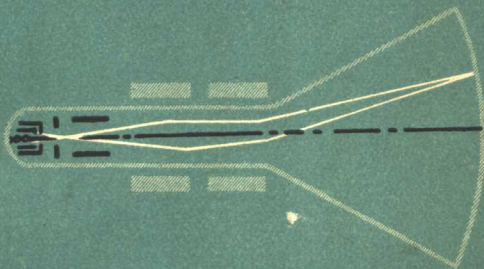


电视中的电子光学

И. И. 楚喀尔曼著



国防工业出版社



统一书号

15034·795

定价1.60元

电视中的电子光学

[苏联] И. И. 楚喀尔曼著

应根裕等译

国防工业出版社

1964

內 容 簡 介

本书阐述现代电视用电真空器件的电子光学基础。研究了电子枪的发射系统、聚焦系统、偏转系统以及在发送管靶面上形成电子像的系统。阐述了电视电子光学装置的理论基础、计算方法以及典型结构。

本书适用于电视和电真空领域的科学工作者和工程技术人员,也适用于上述专业的大学生和研究生。

参加本书翻译工作的有清华大学应根裕(译第一章、第三章、第四章和第五章)、范崇治(译第二章)、陈仁怀(译第六章)。

ЭЛЕКТРОННАЯ ОПТИКА

В ТЕЛЕВИДЕНИИ

[苏联] И. И. Цуккерман

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1958 年

*

电视中的电子光学

应根裕等译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7 ⁷/₁₆ 189 千字

1964 年 10 月第一版 1964 年 10 月第一次印刷 印数: 0,001—3,000 册

统一书号 15034·795 定价: (科八一1) 1.60 元

前 言

在普通电视教程中,需要研究的问题范围很广,以致在一本书中不可能对每一个问题都进行详细的论述。另一方面,在电子光学的教程中有关电视管及其电子光学元件的特性又讲得太少,并且过于陈旧。因此,需要有一本专门的著作来研究有关电子光学在电视中应用的问题。

本书以作者在全苏电视科学研究所为研究生及工程师们讲授电子光学的讲义作为基础。

全书共分六章。第一章简短地综述了电子光学在电视中的应用。在第二章中以极扼要的形式,不加证明地叙述了在阅读以后几章中要用到的电子光学基本概念。第三章讲述电子枪发射系统的工作原理、典型结构及理论基础。在第四章中研究细电子束的静电聚焦和磁聚焦,还特别地研究了恒定磁聚焦系统、线聚焦系统以及预聚焦系统。

在第五章中研究偏转电子束的方法、偏转时斑点的散焦和几何畸变,并叙述了典型的偏转系统及其计算方法。为了分析偏转像差,应用了基于研究曲轴电子光学系统聚焦特性的新方法,得到了消除偏转像散的条件和对动态聚焦的要求。还研究了“慢”电子束扫描的电视发送管及彩色电视接收管的偏转特点。

第六章叙述在发送管的靶上形成电子像的电子光学系统。这里相当详细地探讨了过去还很少研究过的、在几何光学中没有相似的磁电子光学系统的原理。叙述了某些发生在发送管靶上与形成电子像有关的电子过程(尤其是所谓二次电子再分配以及与其有关的效应)。还研究了电子像放大的方法,以及为此而采用的放

大率可变的磁电子光学系統。

第三、四、五、六各章間的联系較少，因此如果讀者只对靶面电子像的形成(第六章)感兴趣的話，則可以不讀前三章，或者仅仅把它当作手册使用。

在各章中，作者都尽一切可能力求在定量研究各种現象的同时，也作定性的解釋，使得能在不引入数学的前提下理解这些現象，并作出实用的結論。

对于 Н. В. 杜那耶夫斯卡亚(Дунаевская)在編制插图、М. М. 勃列多夫(Бредов)和 А. М. 哈尔芬(Халфин)在評閱手稿和 Б. Э. 龐士坦特(Бонштедт)在校对手稿上的巨大而有益的工作，作者深表感謝。

