

电 子 束 管

下 册

成 电

内 部 教 材

北京科学教育出版社

1961年7月



电子束管 (下册)

*

出版者 北京科学教育出版社出版

印刷者 中国人民解放军535工厂

787×1092 毫米 $\frac{1}{16}$ 印张 $8\frac{3}{8}$

1961年8月第一版

定价: 1.03 元

目 录

第十章 变象管

§ 10-1 图象变换的一般原理	3
§ 10-2 对变象管的要求	5
§ 10-3 变象管的光电阴极	5
§ 10-4 变象管的电子光学系统	7
§ 10-5 变象管的屏	11

第十一章 电视发送管

§ 11-1 电视发送管的一般原理	12
§ 11-2 电荷储积效应	14
§ 11-3 电视发送管的分类	15
§ 11-4 储积电荷的电视发送管	16
§ 11-5 光电象管(概述及原理)	19
§ 11-6 光电象管(结构及特性)	22
§ 11-7 提高储积电荷管灵敏度的方法	25
§ 11-8 正析象管	26
§ 11-9 移象式光电象管(超光电象管)	32
§ 11-10 移象式正析象管(超正析象管)	38
§ 11-11 视象管	45
§ 11-12 其它形式的电视发送管	47

第十二章 储存管(“记忆管”)

§ 12-1 储存管的定义及工作原理	50
§ 12-2 记录与阅读的方法	50
§ 12-3 储存管的分类	54
§ 12-4 将电信号变为电信号的储存管	55
§ 12-5 将电信号变为可见图象的储存管	65

电子束管补充部分

I 研究电场和磁场的实验方法和求作电子轨迹。

1. 研究电场的实验方法。
 - a. 电解槽法。
 - b. 灼热探针法。
 - c. 橡皮膜法。
2. 研究磁场的实验方法。

- 152902
3-10017
- a. 冲击电流計法。
 - δ. 旋轉綫圈法。
 - e. 基于霍尔效应的方法。
3. 研究具有空間电荷的电場的原理。
 4. 描繪电子軌迹的方法。
 - a. 图解分析法求作电場中的电子軌迹。
 - δ. 橡皮膜法求电子在电場中的軌迹。
 - e. 图解分析法求作电子在磁場中的軌迹。

II 电子束管电子光学系統內的象差。

1. 获得高斯(无几何象差的)图象的条件。
2. 靜电聚焦系統的几何象差。
3. 磁聚焦系統的几何象差。
4. 由于聚焦場軸对称性破坏而引起的象差。
5. 偏轉系統的象差。
6. 色差。

III 寬电子束聚焦的特点。

1. 在寬电子束聚焦中發生的問題。
2. 用靜电場聚焦寬电子束。
3. 用磁場聚焦寬电子束。

IV 电子槍的設計。

1. 对电子束管电子槍提出的要求。
2. 电子槍結構的选擇。
3. 电子槍的計算。
4. 电子槍的結構元件。

V 电子束管的測試。

1. 測試的作用及分类。
2. 机械測試。
3. 气候測試。
4. 电气測試。
5. 光学測試。
6. 測試設備。

VI 电子束管的發展方向。

文献目录

中外人名对照表

第十章 变 象 管

§ 10.1 圖象变换的一般原理

变象管是这样一种管子，它可以把一个频段（一般是不可見光）的图象变为（“轉移”到）另一频段（可見光）的图象。

所有的变象管都是建立在同一原理上的——图象要通过二次变换：先把光学图象变为电子图象，而后又把电子图象变为光学图象。把光学图象变为电子图象这项工作可以采用光电阴极来完成，后者对于該变象管工作的频段应该具有足够高的灵敏度。把电子图象变为光学图象这项工作可以用荧光屏来完成，屏幕上所塗的荧光粉应能有效地将电子动能变成为可見光譜的輻射。

經過两次变换以后，不但可以把图象从一个频段“轉移”到另一频段，而且亮度也能大大提高。固然，光电阴极与荧光屏的效率都远小于1，但若在光电阴极与屏間采用电场来加速电子，則不但能完全抵消光电阴极上和屏幕上的能量損耗，而且还可以使亮度显著增加。

通过简单的計算就能得知，当光电阴极上的照度大于若干时，在变象管的屏上才能看到图象。假定光电阴极发射出来的电子全部都达到屏上。以 S_ϕ 表示光电阴极面积， S_s 表示屏面积， u_a 表示加速电压， K_ϕ [微安/流明] 表示光电阴极灵敏度， η [烛光/瓦特] 表示屏的发光效率。我們就可以求出屏的亮度 B 与光电阴极上的照度 ε 之間的关系。光电阴极发射的光电流等于：

$$I_\phi = K_\phi \Phi = K_\phi S_\phi \varepsilon \quad (10-1)$$

当加速电压为 u_a 时，电子帶給屏的功率为：

$$P = I_\phi \cdot u_a = K_\phi S_\phi \varepsilon u_a$$

屏的亮度等于屏的发光强度除以面积，即等于：

$$B = \frac{I}{S_s} = \frac{\eta P}{S_s} = K \eta \varepsilon u_a \frac{S_\phi}{S_s} \quad (10-2)$$

在式 (10-2) 中， K 的单位是 微安/流明， η 的单位是 烛光/瓦特， ε 的单位是勒克斯， u_a 的单位是伏，如果 B 的单位是熙提，就需要引入一个折算系数： $10^{-6}/10^4 = 10^{-10}$ ，这样，屏的亮度就等于：

$$B = 10^{-10} K \eta \varepsilon u_a \frac{S_\phi}{S_s} \quad (\text{熙提}) \quad (10-3)$$

