

高等学校教材

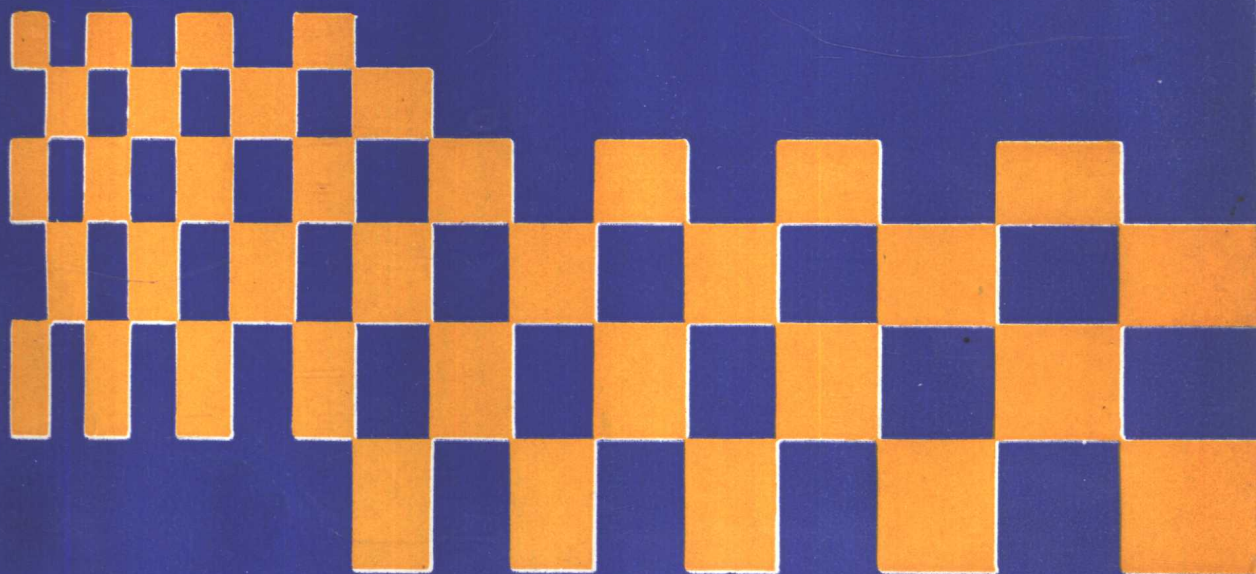
TP14

13

交互式

计算机图形显示学

杨彭基 主编



西北工业大学出版社

高等学校教材

交互式计算机图形显示学

杨彭基 主编

西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书共分为五章，第一章绪论，第二章图形显示设备，第三章图形显示处理，第四章图形显示软件，第五章光栅图形显示。本书内容较全面，第五章介绍了较新的图形显示技术。本书适用于航空、机械、造船、汽车等行业。本书可作为大专院校《交互式图形显示学》、《计算机辅助设计与制造》等课程的教材，也可作为工厂、研究所工程技术人员的参考书。

高等学校教材

交互式计算机图形显示学

杨彭基 主编

责任编辑 苏相盘

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店发行

航空工业部〇一二基地印刷厂印装

开本787×1092毫米 1/16 11.88印张 283千字

1985年12月第一版 1987年5月第二次印刷

印数2001—5000册

ISBN7-5612-0009-9/TP·3

统一书号：15433·045

定价：2.00元

前 言

随着计算机科学及其应用的发展,在航空工业中已开始采用计算机辅助设计与制造这一新技术。计算机辅助设计与制造已成为航空工业技术改造的重要途径。在计算机辅助设计与制造中,图形显示是个主要手段。为适应航空工业发展的需要,最近几年在航空院校已讲授“交互式计算机图形显示学”课程。本教材即是在北京航空学院、南京航空学院、西北工业大学所编教材的基础上,作为“交互式计算机图形显示学”的统编教材而编写的。

本书阐述了“计算机图形显示学”的基本内容,即:图形显示设备、图形显示软件、图形显示的算法和理论三个方面,可供30~50学时教学之用。在本教材中,对高级语言,主要参用了国外图形显示学书籍中惯用的Pascal语言;对显示指令系统的介绍等,以国内已有的Tektronix存储管式显示器为背景;对图形软件包的介绍,则主要参考了GINO-F和Plot-10交互图形程序库。

本书由西北工业大学杨彭基教授任主编,国防科技大学易晓东教授和李德乾副教授主审,对他们提出的许多宝贵的修改意见深表感谢。本书第一章由杨彭基教授编写,第二章由西北工业大学黄尧民副教授编写,第三章由南京航空学院姚文季讲师编写,第四章由北京航空学院温文彪讲师编写,第五章由西北工业大学洪涛副教授编写。