作者

目 录

第一章 电视管的电子光学元件.....	7
§ 1-1 引言.....	7
§ 1-2 接收管.....	7
§ 1-3 发送管.....	15
第二章 电子光学基础.....	28
• § 2-1 引言.....	28
§ 2-2 电场和磁场中的电子.....	28
§ 2-3 电子光学折射率.....	31
§ 2-4 折射介质——电场和磁场.....	34
§ 2-5 轴对称电场和磁场的聚焦特性.....	43
§ 2-6 轴对称电子光学系统的像差.....	59
§ 2-7 非轴对称电场和磁场的聚焦特性.....	65
第三章 发射系统.....	74
§ 3-1 引言.....	74
§ 3-2 阴极区中电子束的形成.....	74
§ 3-3 接收管电子枪发射系统.....	86
§ 3-4 发送管的发射系统.....	91
第四章 电子束的聚焦.....	96
§ 4-1 引言.....	96
§ 4-2 短磁透镜.....	97
§ 4-3 聚焦线圈.....	103
§ 4-4 恒定磁铁聚焦.....	108
§ 4-5 静电聚焦.....	112
§ 4-6 电子束的预聚焦.....	120
§ 4-7 超正折像管閱讀束的聚焦.....	123

§ 4-8	綫焦点	128
第五章	电子束的偏轉	137
§ 5-1	引言	137
§ 5-2	电子束在磁場和电場中的偏轉	137
§ 5-3	偏轉像差	141
§ 5-4	慢电子束扫描时的偏轉	157
§ 5-5	磁偏轉系統	167
§ 5-6	电偏轉系統	175
§ 5-7	彩色电视接收管中束偏轉的特点	177
§ 5-8	离子阱	181
第六章	电子像的形成	183
§ 6-1	引言	183
§ 6-2	超光电像管移像区	183
§ 6-3	超正析像管移像区	200
§ 6-4	靶上电位起伏及二次电子再分配	207
§ 6-5	电子放大	220
文献		231

第一章 电视管的电子光学元件

§ 1-1 引言

电子光学——研究荷电质点在电场和磁场中运动的电子学部门——在电视中已得到了广泛的应用。现代电视系统中的始端与终端设备——将光学图像转变为电信号的发送设备和将电信号转变为光学图像的接收设备——就是电子光学器件。电子光学的定律决定了电视管中电子束的形成、聚焦和偏转，彩色电视接收管中色彩的正确再现、发送管靶上电子图像的形成以及离子阱和二次电子倍增器的工作。

不只是电视图像的清晰度和几何形状的正确性，而且电视系统的其它一系列特性也在很大程度上决定于电视管中的电子光学元件。电视图像质量的进一步提高与这些元件的改善有很大关系。

作为电视真空器件基础的电子光学原理，也被应用在与电子工程相邻部门的器件中，例如变像管、雷达显示管、以及记录、储存和再现信号的各种存储管中。

本章将简短地描述有关用于电视技术中的电子光学元件和系统的性能，以及对这些元件和系统所提出的基本要求。有关电视系统本身的知識可参看一般的电视学教程，例如[文献 1 和 2]。

§ 1-2 接收管

第一个电视管 1907 年彼得格勒工艺专科学校教师 Б. Л. 罗素克(Розинг)提出用阴极射线管来合成“电望远镜”系统所接收的图像。为了再现电视图像，他利用了实际上是无惯性的已调电子