由式 (10-3) 就可以估算出光电阴极上至少需要若干照度才能看到屏幕发光。灵敏的眼睛能够在全黑的底面上，分辨出亮度約为一个毫微熙提 (10^{-9} 熙提) 的亮度。对于在透光状态下工作的光电阴极来讲，灵敏度不超过 20 微安/流明。若荧光粉的发光效率以 5 烛光/瓦特計算，則当 $u_a = 10$ 千伏时，要使屏上亮度为 10^{-9} 熙提，光电阴极上的照度应该等于：

$$\varepsilon = \frac{B \times 10^{10}}{K \eta u_a} \cdot \frac{S_s}{S_\phi} = \frac{10^{-9} \times 10^{10}}{20 \times 5 \times 10^4} = 10^{-5} \quad \text{勒克斯}$$

这就是光电阴极所需的最小照度。但实际上我们感兴趣的是物体上的最小照度，物体上的最小照度与光电阴极上的最小照度可能并不相同。图象的照度等于：

$$\varepsilon = \pi B \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (10-4)$$

这里 B 是物体的亮度， θ 是物镜的孔径角。如果物体表面是理想的散射面，则数值 πB 就是物体表面上的照度（单位为勒克斯）。对最强的物镜来讲，孔径角 θ 为 90° ，则 $\sin^2 \frac{\theta}{2} \approx 0.5$ ，当 $\varepsilon = 10^{-5}$ 勒克斯时，物体上的最小照度：

$$\pi B = \frac{\varepsilon}{\sin^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{10^{-5}}{0.5} = 2 \times 10^{-5} \text{ 勒克斯}$$

实际上所需的物体最小照度要比这个计算值大，因为在实际条件下，当光电阴极没有受光时，由于光电阴极暗电流的作用，屏面也将略略发光。此外，当加速电压高时，光电阴极上往往会产生场致发射，发射量虽然不大，但已经可能在屏上引起微弱的发光。当然，在这种情况下，为了分辨图象，所需的最小亮度就必须高于 10^{-9} 熙提，相应地，就要求被观测的物体具有更高的照度了。

图象变换的效率可用光放大系数 α 来表示， α 决定于屏的亮度对光电阴极照度之比：

$$\alpha = \frac{B}{\varepsilon} = K \eta u_a \frac{S_p}{S_s} \times 10^{-10} \quad (10-5)$$

对实际计算来讲，更方便的是用无量纲的放大系数。因为 1 熙提 = 1 烛光/厘米²，1 烛光产生的光通量为 4π 流明，1 勒克斯 = 1 流明/米²，故无量纲的放大系数为：

$$\alpha' = \alpha \times 4\pi \times 10^4 = K \eta u_a \frac{S_p}{S_s} \times 10^{-10} \times 4\pi \times 10^4$$

$$\text{或} \quad \alpha' = 1.26 \times 10^{-5} K \eta u_a \frac{S_p}{S_s} \quad (10-6)$$

由此可见，光放大系数与光电阴极灵敏度成正比，与荧光屏发光效率成正比，与加速电压成正比。屏的面积增大，反而会减小光放大系数。实际上， u_a 对 α 的关系是非线性的，

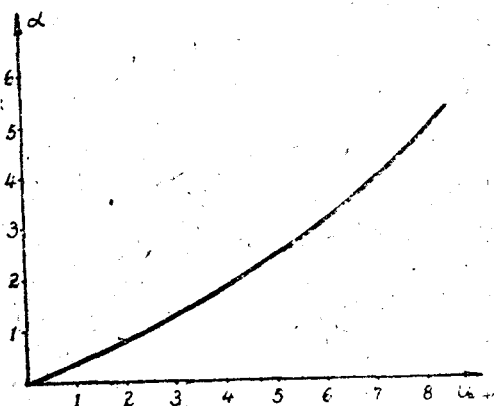


图 10-1

因为 $r=f(u_a)$ ，在加速电压增加时，发光效率也跟着增加，所以光放大系数将增加得更快些。图 10-1 表示最简单的变象管的 α 与 u_a 的关系，在这种变象管里， $S_p=S_s$ ，采用银氧铯光电阴极和硅酸盐的屏。

§ 10.2 对变象管的要求

按照上述的一般原理，可以提出现代变象管所应该满足的一般要求。

首先，为了有效地变换图象，要求光放大系数 α 足够大，而且要在加速电压不太高时，得到相当大的 α 值。

第二，变象管的灵敏度要足够高。亦即，要在尽可能小的照度之下，能够观察物体。

第三，变象管的分辨能力应该足够高，使之能够分辨图象的细节。

第四，变象管的电子光学系统的像差应该尽可能小，即在屏上的图象不应该有几何失真，不论在整个屏面，或在屏的个别部分，都不应该有不清楚的地方。

最后，变象管应该足够经济，工作时消耗的电能要尽可能的小。

第一个要求是很容易了解的，无论将变象管用于观察照度极弱的物体或用于观察不可见光的射线（如红外线），它们的强度通常总是很小的， α 较大时，就可把光强放大若干倍，这在很多情况下是必要的。

第二个要求是与第一个要求直接联系着的，因为如果放大系数大，就能从照度弱的物体得到足够亮的图象。假如在光电阴极没有受光时，由于显著的暗电流和场致发射而使屏面发光，此时，即使放大系数很大，灵敏度仍然是很低的。

分辨能力应该足够高，这是因为在变象管内，不仅应该能够看到图象，而且应该能够测量出图象上各点间的距离。因此，图象上各部分的轮廓应该足够鲜明，细节应能分辨清楚。

要求光学系统的质量高这一点也是显然的，因为只有在图象没有几何失真而且非常清晰的情况下变象管才能正常工作。

最后一个要求具有特别重要的意义，因为变象管实际上总是用在移动设备上，而且常常是装在单人携带的设备中用来观察辐射不可见光的物体。这时，变象管本身应该尽可能的小巧，能量损耗应该尽可能小，使得供电电源足够轻便。