本教材也适用于造船、汽车和机械制造院校有关专业师生参考。

限于编者水平,并且“交互式计算机图形显示学”是一门正在不断发展中的学科,本书难免有不妥和不足的地方,热切希望读者批评指正。

ABK 51 / 05

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、什么是交互式计算机图形显示学	(1)
二、交互式计算机图形显示学的内容	(1)
三、交互式计算机图形显示学的发展	(2)
四、交互式计算机图形显示技术的应用	(3)
第二章 图形显示设备	(5)
§ 2-1 显示头的工作原理	(5)
一、阴极射线管	(5)
二、直视存贮管	(12)
三、彩色显象管	(14)
四、等离子显示板	(16)
§ 2-2 点迹显示技术	(17)
一、坐标系统	(17)
二、D/A转换	(18)
三、显示器的控制	(20)
§ 2-3 矢量产生器	(21)
一、产生矢量的要求	(21)
二、产生矢量的方法	(22)
§ 2-4 圆弧产生器	(35)
§ 2-5 字符发生器	(38)
一、功能和要求	(38)
二、产生字符的方法	(39)
§ 2-6 显示处理机和指令系统	(42)
一、功能	(42)
二、作用	(42)
三、显示指令系统	(44)
四、存贮管显示器的指令系统	(48)
§ 2-7 输入装置	(50)
一、键盘	(50)
二、光笔	(51)
三、书写板	(54)
四、三维输入装置	(55)
§ 2-8 输入技术	(57)

一、定位·····	(57)
二、约束法·····	(58)
三、伸缩线法·····	(58)
四、点对象·····	(59)
五、光钮和光钮排·····	(59)
第三章 图形显示处理 ·····	(60)
§ 3-1 基本变换公式·····	(61)
一、二维变换·····	(61)
二、三维变换·····	(63)
§ 3-2 直线和多边形的剪取算法·····	(66)
一、直线的剪取·····	(66)
二、多边形的剪取·····	(70)
§ 3-3 窗口到视区的变换·····	(71)
一、基本原理·····	(72)
二、应用·····	(73)
§ 3-4 三维对象的视图变换·····	(75)
一、透视变换原理·····	(77)
二、三维视图变换·····	(79)
三、小结及应用举例·····	(86)
§ 3-5 消去隐线的透视图·····	(92)
一、透视深度·····	(92)
二、三维屏坐标系的建立·····	(93)
三、三维屏坐标系的特点·····	(97)
四、屏坐标系中的剪取·····	(97)
五、消除隐线的算法·····	(100)
第四章 图形显示软件 ·····	(103)
§ 4-1 图形显示程序包·····	(103)
§ 4-2 信息输出程序组·····	(105)
一、基本图形元素输出程序组·····	(105)
二、字符、符号输出程序组·····	(107)
三、复杂图形输出程序组·····	(109)
四、开窗功能程序组·····	(111)
五、几何变换程序组·····	(113)
六、变换的控制·····	(120)
七、观察变换程序组·····	(128)
八、代码生成程序·····	(138)
§ 4-3 各种支持程序·····	(140)

一、系统初始化子程序	(140)
二、结束子程序	(140)
三、进入字符模式子程序	(140)
四、单位转换功能程序	(142)
§ 4-4 显示文件的建立与分节	(142)
一、显示文件	(142)
二、分节式显示文件	(143)
三、构造图节的功能程序	(144)
四、图节群	(148)
五、处理图节或节群的功能程序	(149)
六、动态显示举例	(150)
七、显示文件结构	(152)
八、存贮管显示器的显示文件	(154)
§ 4-5 信息的输入及其使用	(155)
一、输入信息的类型	(155)
二、信息输入的基本概念	(155)
三、信息输入程序组	(156)
§ 4-6 标准化图形显示系统	(163)
§ 4-7 图形显示软件设计的基本原则	(164)
第五章 光栅图形显示	(166)
§ 5-1 光栅扫描显示器原理与应用	(166)
§ 5-2 线帧图的光栅显示	(169)
§ 5-3 色区影象的扫描转换	(173)
§ 5-4 自然影象的显示	(178)
参考文献	(182)

第一章 绪 论

一、什么是交互式计算机图形显示学

交互式计算机图形显示学是计算机与显示设备相结合,通过人和机器的交互作用,进行图形的显示。研究交互式计算机图形显示这门新技术的学科便是交互式计算机图形显示学。

从交互式计算机图形显示的含义可见,这门新技术和计算机、图形显示设备以及人——机交互技术(即人——机对话)有关。关于电子数字计算机,有不少专门书籍,本书不再作介绍。至于图形显示设备,即图形显示器,或称图象仪,是一种计算机的输入——输出装置。图象仪区别于一般字符终端的是它能显示图形,而一般终端只能显示字符。在图象仪上还可以对图形进行处理及修改,即对图形增补、删减、旋转、移位、放大或缩小等。

