点发生器是用来将电子束定位在荧光屏上某一位置。矢量发生器是用来在屏幕上画各种不同长度的线段的。因为任何一条曲线都可以用许多斜率不同的短线段来逼近，而每一短线段又可分解为 x 、 y 方向上的二个矢量分量 Δx 、 Δy ，不断改变 Δx 、 Δy 分量就可画出曲线。

随机扫描型图形显示器的工作过程如下：接到计算机送来的扫描起始点数据后，点发生器使光点定位，计算机依次送来 Δx 、 Δy 矢量的大小和方向数据，矢量发生器产生辉亮控制信号和扫描控制信号，控制电子束扫描出一条曲线和一个图形，然后跳到新的起始点，重复以上过程直至画出整幅图形。

随机扫描图形显示器的主要技术指标为：

画线长度：扫描画出的曲线的最大总长。一般可达100 m。

定位时间：光点定位所需的时间。一般为 $5 \sim 20 \mu s$ 。

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二种。直接式存贮管图形显示器是在屏幕和电子枪之间加上副阴极，主电子枪产生电子束轰击荧光屏生成几何图形，副阴极连续发射低能电子的漫射流来使图形生辉，要清除图形则需增强漫射流的能量，使全部屏幕达到存贮激励，然后把加到屏幕上的电压减到零，使荧光回到正常的状态，整个刷新需1 s。刷新存贮式存贮管显示器是利用管内的MOS器件芯片，用电子束写入和读出信息来存贮图形。存贮管的生产工艺复杂，精度要求很高。美国Tektronix公司的Tek 4010系列显示器就属于这种存贮管图形显示器。

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。

光栅扫描图形显示器用显象管作为显示器件，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。在光栅图形系统中，一幅完整的图形可以看成是一个矩阵：

$$F_{N \times M} = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, M-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, M-1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f(N-1, 0) & f(N-1, 1) & \cdots & f(N-1, M-1) \end{bmatrix}$$

矩阵中的元素称为像素。每个像素对应于刷新存贮器中的1位或数位，顺序读出刷新存贮器内的信息，形成视频信号送显象管显示。

一个带有台板输入的光栅扫描式图形终端的示意图如图1-3所示。

其中图形生成系统的核心是彩色图形命令的解释软件，系统的任务就是将图形命令映射到图形存贮器中的某个像素子集：

$$P(\text{图形命令}) = G(\text{图形}) = \{x, y, f(x, y) \mid (x, y) \in G \text{ 的形体范围}\}$$

提供给用户直接使用的图形命令一般有定位命令、直线命令、曲线命令、文字命令、屏幕控制命令、终端数据请求命令和光栅显示特殊命令等。

定位命令可以由计算机控制屏幕光标定位，也可以由台板上移动游标来控制屏幕光标定位。

直线、曲线、文字命令是提供给用户生成图形用的，它们也可以同写控制命令结合在一起，直接在屏幕上显示用户定义的图形。写命令也可以单独使用作为全局控制命令，也可以用来确定

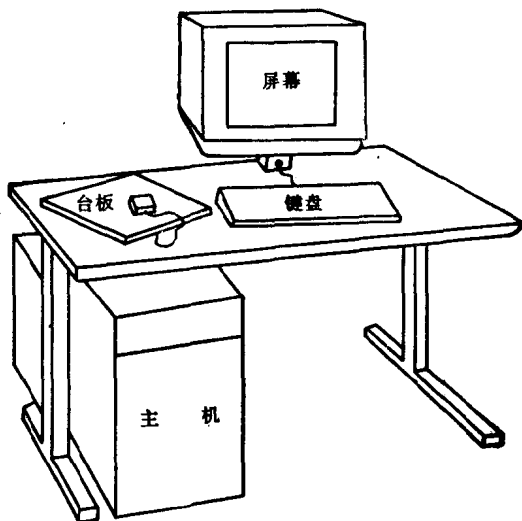


图1-3 带有台板输入的光栅扫描式图形终端

象素值四种写法，即取反写、擦除写入、取代写入、异或写入，写命令也可与阴影填色命令相结合。

屏幕控制命令一般是在不影响图形存贮器内容的前提下使整个屏幕画面发生变化，包括定义背景颜色、填写彩色对照表、做放大（Z...）等。清除屏幕命令要影响整个图形存贮器的内容。

终端数据请求命令是使终端向主机送有关数据，如图形光标位置、图形存贮器中的内容及彩色对照表的内容等。

这些图形命令直接与用户见面，也是用户最需关心的，是用户开发交互式图形软件、开发CAD应用软件的基础。

图形存贮器也称刷新缓存或帧存贮器，它是存贮图形象素矩阵的地方，它的大小取决于显示终端的分辨率与可选色彩的多少。如果是8种可选颜色的 1024×1024 分辨率的彩色图形终端，那么它的图形存贮器是一个 $1024 \times 1024 \times 3$ 的存贮体。这里每个象素用3位表示，则可定义8种颜色（图1-4）。

0	1	2	3	4	5	6	7	← 颜色种类
0	0	0	0	1	1	1	1	} 三位状态
0	0	1	1	0	0	1	1	
0	1	0	1	0	1	0	1	

图1-4 每个象素用三位表示则可定义8种颜色

图形显示系统的功能就是把用户定义的图形从刷新缓存中经过转换在屏幕上得到显示。为了叙述方便，我们可以在图形存贮器上定义一个图形坐标系统(GCS)，在屏幕上定义一个屏幕显示系统(SCS)。在GCS定义一个矩形窗口，对SCS上对应一个矩形视口。那么，图形显示器的职责就是要完成两个映射：位置映射和值映射。

位置映射就是窗口到视口的映射 $\vec{P}$ ：

$$(x_s, y_s) = \vec{P}(x_g, y_g)$$

Panning改变位置映射关系，Zooming使得 $\vec{P}$ 成了一对多的映射。

值映射也就是彩色对照表映射，它完成图形存贮器中象素值 $p_v[p_v = f(x_g, y_g)]$ 到屏幕上点的色彩值 ω 的映射： $C_s = g(p_v)$

图形显示器最后接收图形显示系统的R、G、B及同步信号，将图形显示在屏幕上。

光栅扫描图形显示器的优点是：简单、成本低，当象素 $<512 \times 512>$ 时其扫描常与电视制式兼容，可显示动态图形，图形明亮，能提供全彩色显示，可选颜色达 256^3 。缺点是在象素少时，显示的曲线不光滑(所谓阶梯效应)。目前已出现了 1024×1024 的高分辨率彩色图象显示系统。

(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1-5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