上述的所有要求都是相当高的，只有在变象管内各个元件的质量都很高时，才能满足这些要求。

现代的变象管包括三个主要组成部分——光电阴极、电子光学系统和荧光屏。按照对变象管的总要求，可以分别选择和设计变象管的各个零件，或者全面地设计整个变象管，使其能在足够的程度上，满足现代科学技术水平的要求。

§ 10.3 变象管的光电阴极

变象管的光电阴极的性能决定如下的参量：其一是该变象管敏感的光谱范围，另一个是全管的灵敏度。此外，光放大系数也和光电阴极的灵敏度成正比。

因此，选择变象管的光电阴极时，应该选择灵敏的复合光电阴极。至于光电阴极的频谱特性要根据它的用途来选择，是用来将图象从一个频段移到另一频段，还是用来放大可见光的图象的亮度。此外，应当使荧光粉的光谱特性与光电阴极的光谱特性相配合，使得荧光粉辐射最强的波长尽可能远离光电阴极最为敏感的光波波长。这样，就可以减弱光反馈作用。

通常，变象管的光电阴极是在“透光”状态下工作的，也就是说光线是从光敏层的反面照射过来的。通常，半透明的（在透光状态下工作的）光电阴极的积分灵敏度，较之涂在密实的、不透明底层上的光电阴极低。但在一定的激活条件下，可以得到灵敏度大于 30 微安/流明的半透明阴极，银氧铯阴极和镱铯阴极。

用于红外线的变象管，宜用银氧铯光电阴极。这种光电阴极光谱特性最大值约在 $8000\text{\AA}$ 左右，即使对于波长较长的红外线（ 10000 至 $11000\text{\AA}$ ）也还相当灵敏。这种光电阴极是在半透明的银膜底层上做成的。制造变象管的光电阴极时，首先在管壳内表面涂复银膜。最好采用真空蒸银的方法。蒸发法较之化学涂银法有很多优点。第一，在真空中蒸发时，检查银膜厚度比较容易。为此，可以测量薄膜吸收光线的程度，或者直接透过薄膜来观察明亮的光源。当半透明银膜的透明度为 40% 至 50% 时，可以得到满意的结果。如果银膜比这更薄，虽然透明度要大些，但因表面电阻太大而不能适用。变象管的光电阴极的表面电阻不宜太大，否则，当光电发射大时，沿着光电阴极表面就会产生相当大的电位差。阴极表面各点之间的电位差可能使聚焦系统的电场发生严重的畸变，从而使图像模糊不清。

涂好的银膜要在气压为 0.1 至 0.2 毫米水银柱的纯氧中进行放电而氧化。银膜氧化后，变得更加透明，但电阻则增大了。因此，氧化以后最好进行第二次蒸银（用真空蒸发法涂复薄的银层），检查银层厚度的方法是用肉眼观察，或者检查表面电阻，为此，光电阴极应有二根引出线，分别从阴极直径的两端引出。经过氧化和二次蒸银以后，银层电阻不应大于几十欧姆。

然后，用一特殊的玻璃小管在按上法制成的底膜上蒸铯。蒸铯时的温度为 180°C 至 190°C 。按照光电流的大小控制铯量，当光电流达到最大值时，就把盛铯的小管封离下来，然后，还要在上述温度下给光电阴极加热，藉以除去多余的铯。为了提高光电阴极的灵敏度，有时在光敏面上还要蒸散一层极薄的银膜，蒸散过程中需要不断检查光电发射。

用上述方法制成的光电阴极是半透明的，灵敏度足够高（达 25 微安/流明），对波长较长的红外线很灵敏，灵敏度最小值约在 $\lambda = 5000\text{\AA}$ 左右。因此，它能与硅酸盐的荧光屏很好地配合，硅酸盐辐射的最大值约在 $5200\text{\AA}$ 左右。

当变象管用于放大光强时，宜用对可见光较为灵敏的镱铯或铋银铯光电阴极。如果需要正确地保持图像中颜色不同的各个部分的相对亮度，采用这些光电阴极尤为适宜。

半透明的镱铯阴极的制备是一个很复杂的问题，这是因为在用铯激活时，薄的镱层就完全变成半导体 SbCs_3 ，它的表面电阻很大。为了减小表面电阻，曾经有人建议，在半透明的薄银膜上涂复镱层。

铋银铯光电阴极是这样制备的：在变象管的玻壳上蒸散一层半透明的薄铋层，然后，在氧气中放电使铋层氧化（铋层在此时就变得几乎透明了），继而在铋层上涂复半透明的银层，再在银层上用普通的蒸散法涂复铯层。按光电发射值来控制铯量。铋银铯光电阴极的光谱特性最大值在 $5000\text{\AA}$ 左右，即与人眼的灵敏度曲线很接近。有了银底膜，表面电阻就比较小。铋银铯光电阴极的灵敏度与镱铯光电阴极相近。

变象管的光电阴极的制备，不是一件简单的工作，因为这些光电阴极在透光状态下工作时，必须具有很高的灵敏度，电阻不能大，而且要在较大的面积上达到处处均匀。但是由于阴极附近存在着电子光学系统的元件，往往不容易得到均匀的银层与铯层，因此，就很难得到均匀的光电阴极。

§ 10.4 变象管的电子光学系统

变象管的电子光学系统的任务，是把光电阴极上的电子图像转移到屏上，并且几何失真要尽可能地小。在移象过程中，由光电阴极发出的电子应该获得足够高的能量，足以激励荧光屏，而使后者明亮地发光。