通过图象仪进行人——机对话是人——机交互作用的一种方式。这种方式特别有利于有关图形的人——机对话。当计算机输出的一批数据是表示一个图形时,人们从数据是很难建立起这个图形的概念的。但是人们在图象仪的屏面上很容易看到代表这批数据的图形,使得人这对批数据有个整体概念。人对复杂的拓补问题有特殊的理解能力,会判断一辆汽车是否漂亮,一座建筑是否美观,在图象仪上能把自己的意图传给计算机,必要时在图象仪上修改图形。这样,图象仪就起了人——机对话的作用。另一种人——机对话方式是电传打字,这是一种最早采用而至今仍然有效的方式。人们操作电传打字机的键盘,向计算机发布命令;计算机则执行命令,并将回答信息以打字方式输出,从而实现人——机对话。还有一种人——机交互的方式是口头传话,人们通过讲话发出的声音,对计算机发布命令,这是人——机对话的高级阶段,但是目前还在改进中。由于近年来图形显示的速度和图形质量都有了很大的提高,因而利用图形显示技术作为人——机交互的手段,已成为最重要的一种方式。

二、交互式计算机图象显示学的内容

交互式计算机图形显示学是当前发展得很快的一个学科分支。这个学科分支研究的主要内容是各种图形显示设备、图形显示软件和图形显示计算方法三个方面。

为了实现交互式计算机图形显示的各种功能,就需要一套合适的硬件设备。这套硬件设备一般地由计算机、磁盘系统、显示和输入设备、图形记录设备(即图形拷贝设备)组成。本书着重讨论硬件设备中的显示设备。常用的图形显示设备采用阴极射线管(CRT)作为显示部件,这种情况多年来没有改变。有三种类型的阴极射线管显示器:刷新式的、存储管式的和光栅扫描式的。刷新式显示器的特点是可以对屏面上的图形增加或删除部分内容,也就是可以更改图形,因而对设计工作很方便。另外,刷新式显示器是可以对运动中的物体作动态显示。刷新式显示器的缺点是不能显示太复杂的图形。图形过份复杂时,屏面上出现闪烁。存储管式显示器则没有这个缺点,可以显示复杂图形而不闪烁,但是它不能作动态显示,也不容易更改屏面上的图形,所以存储管式显示器用于计算结果的形象输出是很合适的。光栅扫描式显示器的特点是能在屏面的各点上显示不同的亮度和颜色,从而可以构成具有浓淡差别、类似于照片的,逼真于空间物体的画象。近年来,光栅扫描彩色显示器已经广

泛应用于计算机辅助设计与制造。除了阴极射线管显示器外，也在研制一些体积较小、所需电压较低的显示器，如等离子显示板、液晶显示器、激光扫描显示器等。然而，目前它们当中只有少数几种在性能和可靠性方面可以和 CRT 型显示器相比。

对于一个交互式计算机图形显示系统，除了硬件设备之外，还要有软件。软件中的基础部分是图形显示程序包。这是一套子程序；使用这套子程序，可在显示器上生成图形元素、控制图形并进行实时人——机对话。在这套子程序的基础上，编制用户的应用程序。一个简单的图形显示程序包一般具有下列各方面的子程序：

1. 用于显示点、直线、圆弧、字符以及其它简单图形的子程序；
2. 选择定义图形用的坐标系和确定视区边界的子程序；
3. 对图形进行放大、缩小、平移、旋转等的变换子程序；
4. 进行实时信息输入，完成人——机交互的子程序；
5. 各种管理、控制子程序。

交互式计算机图形显示学的另一个重要研究领域是对各种算法 (algorithms) 的研究。算法有下列几个方面：

1. 对图形进行放大、缩小、旋转和对物体进行投影的算法。这在许多实际应用中是很需要的。这类算法都属于变换算法，变换算法的数学基础是矩阵计算。根据变换算法，我们可以算出任一点经过变换后的坐标，从而根据变换结果得出整个变换后的图形。

2. 对图形进行剪取的算法。图象仪的显示屏不是很大的。如果我们想在屏面上显示全部的图形，通常总是嫌屏面太小，图形太大。在这种情况下，用剪取技术，可以将需要部份的图形显示于屏面内，而舍弃图形的其余部份，这样我们就可以把所选择的那部份图形看得更清晰，所以剪取是一种有用的算法。