束扫描器件替代当时使用的机械合成系统，这是电视创立的第一步，也是最重要的一步。同时，B. Л. 罗秦克的发明也是电子光学系统在电视中的第一次应用。

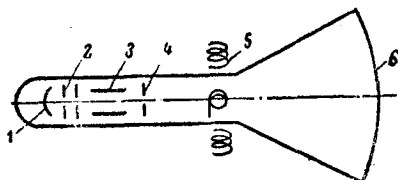


图 1-1 B. Л. 罗秦克的接收管

1—阴极；2—膜孔；3—偏转板；4—膜孔；5—偏转线圈；6—屏幕。

B. Л. 罗秦克首次在荧光屏上显示最简单图像所用的管子表示在图 1-1 上。电子是由阴极附近的气体电离而得到的。借助于膜孔从电子流中切割出一股细的电子束。把交变电压加在偏转板上，电子束的强度将发生变化，电子束偏转越大，则通过后面膜孔的束流就越小。用两个相互垂直的线圈的磁场来实现扫描。

当然，在这第一个电视管的屏幕上再现的图像，其质量远不能满足现代对电视图像的要求。现代电视接收管——常称为显像管——与 B. Л. 罗秦克管之间有着重大的差别。然而，本质上，这些管子的电子光学元件的主要作用——形成细电子束，按图像信号调制电子束的强度和偏转电子束(扫描)——仍是一样的。

现代显像管的电子光学原理 图 1-2 是典型电视接收管的简化电子光学原理图。热阴极是电子源。阴极和加速发射电子并

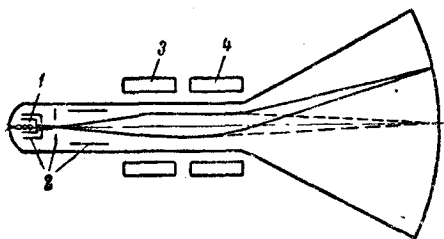


图 1-2 接收管原理图

1—阴极；2—发射系统的电极；3—聚焦线圈；4—偏转系统。

其会聚成束的轴对称电极系统，组成电子枪的发射系统（有时将其简称为电子枪，但在更多场合下电子枪是指发射系统和聚焦系统的组合件）。改变发射系统中一个电极的电位就可调节电子束电流。该电极叫做调制极。

在发射系统中所形成的发散的电子束应在屏幕上聚焦，即会聚成尽可能小的斑点。为此，应用所谓聚焦系统，它分为两类：借助于通电线圈或永久磁铁的磁场实现聚焦的磁聚焦系统，和借助于电极系统的电场实现聚焦的电聚焦系统。

电子束经聚焦系统后进入产生扫描的偏转系统。在电视中，几乎总是采用两个方向互相垂直的扫描——帧扫描和行扫描。屏幕上有电子束打上的地方所产生的光点形成矩形的光栅。在绝大多数情况中都采用磁偏转。按行扫描和帧扫描频率变化的“横向”偏转磁场，由套在管颈上的偏转线圈产生。

对典型黑白电视接收管的电子光学元件的要求 按照用途，接收管可分为两种主要类型——直观管与投射管。

直观管用来在荧光屏上直接观看电视图像。近年来，在电视工业中有增加接收机屏幕尺寸的趋势。屏幕尺寸的增加主要是依靠增加电子束的偏转角。一般这个角为 70° 左右，但在某些型式的管子中可达 90° ，有的甚至达 110° 。

为了在采用大偏转角的同时，在屏幕的整个工作面上，保持足够均匀的聚焦，且不增加光栅几何畸变以及节省扫描功率，就要求改善偏转系统和发射系统。

小尺寸的直观管并没有失去价值。例如，在便携式工业电视接收机中和在摄像机的电子寻像器中就要使用这种管子。这类管子由于屏幕尺寸小，所以对聚焦质量和光点尺寸的要求提高了。

在大房间中放电视节目时，直观管屏幕上的电视图像尺寸可能不够大。为了进一步增大电视屏幕，采用光学投射是比较好的方法。电视图像先在接收管的荧光屏上形成，再用光学系统将该

图像投到一特制的屏幕上以供观看。这样使用的接收管叫投射管。投射管不只用于电视剧院的大屏幕系统中，还用于屏幕尺寸可与大型直观接收管相比的家用投射式接收机中。在图 1-3 上简略地表示出投射式接收机的管子与光学反射镜-透镜系统的安置情况。