在移象过程中，图象的尺寸应该保持不变，或者略为缩小，放大尺寸是不适宜的，因为：

第一，图象的亮度与放大系数成反比 $\left(B \sim \frac{S_p}{S_c} = \frac{1}{M}\right)$ ；第二，屏面增大了，整个变象管的尺寸也就增大了，一般来讲，这是不利的；第三，要得到较大的图象，一定要用较宽的电子束，从而象差就增加了。因此，一般变象管的光学系统都使图象缩小，（对光电阴极上的图象而言）在许多静电聚焦的变象管中， $M=0.5$ 。必要时，可以把屏上的图象用光学方法来放大。

原则上讲，为了移象，可以采用各种不同的电子光学系统，从最简单的均匀电场或均匀纵向磁场，一直到复杂的静电的或磁的电子物镜，藉以减小象差。诚然，不能用单纯的磁系统，这是因为，在移象过程中，电子必须受到加速，为此，必须有加速电场。

在选择变象管的电子光学系统时，必须考虑到不利的光反馈作用，即屏幕发出的光线不应该落到光电阴极上去。因此，电子光学系统对于电子应该尽可能透明，使光电阴极发出的电子全部抵达屏幕，另一方面，电子光学系统对光线又要尽可能不透明，藉以减小光反馈。

设计变象管的光学系统的困难在于：这个系统是宽电子束的透镜，电子束离轴很远，计算时，不能应用以前对傍轴区推导出来的透镜公式。而且，由于电子束离轴很远，透镜的象差很严重，减小象差是很困难的。

由于宽电子束电子光学系统的计算困难，而且在早期对变象管的要求不高，所以在那时的变象管中都不用电子透镜。

事实上，如果变象管的光电阴极和屏是互相平行的平面，则当其间有电位差时，若不考虑边缘的畸变，则其间的电场可以认为是足够均匀的。如果光电阴极发出的光电子没有初速，而且，这个系统具有足够大的阴极和荧光屏，那么，这样的系统可以认为是理想的，完全没有象差。显然，这种系统的放大率等于1。

实际上，由于光电阴极发出的电子，其初速分布在0到 U_{0max} 之间，初速的大小依赖于光电阴极的逸出功、光量子的大小、和光电阴极的温度。通过等效电位差 u_0 来表达电子的初速，可以证明，光电阴极上的每一点映射到屏上成为一个散射圆，其半径由下式决定：

$$\gamma = \partial l \sqrt{\frac{u_0}{u_a}} \quad (10-7)$$

这里， l 是光电阴极与屏间的距离， u_a 是使电子加速的电位差。

显然，公式(10-7)确定了具有均匀静电场的变象管的分辨能力。不难看出，在实际采用的距离与加速电压下，可分辨的距离 ∂r （散射圆的直径）不能小于0.1毫米左右。

把最简单的变象管放在长磁线圈内（均匀纵向磁场内），可以将分辨能力提高约二个数量级。这样在实用上已能完全满足要求，因此，这样的系统在实用上是很适合的。

具有均匀静电场和均匀磁场的变象管虽然结构简单，而且，在一般情况下，它的亮度和分辨能力也还能令人满意，但由于一系列的缺点，实际上没有得到应用。

这种管子的缺点是：

第一，灵敏度不够高，这是由于光电阴极表面附近的电场很强。阴极附近电场强这一点，对于提高分辨能力来讲固然是必需的，但所引起的场致发射，即使没有信号输入，荧光屏也会发光。降低阳极电压是不恰当的，因为这样会降低光放大系数。并且会降低分辨能力。

第二，在光电阴极和荧光屏的边缘，电场有畸变，因此，只能运用光电阴极和荧光屏的中心部分来获得图象。

最后，最严重的缺点是光反馈作用。这一作用，在最简单的变象管中是很难避免的，这是因为：电子实际上是沿着光电阴极和荧光屏表面的法线方向作直线运动的，而且，光电阴极与屏幕之间不可能装置任何的限制膜片。

因此，在研究最简单的变象管以后，就开始设计具有静电透镜和磁透镜的，比较完善的变象管。最初企图用分析法计算变象管的静电透镜，但立即发现这个问题是很复杂的。

静电透镜的计算公式，在一般情况下，只有对于极细的（傍轴的）电子束才能得到足够准确的结果。但在变象管内，应用的是宽电子束，它们离开轴线的距离可能与透镜的焦距相比拟。因此，变象管的光学系统是大角度的系统。对于大角度的象差极小的光学系统，只能进行极其粗略的计算，而且计算所得的场，通常不能用实际的电极或实际的磁透镜极尖来建立。

因此，此后设计变象管时，只能根据所给的焦距或电子光学放大率，粗略估计近似的数据（如聚焦线圈的安匝数，或浸没透镜各电极电位的比值）。

因为希望得到尽可能大的图象亮度，或者尽可能的光放大系数，所以，在大多数的新式变象管中，比值 $S_p/S_o \geq 2$ 。当透镜的象差足够小时，限制分辨能力的，就不是透镜，而是屏上荧光粉颗粒的大小了。

计算和结构既简单，图象质量又很高的变象管，要算是利用短磁线圈作为主透镜的变象管了。对磁透镜的光学特性，已经经过充分的研究，虽然，只有对傍轴电子束才能进行准确的计算，但若把结果推广到宽电子束的话，对磁透镜来讲，要比静电透镜合理些。这是因为，磁线圈是放在变象管的管壳外面的，即使在宽电子束的情况下（光电阴极和屏的直径很大时）电子束所占的区域仍然远远小于线圈所构成的整个磁场所占的区域。