3. 外形数学模型的计算。物体表面的一种表示办法是把表面分成许多小曲面片，而每个小曲面片用参数方程来表示。用这种方法我们能表示曲面，并且能很容易修改曲面。

4. 消除隐藏线和隐藏面的算法。其目的是判别物体的哪些部份是看得见的；哪些部份是被遮盖而看不见的。这是交互式计算机图形显示学的又一类重要算法。

5. 使物体表面具有阴影层次 (shade) 的算法。显示阴影的技术需要编制模拟照明物体是如何被人的眼睛所感受的计算机程序。这项技术是近几年来才发展起来的。

三、交互式计算机图形显示学的发展

交互式计算机图形显示学作为一个科学分支虽然只有二十多年的历史，但是达到今天这样的成就还是经历了多方面的研究和探索的。第一台计算机控制的显示器出现于1950年，安装在麻省理工学院 (MIT) 的《旋风 I 型》(Whirlwind I) 计算机上，只能产生简单的图形。这显示器使用了一个阴极射线管 (CRT)。五十年代末期，由于像 MIT 的 XT-0 型和 XT-2 型这样的计算机制造成功，使交互作用成为可能；人们对计算机图象仪的兴趣也开始增加。目前的交互式计算机图形显示技术的基本概念是 Ivan E. Sutherland 提出的。1962 年，他发表了一篇论文《Sketchpad: A Man Graphical Communication System》，证明交互式计算机图形显示学是一个有前途的、有用的和很感兴趣的研究领域。在六十年代中叶，美国麻省理工学院、通用汽车公司、贝尔电话实验室以及洛克希德飞机公司开展了大规模计算机——图象仪研究计划，从而开始了计算机——图象仪的黄金时代。如

果说六十年代是计算机——图象仪研究工作的蓬勃开展时期，那末七十年代就是开花结果的时代。

在我国，七十年代的初期，中国科学院计算所、长沙工学院等单位已开展了对计算机——图形显示系统的研制工作。1976年以来，我国自行设计的图形显示器，已有十余种由工厂、学校、研究所试制成功，有的型号已经投产，它们都是和国产小型通用计算机联机的。在图形显示软件方面，一些高等院校作了大量工作。特别在1978年以后，交互式计算机图形显示技术有了较大的发展，在国防科研、航空工业以及机械设计、电路设计各部门逐渐推广，日益受到各方面的重视。可以预见，交互式计算机图形显示技术必将在我国实现四个现代化的进程中发挥越来越大的作用。

四、交互式计算机图形显示技术的应用

交互式计算机图形显示技术的应用范围正在不断地扩大。一个最广泛、最活跃的应用领域是计算机辅助设计（CAD），飞机设计使用计算机和图象仪，显示出极大的优越性。在设计过程中，设计师一方面要进行构思和判断，另一方面，有大量的分析计算工作。构思和判断利用图象仪，既快又方便。分析与计算，如重量计算、性能计算、强度计算等都可用计算机进行。这就是计算机图象仪辅助飞机设计的优越性。在电子工业中，这项新技术首先用于集成电路设计、印刷电路设计以及电子线路设计等方面，其优点是十分明显的。举一个复杂的集成电路设计为例：工程师画图需要一周时间，修改重画又需要同样的时间，如果使用交互式计算机图象仪系统进行设计，就可以在短得多的时间内画出线路图。目前电子设备的价格不断下降，主要在于集成电路设计工作方面的进步；而设计工作的进步，计算机图象仪起了很大的作用。此外，在造船工业、建筑行业、机械制造业等方面，计算机辅助设计也得到了广泛应用。

在计算机辅助制造（CAM）方面，交互式计算机图形显示技术充分发挥了其直观和形象化这一优点。利用图象仪辅助编制数控加工程序，优越性很突出。因为这可以显示加工零件的图形和刀具中心轨迹，可以显示定位夹紧件的位置，从而大大减少了差错的可能性，缩短了生产准备周期。按普通方法编程时，在进入正式加工前，平均要进行四次试切削，才能得到合格的数控加工零件。试切削发现错误时，要修改程序和数控纸带，重新上机，周期很长。用图象仪编程，平均经过两次试切削就可产生一个合格的程序，因此可以缩短25~65%的编程时间，显著地缩短了生产准备时间。

事实上，交互式图形显示技术不只是用于单纯的CAD或CAM方面，还用于CAD和CAM结合的CAD/CAM（计算机辅助设计与制造，或称设计制造一体化）方面。一体化就是使设计、制造、管理更密切地衔接起来，加快技术和管理信息的传递，形成一个统一的系统。一体化系统一般建立一个统一的数据库。一体化系统可包括工程设计（如飞机总体设计）、几何设计、制造工艺、物资管理、技术资料等分系统。现在某些大飞机公司（如美国波音公司）在利用计算机图象仪编制数控加工程序的工作中，就体现了设计制造一体化。程序员在编程时，首先从统一数据库中调出设计部门所设计并存储在数据库中的零件图，显示在荧光屏上，然后进行加工程序的编制。这体现了设计与制造的结合，编制程序时，直接使用了由计算机传递过来的、设计时就已确定了零件的几何信息。

