

# 特 种 技 术

中国科学院  
电子学研究所

463

## 第一章 电视的物理基础

### 1. 光和光的特性

发送电视的时候是把要发送的物体的光的特性变成为电的振荡。接收就正好翻回来。从电的振荡中恢复光的特性。所以要研究电视，首先便应该研究光的基本性质和电视物体的光的特性。

从本性上说，光是电磁波的辐射。波长在 $0.40 \sim 0.76$ 微米之间。（1微米 $= 10^{-3}$  mm）。在这个频带内的电磁辐射，人眼是能够感觉到的。

光与其他电磁波相同，含有相当的能量。因为光的波长并不相等。所以给人们眼睛的刺激也就不同。造成的影响也不同。故不同的辐射频带部分，“可见度”也是不同的。图1.1为光谱相对可见度曲线，最大可见度在频带的黄绿部分，相应的波长是0.55微米

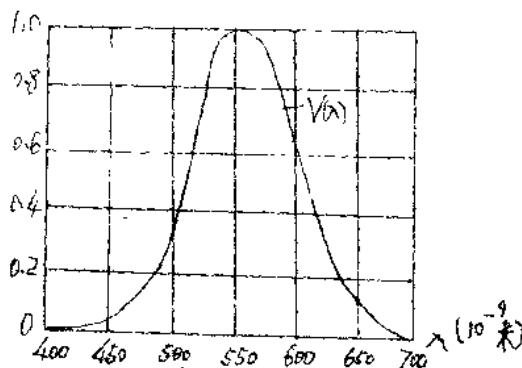


图1.1 人眼的分光敏感度  
(可见度曲线)

光源电磁辐射频带的展宽是很大的，远远超过可见光谱的频带。故光的发射或光源效率是相当低的（光源效率即可见光的能量对全部发射能量的比值）。

光学测量基础中有一个概念为光通量（ $\Phi$ ），这是人眼可见的辐射能的能流。

光通量的单位为流明（lm）

光的强度（ $I$ ）——这是光线辐射立体角内光通量的密度。即

$$I = \frac{\Delta F}{\Delta \omega} \quad (1.1)$$

式中 $\Delta F$ 为立体角 $\Delta \omega$ 内辐射的光通量。光的强度的测量单位为烛光 (Cg)，如果在一单位立体角内，光源所发出的光通量为一个流明，则光在此一方向内的强度为一烛光。

如果光源是一个小点，则其光通量 $F$ 将均匀地传播于周围全部空间。应的立体角即为 $4\pi$ 。由此，根据(1.1)式，便可找出点光源的光通量、光的强度之间的关系，即

$$I = \frac{F}{4\pi} \quad (1.2)$$

如果光源是一个二面，则其光的强度并不是均匀地发向于周围的空間。在这种情况下，大多数的发光面都服从于朗伯定律，朗伯为光的强度计算提出了下面一个公式，即：

$$I = \frac{F}{\pi} \cos \alpha \quad (1.3)$$

式中 $F$ 为发光表面发出全部光通量， $\alpha$ 为辐射方向与表面法线之间的夹角。

图 1.2 为此种光源光度的空间分布图，该图系依据 1.3 式所绘成。

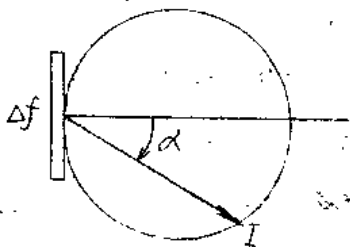


图 1.2 发光平面光的  
强度的空间分布图

照度 ( $E$ )——这是被照射面上的光通量的  
密度。

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (1.4)$$

式中 $\Delta F$ 为射到照射面小面积 $\Delta S$ 上的光通量，照度单位为流克司 (ЛК) 一个流明的光通量均匀地照射到一平方公尺的面积上，所得照度即为 1 流克司。

假如有一个点光源，强度为  $I$ ，与被射物上小面积  $\Delta S$  的距离为  $r$ ，同时考虑到光通量射向小面积  $\Delta S$  的立体角为

$$\Delta \omega = \frac{\Delta S}{r^2}$$

並依据 (1.1) 及 (1.4) 式，則可得

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (1.5)$$

对于在一定方向内的可見表面來說光线的表面密度叫做这个光源的亮度 (B.)

$$B = \frac{I}{\Delta S \cos \alpha} \quad (1.6)$$

式中  $\alpha$  为被射面  $\Delta S$  的法线与辐射方向之间的角度 (图 1.2)