应用了磁透镜，就有可能制造出图象质量高、亮度大的变象管。当用磁透镜时，分辨能力也很高，这时，变象管屏上的散射圆半径可由下式确定：

$$\gamma = l \frac{u_o}{2u_a} \frac{M}{1+2M} \quad (10-8)$$

这里， M 是电子光学系统的放大率（接近于 $\sqrt{\frac{S_p}{S_o}}$ ）。

带透镜的变象管，还有如下二个优点：

第一，由于透镜的聚焦作用，光电阴极和屏的距离就不一定要小，甚至与此相反，当屏离开光电阴极较远时，就能够用焦距不很短的透镜；而当焦距增长时，在相同的透镜“膜孔”之下，可以得到较小的象差。当光电阴极和屏的距离增大时，就有可能提高加速电压，而不致有场致发射的危险，因为产生场致发射的主要原因不是电位差，而是光电阴极附近的电位梯度。为了减小光电阴极附近的电位梯度，也可以在光电阴极前放置一个中间加速电极。电压不必太高，只要能够将电子阴极发射的光电都有效的吸引出去就行了。提高加速电压，可以显著地改善变象管的工作性能，因为这样会提高图象亮度，并且增加光放大系数。此外，

提高加速电压，还有助于分辨能力的提高，因为光电子初速度的零散是限制电子光学器件分辨能力的因素之一，当电子的能量愈大，初速度零散的影响相对地就愈小了。

带透镜的变象管的第二个优点是：电子束在其路程中形成较小的横截面，（或称交叉点）。在电子束截面缩小的地方，可以（而且应该）放上带孔的膜片。选择膜片的直径，使其等于交叉点的直径（或比它稍大），使得一方面，从光电阴极发射的电子尽可能不致被膜片切除，另一方面，从屏幕发出的光线，又尽可能不致透过膜片。调节膜片的电位（为此，膜片应有单独的引出线），可以控制透镜的光学参数（例如放大率）。同时，由于有了膜片，可以大大减弱光反馈作用。

由实验得知：将光电阴极作成凹面，有助于图象质量的改善。将光电阴极弯成球面，曲率半径大约为透镜焦距的 1.5 倍。图 10-2 表示具有磁透镜的变象管的若干结构型式。

带有磁透镜的变象管，虽然结构比较简单，图象质量也较高，但并没有广泛地用来作为独立的管子，只是在某些类型的电视发送管中，用它作为移象元件，并用以增加图象的亮度。

限制磁变象管的应用的原因是：不经济，以及管子本身的尺寸大而笨重，尤其是当加速电压较高时，磁线圈的外廓尺寸、重量和要求的功率特别大。这是因为，如果电子能量愈大，为了得到同样的焦距所需的磁场强度就愈大。为了给磁线圈供电，要求强功率的电源，因此，实际上，在移象式变象管中，并不采用磁聚焦。

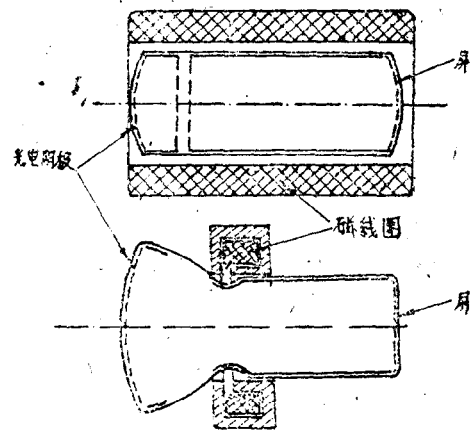


图 10-2

带静电透镜的变象管的计算和结构都比带磁透镜的变象管复杂得多。原因是：第一，构成透镜的电极放在真空内，由这些电极构成的电场区域不能做得足够大；第二，即使对傍轴电子束，静电透镜的计算也很困难，而且比磁透镜还要粗略得多。

对于由两个圆筒组成的电浸透透镜，如何减小象差这个问题，已经经过充分的研究，这种透镜可以计算得足够准确（达到实用上足够的准确度）。

事实上，第一只静电聚焦的变象管，就正是采用了这种透镜，后者由两个等径的圆筒做成，一个圆筒的末端直接与光电阴极相连，另一个圆筒的末端则与屏相连。不难看出，这种系统不可能得到广泛的应用，因为只有一个电位，不能调节透镜的焦距，而要把管子的尺寸做得非常精确，技术上的困难很多。此外，这种系统内，没有膜片。

因此，在静电聚焦的新式变象管中，一般是用三个或四个电极来组成透镜的，改变中间电极的电位，就能改变透镜的聚焦能力，得到明晰的图象。

计算多电极的静电系统时，不可能用分析法，不过，过去设计电子枪时，曾经研究了各种圆筒、膜片、和锥体的组合，因而给我们指出了设计变象管静电透镜各个元件的途径。最适用的变象管是由双透镜系统组成——在靠近光电阴极处放置较强的浸没物镜，使电子向轴线会聚。第二透镜的焦度是可调节的，放置在电子束截面缩小的区域。它是长焦距的浸透透镜，用以略为改变电子束对轴线的倾斜角。上述类型的变象管的第二透镜也有用单透镜的。

通常，为了减小几何象差，把光电阴极做成凹面形。

现在，静电聚焦变象管的电极系统种类繁多，很难说应该只采取那一种系统比较合适。通常，最后确定电极系统的结构与尺寸的方法是在电解槽内模拟，用图解分析法逐次画出电子轨迹，并计算出其光学参量。

电极形状及极间距离的选择，在一定程度上，决定于变象管的参量——如屏幕发光亮度、分辨能力、光放大系数等。而所有这些参量又与加速电压有关。因此，知道了光电阴极的灵敏度和荧光屏的发光效率，就可以按所给的光放大率来选择光学系统的参量，如放大率和加速电压。为了防止场致发射，光电阴极附近的电场强度不应大于每厘米几百伏特。

按整个管子的尺寸和放大率，可以决定透镜的焦距，然后应用按浸没透镜所得的计算数据，近似地估计透镜各电极的电位比值。此后，在电解槽中模拟这个电子光学系统，画出电子轨迹，修正电极系统的结构和各极的电压值，直到获得所需的光学参量，以及尽可能小的象差为止，这样才最后确定了电子光学系统的结构和各极电压值。图10-3列出了静电聚焦变象管的电子光学系统的若干范例。