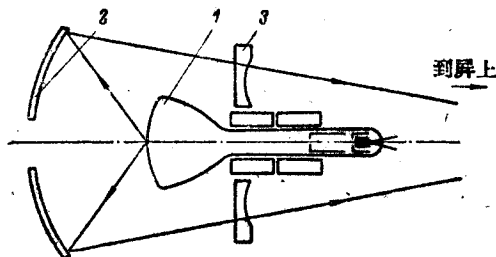


图 1-3 投射系统

1—显像管；2—反射镜；3—校正透镜。

为了可以应用大相对孔径的光学系统，投射管应具有较小的尺寸。例如，在悬臂式投射接收机中所用管子的屏幕直径约为 65 毫米。

投射管屏幕的发光亮度应该比尺寸类同的直观管大得多。我们知道，发光亮度是随电子束电流密度和阳极电压的增加而增加的。对于投射管要选择较高的阳极电压。在具有小尺寸显像管的悬臂式接收机中，阳极电压为 20~25 千伏，而在“大屏幕”系统的投射式接收机中则达 50~60 千伏。考虑到技术上的困难和使用上的安全，进一步提高阳极电压是受到限制的。因此，为了提高投射管的发光亮度，必须提高电子束电流使之比同样大小的直观管的电子束电流高一个数量级。

过分地增加电子束电流，一般会导致屏幕上光点尺寸的增加。另一方面，由于投射管的尺寸比较小，所以应该力求减小屏幕上的光点尺寸。对投射管提出的要求是相互矛盾的，这使得在设计 and 制造投射管的电子光学元件时必然会碰到一些困难。

显然，只调制外部独立光源所产生的光流而本身不产生光

流的电子束装置是最有前途的投射到大屏幕上的电视系统。在文献3中描述的埃多弗尔(Эддофор)投射系统就是这类系统之一。对埃多弗尔系统电子光学元件的要求与对具有高清晰度的显像管的电子光学元件所提的要求,在本质上没有什么区别。

正确地傳送灰度是对所有接收管的共同要求。为此,要专门地选择调制特性曲线的形状。所谓调制特性即电子束电流和调制电压之间的关系。在画调制特性曲线时,调制电压以截止电压为起点。截止电压的定义是屏幕上电流为零时调制极上的电压值(调制极的电压相对阴极是负的)。调制特性也决定了应加到管子上的信号幅度范围。调制特性曲线的形状与发射系统电极的外形和位置有很大关系。对调制特性的要求在很大程度上影响了发射系统结构的选择。

电视技术的迫切任务之一是提高图像的清晰度。解决这个问题直接与改善接收管电子光学元件有关。

有关接收管的结构、制造工艺、使用参数和特性曲线的资料可在许多书籍和综述性文章中找到(尤其是可看文献1,4,5和6)。

彩色电视接收管电子光学元件的特点 彩色电视接收管可分为两类——颜色依次复合的彩色电视接收管和颜色同时复合的彩色电视接收管^①。

用机械轮换颜色的场依次复合系统的接收管的电子光学元件,实质上与黑白电视接收管中的电子光学元件无多大区别[文献7]。红色、绿色和蓝色的信号依次地加到电子枪的调制极上。在屏幕前放有一块由红色、绿色和蓝色的滤色片组成的圆盘,它与场的依次同步同相地旋转。在一帧的时间中傳送完全部颜色的场。荧光物的余辉时间要相应地减少,由于每一种颜色的场的时间仅

① 这样的区分是不严格的,颜色同时复合系统的管子一般地也可应用在依次复合系统中。

为黑白电视一帧时间的三分之一。同时光在滤色片中被大量吸收，因此必须大大增加管子屏幕上的亮度，也就是增加阳极电压和束流。

这类管的屏幕尺寸由于应用了滤色片，旋转圆盘（或圆筒）受到很大的限制。这样一来，机械换色的场依次复合系统的接收管与黑白电视的投射管相接近，对其电子光学元件的要求也类似。