计算机图形显示设备还可用于模拟与仿真。这套设备和飞机操纵系统连合起来，可以组

成“模拟飞行器”，用来对实际飞行进行模拟。当飞行员在“操纵台”前操纵他的“飞机”——即“模拟飞行器”——时，计算机就通过显示器产生他在“飞行”中所见到的全部场景，从而达到进行飞行训练的目的。类似的设备也用于汽车、宇航、轮船驾驶的模拟。

最后，计算机图形显示在过程监控等方面也得到应用。在对工业过程或交通运输系统进行监视或控制时，过程的进程可以形象地在图象仪上表示出来，必要时，还可以实时地进行人工干预。

第二章 图形显示设备

为了把计算机产生的数字信息变成图形，必须把它连到能产生图形的设备上。这种能把数字信息转变成可见图形的设备叫图形显示设备，简称显示设备或显示器。

显示设备是计算机图形显示系统的基本装置，它用以处理显示信息并构成图形。

按照构造原理的不同，图形显示设备分为刷新式、存贮管式、光栅扫描式及等离子板等多种。显示器如仅显示字符则称为字符显示器。

§ 2-1 显示头的工作原理

显示头是指显示器中的显象部分。现按不同的工作原理分别介绍：

一、阴极射线管

阴极射线管 (Cathode Ray Tube) 简称CRT。它的工作原理，主要是利用两种效应：(一) 是利用一些物质在电子轰击下发射磷光的特性。(二) 是电磁场对电子运动的效应。阴极射线管的构造如图2-1所示。它包括①阴极。对它加热时发射出电子。②控制栅。它是控制阴极发射电子的多少，也即控制电子束电流的大小。③加速结构。它使电子形成一个高速的电子束。④聚焦系统。它保证当电子束打击屏幕时，把电子束聚焦成一个细点。⑤偏转系统。它使电子束能移动到屏幕的任何位置上。⑥荧光层。它在电子束打击它时能发出辉光。所有这些物件都封闭在一个抽成真空的圆锥形玻璃壳内，形成一个电真空器件。

1. 阴极

阴极是一个金属小圆筒，圆筒表面上涂有一层能发射电子的氧化物，如氧化钡、氧化锶、氧化钪等。在圆筒里面有灯丝，能把阴极(圆筒)加热到 $1000^{\circ}\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 的温度，使阴极发射出电子。

2. 控制栅

控制栅是包围阴极的、一端带一小孔的金属圆筒。这个圆筒比阴极的电位要低，它排斥电子，除少数电子通过底部的孔逃脱(即发射出电子)外，大多数电子仍然留在控制栅内。合理设计的控制栅能产生如图2-2所示的电子流动形式。正确地选择控制栅的结构和电位，则

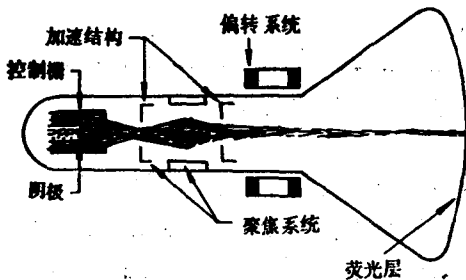


图 2-1

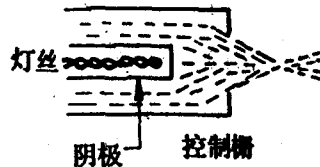


图 2-2

图中所有的电子都能流经控制栅孔后的一个点，这个点就成为发射电子的点源，从而简化了以后的电子束聚焦问题。

控制栅相对于阴极的电位越低，通过孔径逸出的电子就越少。因此改变它的电位，我们就可以改变轰击屏幕的电子数量，达到控制图形亮度的目的。如果负电位降到足够低，则电子流（或称电子束电流）接近于零（ $< 1 \mu A$ ）。达到这种情况的电位叫截止电压，其值一般在 $-20V$ 到 $-1000V$ 的范围之内。

3. 加速结构

加速结构的作用是提高电子的速度，使电子束具有足够的能量撞击荧光物质以产生可见的光点。加速结构由控制栅后的 2 栅（1 阳极）及 2 阳极组成，如图 2-3 所示。