亮度的测量单位为毛斯 (ДМСб)。一平方公尺的表面在法线方向的光度为一个燭光时，則称其亮度为 1 毛斯，亮度的更大的单位叫做斯奇里浦 (Сб)：1 Сб = 10<sup>4</sup> ДМСб

由 (1.3) 及 (1.6) 式可得出发光面的亮度計算式，即

$$B = \frac{F}{\pi \Delta S} \quad (1.7)$$

由此可知，这种表面的亮度不受观测角的影响。

絕大部分表面，当其为光线照射时，要发生散射現象，此处散射光通量的密度的空間分布亦服从于 (1.3) 式所表示的法則 (与发光面相同)。將此种表面視作发光面，則对其亦可应用 (1.7) 式所表示的亮度概念，只不过必須注意到，此处表面 <<所发出>> 的光通量  $F$  仅为射到該表面的入射光通量  $F_1$  的一个散射部分，即：

$$F = r F_1 \quad (1.8)$$

式中  $r$  —— 反射面的散射系数



入射光通量的大小用散射面 $\Delta S$ 的照度来表示时，则可得到下式，

$$F = r E \Delta S$$

将此式代入(1.7式)，便可得出散射面的亮度与照度间的关系式

即

$$B = r \frac{E}{\pi} \quad (1.8)$$

式中亮度单位为毛斯，照度单位为流克司。

若散射面为最良好的白色表面时，则 $r = 1$ ，即

$$B = \frac{1}{\pi} E$$

这即是说，对于此种表面，用毛斯所表示的亮度小到为用流克司所表示照度的 $\pi$ 分之一，基于这个关系，白色散射面的亮度有时也用流克司来度量。能量比较均匀地分布在可见光谱中的光线，在人眼看起来便成为“白”。在相反的情况下，光线又被看成是“着了色的”，这些颜色乃是光能按波段特性的反映。最简单的是光能集中在光谱的某一波段，此时，光色便地成为通用颜色名称中的一种，如红、黄、绿、青、蓝、紫等。

实验证明，任何一种有着最复杂光谱组成的颜色，都可以利用三种颜色——红、绿、蓝——按一定比例混合而得到，在获取表示着我们周围事物任何颜色及颜色的数学特性时便广泛地利用着这一性质。

将白色光谱中的各个组成部分以不同的程度射向透明物体时透明体便呈现各种不同的颜色（专门用作通过不同部分光谱的透明片叫做滤光镜）。不透明的物体对白色光谱中的各个组成部分的吸收如果不均匀，则将呈现各种不同的颜色。

环绕于我们周围的各种物体对于人眼之所以成为“可见”，只是因为各该物体的细小组成部分有着不同的亮度和不同的颜色，物体的任何形象是物体的细小组成部分的颜色和亮度分布的仿制品。仿制得愈完善，则形象

质量愈高，与实际物体亦更相似，不过在大多数情况下，为了简化影象的获取过程，便将影象作成单色，不需要颜色的复制，只是将亮度分布状况照归保持着。这常见于照相，电影业，特别是电视中，此处颜色的传送是极为困难的。

每一个物体的本质上的光学特性均须反映于其形象中，此一最为重要的光学特性叫做反差度（ $K$ ）。反差度应理解为物体最亮部分与最暗部分之间的亮度比，即

$$K = \frac{B_{\text{max}}}{B_{\text{min}}} \quad (1.11)$$

（即：反差度 =  $\frac{\text{最大亮度}}{\text{最小亮度}}$  ..... л. η）

最常见的物体的反差度虽然有时可以达到好几千，但通常是不会超过100的。

为能对基本的光学技术单位的大小有一个大致的概念，这里举出几个例子。

光的强度  $I$  — 烛光 (с)

白熾电灯泡每一瓦特功率所发出的光度约为1烛光

照度  $E$  (л.к.)

月亮的最大照度..... 0.2 л.к.

阅读书籍的必需照度..... 50 л.к.

无太阳时露天照度..... 1000 л.к.

阳光下露天照度..... 100000 л.к.

亮度  $B$  (с.к.)