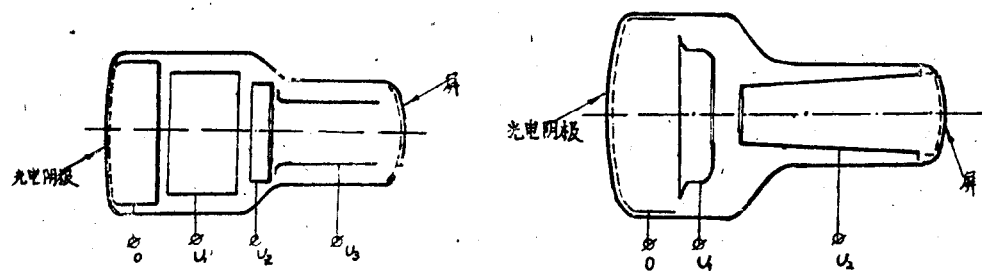


图 10-3

变象管的电子光学系统元件（电极）的形状一般都比较简单——如圆筒形或圆锥形。因为形状比较复杂的电极难于达到所需的精确度。必须注意，电极系统的轴对称性，如果稍有破坏，即使极其轻微，也足以引起图象的严重失真。

光电阴极的导电面和荧光屏也是电子光学系统的元件之一，因为它们同样参与构成透镜电场的作用。因此，变象管的光学系统可以看成成为二个透镜，第一透镜是在光电阴极（或与光电阴极毗连的短圆筒）和第一加速极间形成。第一加速电极可以做成圆筒形或圆台形，宽大的锥底向着光电阴极。第二透镜在第一加速极与第二加速极间形成，第二加速极是圆筒形或圆台形，锥底向着荧光屏。第二加速电极的电位一般与屏电位相同，这就是说，全部加速电压都加在第二加速极上。

在某些类型的变象管中，加速电压分成三级、四级或五级，光学系统就有相应数目的电极，每个电极都有单独的引出线，只要调节某几个中间电极的电压，就可以比较方便的变化透镜的光学特性，来调整整个光学系统。但实用上，由于给中间电极供电要用附加的分压器，运用上比较复杂。

由于将加速电压分成了几级，就可以减低光电阴极表面的电位梯度，从而容许将加速电压升高到 15 至 20 千伏。在这样的加速电压数值下，光放大系数可以达到 10，图象亮度很高，对比性也很好。但如继续提高加速电压，电子光学系统中的某些电极就有产生场致发射

的危險，这是因为，为了在高的加速电压下得到較短的焦距，就要求有較大的局部电位梯度。

靜电聚焦变象管的电极，一般用鎳制造，这是因为，鎳最容易加工和焊接，而且又是很好的真空材料。电极的制造，一般采用冲压法，用厚度为0.2至0.25毫米的鎳片制成。对于直徑較大的电极，有时宜用厚度达0.5毫米的鎳片制造，藉以保証系統的牢固性。在各个电极上焊接支架，以便与陶瓷杆或玻璃杆固定。

光学系統的装架，一般都采用夹具，把电极牢固地夹持在所需的位置上。装架的精确度要求很高，对于直徑为几个厘米的电极，各个电极之間軸綫的偏差不应超过0.1毫米。

装配好的光学系統，藉彈簧片与管壳对中心，这些彈簧片焊在光学系統中的某一个电极上，或者固定在陶瓷杆上。

在进行电子光学系統的装架时，必須注意到：电极或支架边缘不能有凸出的尖端。这是因为，不論在变象管內任何地方，即使只有輕微的場致发射，也足以使荧光屏（在沒有信号时）发出明显的亮光，从而显著地降低管子的灵敏度。

§ 10.5 变 象 管 的 屏

变象管的屏应能够足够有效地将电子动能变为可見光的輻射。因此，对变象管屏上荧光粉的基本要求是足够高的发光效率。荧光粉发光效率的大小，直接影响到变象管的重要参量——光放大系数。

荧光粉輻射的光譜特性的最大值應該在可見光譜的中間部分，这一点也是十分重要的，这是因为变象管屏上的图象，一般都是直接观察的。同时也希望荧光粉的光譜特性与光电阴极的光譜特性能够配合，亦即要求光电阴极与屏两者的光譜特性最大值尽可能相距得远，藉以减小光反饋作用。

由于一般的变象管都采用含铯的光电阴极，在制造光电阴极时要通入铯蒸汽，所以用来制备变象管屏幕的荧光粉，应对铯蒸汽有足够的化学稳定性。

化学稳定性最好的荧光粉是硅酸盐。到不久以前为止，制备变象管屏幕的主要荧光粉一直是用錳激活的正硅酸鋅。硅酸鋅完全能够滿足光譜特性最大值的相对位置的要求，能与銀氧铯光电阴极很好地配合（这种光电阴极的光譜特性最小值恰好位于黃綠色部分）。

但是，硅酸鋅的发光效率不够高。虽然直到目前为止，变象管的屏主要还是采用硅酸盐作荧光粉，但現在正在致力于研究化学稳定性高的，发光效率高的，以硫化鋅为基质的新的荧光粉。

变象管的屏在厚度和結構上都应非常均匀。因此，最常用的塗屏方法是沉淀法。

为使屏面附近的电场沒有畸变，宜在屏上塗复导电的底膜或敷鉛。敷鉛还有助于减弱光反饋作用。因此，在加速电压高于8至10千伏的变象管內通常都要敷鉛。

第十一章 电视发送管（摄像管）

§ 11.1 电视发送管的一般原理

电视发送管是电视系统中的第一个元件，它的作用是把光学图象变为连续的电脉冲。连续的电脉冲被放大以后，便由发送机的天线辐射出去。脉冲被接收机的天线所接收，并经过放大，然后被送到显象管的调制极去。脉冲的强弱决定显象管屏上各点的发光亮度，从而构成图象。