电子由控制栅出来，穿过 2 栅的一个小孔，并被这个栅极和 2 阳极（或称第 3 栅极）之间的强静电场所加速。一般 2 栅电位为 $300V \sim 400V$ ，2 阳极电位可达到一万伏以上。2 阳极上也有一个小孔，电子束高速通过这个小孔，射向屏幕。电子束的速度与加速电压的关系为：

$$eE = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) \quad (2-1)$$

e ——电子电荷

E ——加速电压即电场电压，是 2 栅与 2 阳极的电位差。

m ——电子质量

V_1 ——进入电场前的初始速度

V_2 ——通过电场后的最终速度

电子束能达到的速度，正比于加速电压的平方根。表 2-1 给出了一些电子束的速度随加速电压变化的实际值。

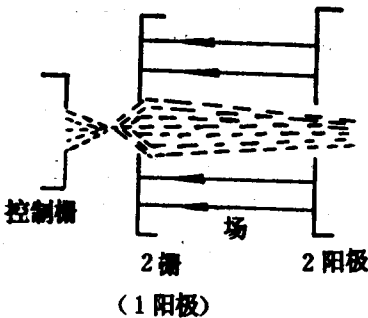


图 2-3

表 2-1 电子束速度和加速电压之间的关系

加速电压（伏）	电子束速度（米/秒 $\times 10^6$ ）
1000	18
2000	25
5000	42
10000	60
20000	84

性能优良的阴极射线管，通常使用的加速电压为一万伏到两万伏。

4. 聚焦系统

聚焦系统的作用，是使电子束撞击荧光物质时，应当只限在很小的一点上产生辉光。因为光点尺寸很小时，人眼就可以容易地分辨出画得很靠近的直线和点，使显示的文字及图形清楚及容易辨认。高质量的聚焦系统可以使光点直径限制在 $1/100$ 英寸（ 0.254 毫米）以内。所以聚焦系统的好坏，对显示装置的分辨率起着很重要的作用。分辨率的意义就是在屏幕上

可区分相邻两点之间的最小距离。

注意，电子束在管内流动时，并非是一样粗细的。电子束离开控制栅后，很快变细到一个点源，然后再发散，一直到聚焦开始作用的那个地方。由这处开始向前收敛，到屏幕时才成为一个细点，完成聚焦作用。

由于静电场或电磁场都可用于聚焦电子束，所以聚焦系统目前有两类：

(1) 静电聚焦

静电聚焦的结构是用三个金属圆筒做成电极，如图 2-4 所示。它的作用是产生如图所示的场。

这种静电聚焦是利用静电场对电子效应的原理，来改变电子运动的方向，使电

束子产生折射或弯曲。由图 2-5 可说明当电子束通过静电场时的折射过程。

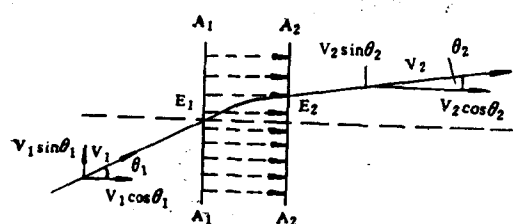


图 2-5

m 、 E 、 e 的意义同前面 (2-1) 式。

V ——在电场电压 E 作用下的电子运动速度。其在 E_1 等位区中为

$$V_1^2 = 2E_1 e/m \quad (2-3)$$

其在 E_2 等位区中为

$$V_2^2 = 2E_2 e/m \quad (2-4)$$

我们知道：电子束速度的垂直分量与静电场中的电力线是垂直的，它不受电场的影响，只有电子束速度的水平分量才受静电场的影响。所以由图 2-5 中可知

$$V_1 \sin \theta_1 = V_2 \sin \theta_2 \quad (2-5)$$

$$\text{则 } V_2/V_1 = \sin \theta_1 / \sin \theta_2 \quad (2-6)$$

由 (2-4)/(2-3) 得：

$$\frac{V_2^2}{V_1^2} = \frac{2E_2 e/m}{2E_1 e/m} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$\text{即 } V_2/V_1 = \sqrt{E_2/E_1} \quad (2-7)$$

由 (2-6) 等于 (2-7) 式得：

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \quad (2-8)$$

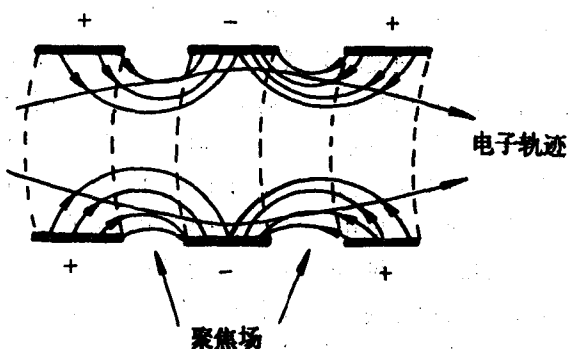


图 2-4

束子产生折射或弯曲。由图 2-5 可说明当电子束通过静电场时的折射过程。 A_1-A_1 界面电压为 E_1 ， A_2-A_2 界面电压为 E_2 。虚线表示 E_2 和 E_1 间的电力线，并假定界面左右两边等位区范围内没有电力线，同时正电压 E_2 大于 E_1 。为了确定电子从电场中射出时的速度 V_2 和折射角 θ_2 ，