用电子换色的接收管在电视中获得了广泛的应用。这类管子之一就是著名的聚焦栅管 [文献 8 和 9]，其原理图示于图 1-4。聚焦栅管的屏幕由发红光、绿光和蓝光的荧光物窄带轮流地排列组成。三条相邻带的宽度等于电视分解像素的宽度。在屏幕前放一平面栅网，栅丝为平行于荧光物带的细金属丝。每一红或蓝荧光物带前相应有一栅丝^①。隔着一根的各根金属丝彼此间联起来——奇数的与奇数联；偶数的与偶数联。在传送某一场（例如绿色的）时，在两组丝上加以同样的，并且比金属化屏幕的电位略低的电位（电位是从取为零电位的阴极算起）。

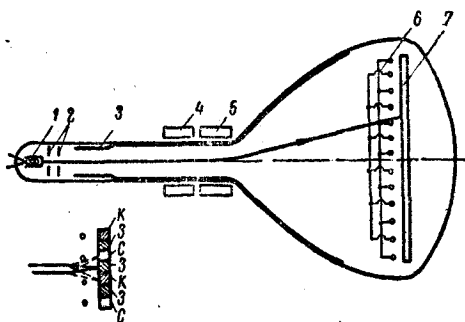


图 1-4 聚焦栅管

1—阴极；2—发射系统电极；3—第一阳极；4—聚焦栅网；

5—偏转系统；6—栅；7—屏幕。

选择荧光物带和金属丝的排列以及电位的分布，使得在栅网和屏幕间的加速场作用下，电子束落到对应于发绿光的荧光物带

① 按原文直译应为“按一行的电视分解像素数选择栅丝数”，不够确切。——译者

上。在傳送其它場(紅的或藍的)時,在一組金屬絲上加上較高的電位,而在另一組金屬絲上加上較低的電位(均是與在傳送綠色場時絲上的電位相比)。這時,電子束在經過兩相鄰金屬絲之間的縫隙時便受到金屬絲系統電場的附加偏轉作用,而落到對應的發紅光或發藍光的熒光物帶上了。

聚焦柵管與普通黑白電視接收管的不同不只在於前者的屏幕是綫狀結構,並應用了彩色熒光物,還在於柵網和屏幕所組成的電子光學系統。該電子光學系統的作用是:為了區分顏色,使電子束產生附加偏轉(所謂後偏轉);為了使屏幕上光點變長,使電子束產生附加聚焦(所謂後聚焦),以及使柵網與屏幕間電子束產生附加加速(所謂後加速)。

柵網平面上的平均電位比屏幕電位低很多。因此,增加了後偏轉系統的靈敏度和減少了掃描發生器所需的功率(因為在保持陰極和屏幕間必須有的足夠大的電位差的情況下,這樣做可減小偏轉區的電子能量)。此外,還在金屬絲間產生附加的會聚場,它使打到絲上的電子流減少,從而使大部分電子束都被利用了。

目前正對同時複合彩色電視系統의 電視接收管進行大力的研究。

這類接收管中的一種是,應用彩色圖像的光學混合原理。三個基色分量的訊號加到三個接收管的調制極上。借助於半透明的反射鏡將圖像在光學上混合起來。

為了再現彩色分量可用屏幕的熒光物是發紅光、綠光或藍光的接收管,或者利用屏幕是發白光的管子加上濾色片。若用半透明分色鏡做濾色片可同時起到濾色及將三圖像在光學上混合的作用。