电视发送管担负着与显象管相反的任务。被传送物体的照度为某一定值时，从管子输出端能够得到的脉冲幅值的大小可以衡量电视发送管的质量。原则上讲，电视发送管可以看作光电元件，被传送图象的各个象素依次地投射到它的阴极上面。也可以这样设想，它不是一个光电元件，而是有许多个（其数目等于图象的象素数）微小的光电元件，光学图象就投射到它们上面。这样各个光电元件送出的信号应该迅速地交替换接，以得到所需的短暂连续脉冲。因此，可能有三种图象的“扫描”方式：光学图象相对于一个固定的光电元件而移动；光电元件相对于固定的图象而移动；固定的图象投射于为数极多的固定光电元件上，用电换接的方法从这许多光电元件上依次获得信号①。

上述各种扫描方式在原则上可以依藉图象的机械换接，光电元件的换接，或者快速的机械换接开关（换接器）来实现。事实上，第一个电视发送系统就是采用机械扫描的。但是随着电视标准的提高（增加象素数目），采用机械扫描就遇到愈来愈多的技术上的困难。所以现在一般都采用电扫描（更准确地说是电子扫描）。在电扫描系统中，扫描速度可以很高，因为，即使频率高达 10 至 20 兆赫，仍可认为用来扫描的电子束是无惯性的。

当然，电扫描不能用来移动光学图象或光电元件，但如预先用光电元件把光学图象变为电子图象，则这个“电子”图象就能够以所需的速度移动，经过接收元件。析象管②里实际上就采用了这个方法。

移动光电元件的系统没有得到实际应用。

在电视发送管中最常用的是用电子束对光学图象或电子图象进行扫描。但必须注意，当以电子束向投射到光敏面上的光学图象扫描时，因为光电阴极已将光学图象变为电子图象，所以受到扫描的已经不是光学图象而是电子图象。所以严格地说，若是把光学图象投射到光电阴极上，而电子束在光电阴极上扫描，在这种系统内所发生的过程也是电子扫描电子图象，而不是电子扫描光学图象。

虽然电子扫描系统的大多数特性参数都远胜于机械扫描系统，但目前后者仍被用于传送影片，不过它也正在逐渐为电子扫描所代替。

因此，无论扫描方式如何，电视发送管总是顺次作用的系统，也就是说，在每一瞬时，

①这里所说的“固定”图象是指固定的电视光栅。当然，当传送运动物体时，图象细节是沿着光栅移动的，但整个光栅（图象）仍然是固定的。

②析象管——*Duccektop*

只傳送出相应于一个象素的信号。

由于順次傳送，就要求电视发送管的灵敏度非常高，使得即使被傳送物体的照度很低时，仍能得到滿意的图象。

应用光电元件时，灵敏度的数值要受到信号噪声比的限制。所謂信号噪声比，是指在管子輸出端所得的有用信号对“噪声”信号的比值。产生噪声的原因很多，如散弹效应，暗电流，电视发送管接收元件表面上的电荷起伏等。噪声的绝对最小值决定于光电流起伏的统计数值。

噪声电流的均方值可用熟知的公式計算：

$$\overline{i_{uy\mu}^2} = 2ei_{\phi}f \quad (\text{安}) \quad (11-1)$$

这里 e 是电子电荷

i_{ϕ} 是光电流

f 是电视发送系统的頻帶寬度

現在我們来估計从被傳送图象的一个象素上所能取得的光电流。假定被傳送物体的亮度为 B (熙提)，这个物体通过光学物鏡以孔徑角 θ 投射到光电阴极上，則在光电阴极上图象照度为：

$$\varepsilon = \pi B \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (\text{勒克斯}) \quad (11-2)$$

当光电阴极面积为 S (平方厘米) 时，則落到光电阴极上的光通量为：

$$\Phi = \varepsilon S \times 10^{-4} \quad (\text{流明}) \quad (11-3)$$

当电视标准为 N 行，光栅的行数比为 3:4 时，象素数就等于：

$$n = \frac{4}{3} N^2 \quad (11-4)$$

設光电阴极的灵敏度为 K (微安/流明)，則每一象素发出的光电流为：

$$i_{\phi n} = \frac{K \pi B \sin^2 \frac{\theta}{2} S}{4/3 N^2} \times 10^{-4} \quad (\text{微安}) \quad (11-5)$$

为了得到滿意的图象，信号噪声比不得小于 10，如要图象很好，則必須使 $i_{\phi n} / \overline{i_{uy\mu}}$ 增至 30 至 50。

在晴朗的白天，照度可达 10^5 勒克斯，这时，在理想的反射面（如雪）上，亮度为：

$$B = \frac{\varepsilon}{\pi} \times 10^{-4} \cong 3 \quad \text{熙提}$$

如果光电阴极灵敏度 $K = 50$ 微安/流明（不透明光电阴极可达到这样高的灵敏度），孔徑角 $\theta = 90^\circ$ （采用优良物鏡可以得到），光电阴极的面积为 100 平方厘米（光电象管中嵌鑲板的标准尺寸），行数 $N = 500$ ，則每个象素的光电流为：

$$i_{\phi n} = \frac{50 \times 3.14 \times 3 \times 0.5 \times 100 \times 10^{-10}}{4/3 \times (500)^2} \cong 7.5 \times 10^{-12} \quad (\text{安培})$$

当頻帶寬为 5 兆赫时，噪声电流的平均值为：

$$\overline{i_{uy\mu}} = \sqrt{2ei_{\phi n}f}$$

$$= \sqrt{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 7.5 \times 10^{13} \times 5 \times 10^6}$$

$$\approx 3.5 \times 10^{-12} \quad (\text{安培})$$

由上述結果可知，即使在理想情況下，信號噪聲比也不過 2 左右。為了得到滿意的圖像，這個比值顯然是不夠的。

因此，用普通光電元件按像素逐個傳送的方法是不合適用的。所以在設計電視發送管時採用了如下幾種方法：利用圖像的电子增強作用（如變象管），和二次电子倍增作用提高靈敏度；利用所謂“電荷儲積”效應；或是二者同時採用。