可利用电子动能公式：

$$\frac{1}{2} m V^2 = eE \quad (2-2)$$

式中 θ_1 为入射角, θ_2 为折射角。

电子束经过 $E_2 - E_1$ 间的静电场后, 由入射角 θ_1 变为折射角 θ_2 。公式 (2-6) 和 (2-8) 说明了电子在电场中, 不仅要改变速度, 还要偏转。如果电子运动所经过的电场是从高压到低压, 则电子速度会降低, 并且折射角大于入射角。反之, 如果电压梯度的方向是从低压到高压, 那么折射角小于入射角, 而且电子速度会增加。所以如图 2-4 所示的三个金属圆筒的电位是高电位——低电位——高电位的话, 则电子束进入该系统时, 先使电子束发散, 再使电子束收敛聚焦。这三个电极形成的电场, 对电子束的作用有些像透镜对光束的作用一样, 因之也把这称为电子透镜。由图 2-1 中, 可看到阴极、控制栅和第 2 栅区内也有这样的高——低——高的静电场, 可以认为这是 CRT 的第一电子透镜, 该区域提供了 CRT 的第一次聚焦作用。而在 2 栅和 2 阳极之间, 用了一个附加阳极, 如图 2-6 所示。它又是高——低——高的电位, 这样形成了第二电子透镜, 它是对 CRT 起主要聚焦控制作用的, 所以称为聚焦系统。只要适当调整聚焦系统中附加阳极的电压, 就可使电子束打到荧光屏上时, 会聚焦成一点, 形成光点。

(2) 电磁聚焦

电磁聚焦的结构, 是在 CRT 的管颈上套上一个窄的线圈, 这个线圈通上电流后就产生如图 2-7 所示的电磁场。运动着的电子, 经过这个电磁场将发生运动方向的偏转, 其偏转的

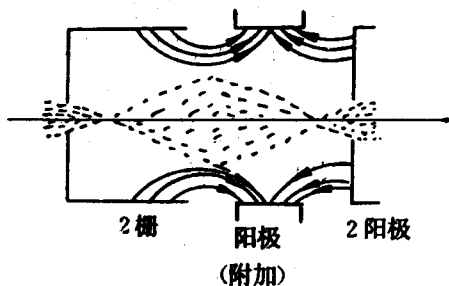


图 2-6

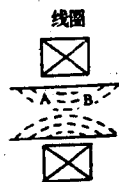


图 2-7

方向, 既和电子运动的方向垂直, 也和磁力线的方向垂直, 这是由于受到洛伦兹力的缘故。因此这个电磁场的轴向分量（即沿管颈中心轴向的分量）会对不完全平行于管颈中心轴方向运动的某些电子, 产生一个圆周运动的分量。这个圆周运动分量与沿轴向的电子速度的合成, 会使电子运动的轨迹变成一条拉长了的螺旋线, 如图 2-8 所示。

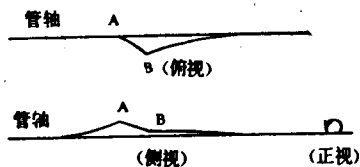


图 2-8

由于洛伦兹力的方向垂直于电子运动的速度方向, 它只能改变电子运动的方向, 使运动轨迹弯曲, 而不会使运动的速度改变数值。这种性质使电磁场特别适合于电子束的偏转。只要保证所有这样运动着的电子弯曲成螺旋线, 并通过管子中心轴线与屏幕的交点, 就可使达到完全的聚焦。所以电磁聚焦通常比静电聚焦的效果要更好。由于它在结构

上要增加线圈, 因此仅在光点尺寸要求严格时才使用, 对于大多数图形显示则采用较简单的静电聚焦就可满足要求。

5. 偏转系统

偏转系统的作用, 是电子束在聚焦后, 使能打到荧光屏的指定的位置上。由于位置对屏

(平面)而言是有X方向及Y方向的,所以它的构造,总是有X方向偏转及Y方向偏转两部分组成的。静电场和电磁场都可以用于偏转。

(1) 电磁偏转

电磁偏转的构造是在管颈外面安装两对偏转线圈,即X和Y方向各一对,如图2-9所示。每对线圈产生一个垂直磁场。在CRT左右两侧的对线圈用于电子束上下偏转(Y方向偏转),上下安装的一对线圈用于电子束的左右偏转(X方向偏转)。其所以能偏转,是由前面所述的洛伦兹力的作用。