為了偏轉系統引入的幾何畸變應尽可能地小。對這類設備中接收管的電子光學元件的特殊要求是保證在三個屏幕上光柵完全相同。

应用最多的是遮影幕管[文献10]。第一批彩色电视接收机用的就是这种管子。遮影幕管的原理图见图1-5。管子屏幕是点式结构。每三个荧光物点(各发红光、绿光、蓝光)形成一组,它相当于一个电视分解像素。屏幕前置有一遮影幕,幕上的孔数就是分解像素数,即每一孔对着一组点。管子中有三个电子枪,三基色分量讯号分别地加到这三电子枪的调制极上。借电子光学元件使三束的轴在遮影幕上交于一点。选择电子枪、遮影幕上孔和屏幕上荧光点的位置,使受某一基色分量讯号调制的电子束在无论经过那一个孔时都只能打到发相应色光的点上。

在制造遮影幕式接收管时必须克服工艺上和电子光学上的巨大困难。管中的电子光学元件应该保证在大角度的偏转条件下,使三根不同的束同时会聚在遮影幕的表面上。

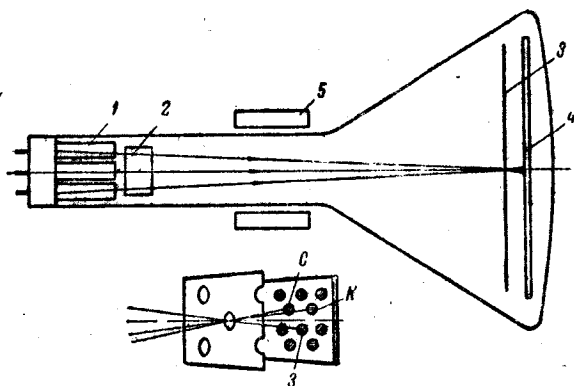


图1-5 遮影幕式彩色电视接收管

1—电子枪; 2—会聚极; 3—遮影幕; 4—屏幕; 5—偏转系统。

此外,还提出过一些别的彩色接收管结构,就是将遮影幕管的某些特点(屏是点式结构和具有遮影幕)和聚焦栅管的某些特点(有“后加速”和“后聚焦”)结合起来。若加到导电的遮影幕上的电位远低于金属化屏幕的电位(均是相对于阴极而言),则上述的结合便能实现[文献11]。这时,在遮影幕的小孔处电子束受到那

几产生的电场的附加会聚作用。因此，可减少遮影幕对电子的吸收(在普通的遮影幕式管子中吸收可达80%)，并可利用后加速的优点。

彩色接收管还有一些其它变形。其中之一是，屏为线式结构并具有区分颜色的栅网的彩色显像管，它与聚焦栅管的不同在于它的电子枪轴线是倾斜的[文献12]。屏幕为线式结构，但没有区分颜色的栅网，其区分颜色不是用电子光学的方法而是用电子线路的方法，它是靠在屏幕上建立讯号带，讯号带用来得到校正扫描非线性的，“按像素”同步的讯号[文献13]。单束遮影幕式管，具有一“旋转束”，因此电子束能依次地去占有普通遮影幕管中三束的位置，并依次地受三个颜色场讯号的调制[文献14]。

具有三个电子枪的聚焦栅管的变态可作为同时复合系统的彩色接收管。在这种情况下栅网的所有导线都加上同一电位。选择该电位以及导线和荧光物带的位置，使得在任意偏转的情况下，三根束中任一束都只打到发相应颜色光的带上[文献15]。

彩色电视接收管在文献16和17也有研究。

§1-3 发送管

析像器 还在1908年，凯姆普别尔·斯文统(Кемпбелл Свинтон)就提出了利用电子电视发送设备的建议。然而，经过了20多年后，电子的发送管才开始有效地将机械的发送器由电视技术中排挤出去。

法尔斯沃斯(P. Farnsworth)析像器是第一批有实际意义的发送管之一[文献18]。它的结构示于图1-6上。将被发送物的光学图像成像于光阴极上。光阴极每处所发射的电子流密度正比于该处的照度。在电场的作用下光电子飞向阳极。套在管颈上的线圈的磁场将电子图像聚焦在阳极平面上，使由光阴极一点上发出的光电子——每一单元束——在阳极面上又重新聚成一点。阳