在析象管中採用了电子增強作用來提高靈敏度，在光電象管①和正析象管②中利用儲积电荷效應，兼用二種效應的有超光電象管③和超正析象管④。必須指出，機械掃描的靈敏度低，而且難以提高，這是促使大力研究电子掃描電視發送管的最重要原因之一。

§ 11.2 電荷儲積效應

如前所述，順次作用的電視發送設備的靈敏度很低，這是因為相應於一個像素的單元光電陰極發出的光電流非常微弱。顯然，單純改進光電陰極（提高其靈敏度）並不能解決制提高靈敏度電視發送管的問題，因為要得到滿意的信號噪聲比，光電陰極的靈敏度至少得提高兩個數量級，這在目前是辦不到的。

以一個信道同時傳送全部像素是不可能的。但是把光學圖像連續投射到光電陰極上去則是完全可能的，這時光電流將從所有單元光電陰極上源源不斷地流出。

電荷儲積效應是這樣的：當光學圖像投射到光電陰極上時，由光電陰極連續發射出來的光電子就使電容充電。當掃描時充了電的電容就放電，從而產生連續的電脈沖。如果單元電容所儲積的電荷量正比例於落到每個單元光電陰極上去的光通量，那麼，十分顯然，電容的放電電流就準確地傳送出光電陰極上面的照度分布了。

因為在掃描电子束掠過 $n-1$ 個像素的全部時間間隔內，電容都在充電，所以當電容放電時所得的信號將比沒有儲积电荷時從每個像素上所得的信號大 n 倍。

假定投射到整個光電陰極上的光通量為 Φ ，像素數為 n ，則落到每個像素上的光通量為：

$$\Phi_n = \frac{\Phi}{n}$$

從一個像素發出的光電流為 $i_{\Phi n} = \frac{K\Phi}{n}$ 。在掃描一幀的時間 T 內，掃描电子束停留在每個

像素的時間為 $\tau = \frac{T}{n}$ 。如每個單元光電陰極都与電容量為 C 的單元電容器相連接，則在掃描电子束換接全部單元光電陰極的時間內，電容器所儲積的電荷將等於：

$$q = CU = \int_0^T i dt \quad (11-6)$$

若在傳送一幀的時間內，該像素的照度不變，則 $i = \text{常數} = i_{\Phi n}$ ，單元電容器所儲積的電

- ① 光電象管——Иконоскоп
- ② 正析象管——Ортікон
- ③ 超光電象管——Суперіконоскоп
- ④ 超正析象管——Суперортікон

荷就等于:

$$q = i_{\phi n} T = \frac{K\phi T}{n} \quad (11-7)$$

当电子束停留在一个象素上的时间内 即在 $\tau = \frac{T}{n}$ 的时间内, 电容器放电, 平均放电电流近似地等于:

$$i_n \approx \frac{q}{\tau} = \frac{K\phi T}{\tau n} = K\phi \quad (11-8)$$

与前面一样, 仍用被传送物体的亮度 B 来表达光通量, 则得到 i_n 的表达式为:

$$i_n = K\phi = SK\pi B \sin^2 \frac{\theta}{2} \times 10^{-4} \quad (11-9)$$

将所得表达式与(11-5)比较, 就可以看出每个象素的放电电流比光电流增加了 $\left(\frac{4}{3}\right) N^2$ 倍, 即:

$$i_n = \frac{4}{3} i_{\phi n} N^2 = n i_{\phi n}$$

这时被物体最低照度所决定的灵敏度的数值 (在此照度下能使信号比噪声信号大10倍) 可以增加 n 倍以上, 这是因为电容充电时, 在扫描周期内, 光电流向减少和增加两个方向的偶然波动 (起伏) 的几率是相等的。故在一般情况下, 放电电流的起伏要比光电流的起伏小些。

因此, 可以得出如下结论: 从理论上讲, 当利用了储积电荷效应后, 电视发送系统的灵敏度至少能提高 $\frac{4}{3} N^2$ 倍, (N 是扫描行数)

应用电荷储积电荷效应, 可以设计出高灵敏度的电视发送管, 这种管子在物体照度很低——100至200勒克斯的数量级 (物体的亮度为几个毫熙提) 时, 信号噪声比仍大于10。当兼用电荷储积电荷效应和图象的电子增强作用时, 电视发送系统的灵敏度还可增加若干倍。现在, 在应用了储积电荷效应和电子增强作用的管子内, 当光电阴极的照度小于1勒克斯, 即相应于被传送物体的亮度不大于0.1毫熙提时, 已可得到优质的图象。

§ 11.3 电视发送管的分类

现在已经制成了大量的各种不同的电视发送管, 其中有些管子在原理上迥然不同, 有些则仅在结构上有所差异。

目前, 电视发送管虽然还没有一个统一的分类标准, 但根据其工作特点, 仍可将多种多样的管子分成若干类。

首先, 电视发送管可分为利用电荷储积电荷效应的和没有利用电荷储积电荷效应的两种。现在, 没有利用电荷储积电荷效应的只有析象管——这是一种没有电荷储积电荷, 而有图象的电子增强作用 (如变象管中所用的“移象”法) 和二次电子倍增器的管子。由于应用了移象法和二次电子倍增作用, 这种管子的灵敏度就相当高, 足以很好的传送明亮的物体。目前, 析象管有时还用来传送电影, 其他没有电荷储积电荷效应的管子实际上已经不再采用, 仅仅留下其历史上的价