(2) 静电偏转

静电偏转的构造如图2-10所示。有两对电极安装在管内靠近管颈处。其中一对竖放的电极,控制电子束在X方向(水平方向)的偏转,另一对横放的电极,控制电子束在Y方向(垂直方向)的偏转。

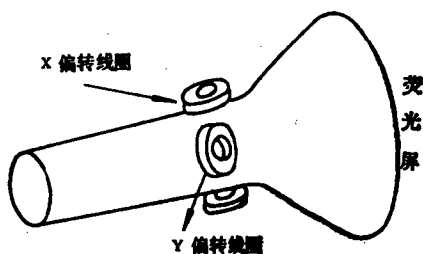


图 2-9

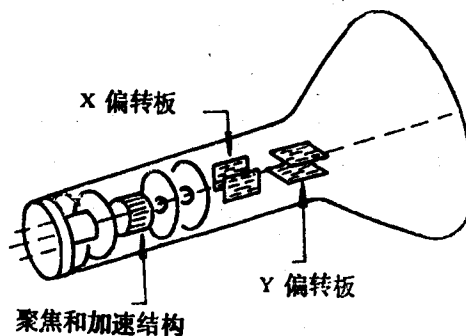


图 2-10

这两种偏转的原理都同聚焦一样,这里不再赘述。

偏转技术的一个重要特征是它的灵敏度。灵敏度指由一个小信号能把电子束偏转一个多大角度的能力。若灵敏度不高,而要得到大的偏转时,唯一的方法就是延长管子的长度,但这将使显示器非常笨重。

静电偏转的灵敏度按下列公式计算:

$$\tan \alpha = \frac{L V_d}{2 D V_a} \quad (2-9)$$

式中: α ——偏转角度(见图2-11)

V_d ——偏转电压

V_a ——加速电压

L ——偏转板长度

D ——偏转板间的距离

对于高速的电子束,如它的加速电压 V_a 值很大,为了达到一定的灵敏度,则要求有很高的偏转电压 V_d 。

对于电磁偏转的灵敏度公式为:

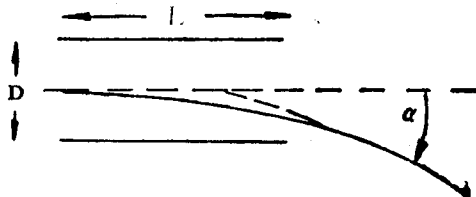


图 2-11

$$\tan \alpha = \frac{BL}{\sqrt{2KV_0}} \quad (2-10)$$

式中：B——磁场强度

L——偏转磁场的有效长度

K——常数 = $\frac{1}{2}$ (电子质量/电荷)

V_0 ——加速电压

在电磁偏转中，高速的电子束，要求有较强的磁场，因而要求有较大的励磁电流。尽管如此，而所要求的电流仅与 $\sqrt{V_0}$ 成正比，而不是与 V_0 成正比。因此电磁偏转通常用于高速电子束，使产生较亮的图形。

有许多因素影响到对静电偏转和电磁偏转的选择，但主要的是从保证显示图形的质量和屏的大小等来考虑。如对于屏幕电压（加速电压）很高的 CRT 来说，采用静电偏转就有很大的困难，所以在这种情况下都采用电磁偏转的方式。另外电磁偏转可获得较大的偏转角，一般可达 70° 左右，因此它适用于管屏较大的 CRT，但电磁偏转方式需要较大的偏转电流，而且由于线圈的电感阻碍偏转电流的迅速变化，所以显示速度受到一定的限制。同时为了增强磁场并使磁场集中，偏转线圈通常绕在铁芯（磁芯）上，而磁芯有磁滞，它将导致图形歪扭。这就是通上了偏转电流，再撤去这个电流时，电子束不能回到它原来的位置上。至于静电偏转方式，其通过极板间的电容，只流过很小的电流，所以偏转电路的输出电流和功率要求低。不过其偏转角小，通常不超过 30° ，因此它只适合于较小的管屏。同时由于它的 X、Y 两套极板，沿轴向安装在前后不同的位置上，如图 2-10 所示，它也会引起图形的歪扭，为了不使图形失真，都各自采取相应的措施。关于两种偏转方法的利弊，概括在表 2-2 中示。

表 2-2 电磁偏转和静电偏转的比较

电 磁 偏 转		静 电 偏 转	
优 点	缺 点	优 点	缺 点
光点尺寸较小	高能电磁场使响应速度较慢	响应速度快	光点尺寸较大
在高亮度快速电子束时，灵敏度要求高	磁滞引起畸变	功率要求低	偏转板形状和位置引起畸变
要求电压低			要求电压高
电子枪结构简单，管子价格低			电子枪复杂，管子价格高

在图象仪中，电磁偏转优点较多，因此应用普遍。