月球表面..... 0.07 с.к.

|           |          |
|-----------|----------|
| 燭火焰.....  | 0.5°C    |
| 白熾灯絲..... | 1000°C   |
| 太阳表面..... | 200000°C |
| 散射系数..... |          |

从黑色物体（如煤烟）的近于另的数值到白色物体（如石膏雪等）的近于1的数值。

## 2. 眼睛的构造和工作

现时发送电视影象的一切方法，严格说来，都不能将发送物的光色形象作連續的发送，只是人眼固有的一系列特性才保证了能得出与发送物形象相似的视觉效果，在这一系列特性中，首先必须指出的是视觉的暂留性和分辨性。

第1.3图是人眼的剖面图，被眼睛所接受的光线首先经过角膜表面的折射，再则射经水晶体（晶体形状有如一个双面凸起的镜），然后穿过透明的玻璃液而投射到网膜上，在网膜上组成被视物体的形象。

网膜是由为数众多的感光质点所组成，其中每一质点都是一个视神经的末梢，通过视神经，光的刺激得以传送到脑部。

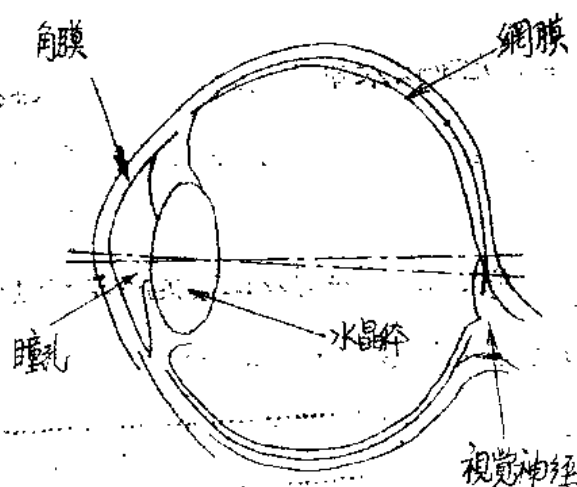


图1.3 人眼剖面图

人眼能够辨别一个单独质点的最小角度叫做眼的分辨率，并用“角分”来表示。此一角度数值的倒数叫做视觉敏锐性。

在网膜的中央部分每一感光质点单独地连接着一条视神经。离开网膜中心愈远时，每一视神经所联结的感光质点的数目便愈益增多，因此，被视物体的光线偏离网膜中心的角度增大时视觉敏锐性也就降低了，第1.4图用相对单位表示的视觉敏锐度的相应曲线从图上可以清楚地看出，人眼视力的明视角实际上仅有 $10 \sim 15^\circ$ ，大于这个角度，视觉敏锐性便急剧下降。

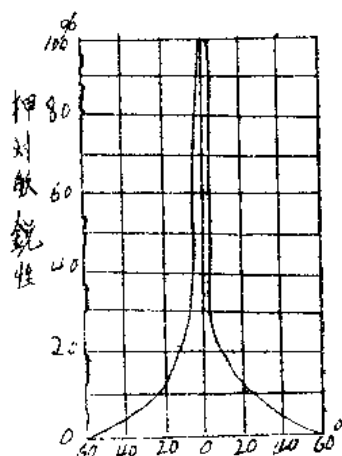


图1.4 视觉敏锐性与光线  
对网膜中心偏角的关系

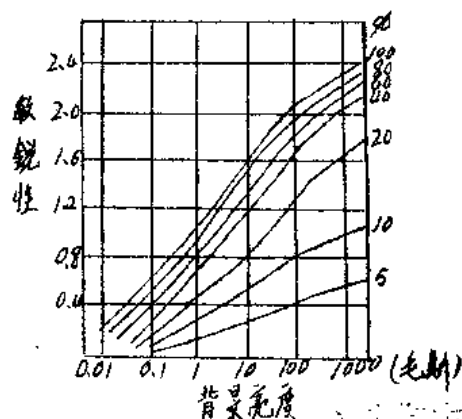


图1.5 视觉敏锐性与被视形象  
的亮度及反差度的关系。

此外，视觉敏锐性还取决于被视形象的亮度和反差度。这个关系有如第1.5图的曲线族所示。图中横坐标代表白色背景的亮度，以毛斯表示，纵坐标代表当被视形象各点间的反差度取得各种不同数值时的最大视觉敏锐性（对于网膜中心），从这些曲线可以看出，亮度与反差度增大时，视觉敏锐性亦相随升高，所绘曲线并指出，当亮度约为60毛斯时（这是影院银幕对于反差度最大的影像的亮度），视觉敏锐性乃等于2，这与0.5角分的人眼



分辨率相符合。

物体形象相邻二质点間的相对最小反差度（在这个反差度时，人眼尚別二个质点是分开的）实际上並不受质点绝对亮度的影响因此，形象反差大时，可見质点的数目亦相隨加多了。

人眼对光色刺激接受是有惰性的。强度恒定的光的刺激开始以后，（或视觉亮度）是逐渐地增长而刺激停止后，感觉亦是逐渐地减弱（见图1.6）。此处，视觉增长曲线用式子  $(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  来表示是足够准确的，而减弱曲

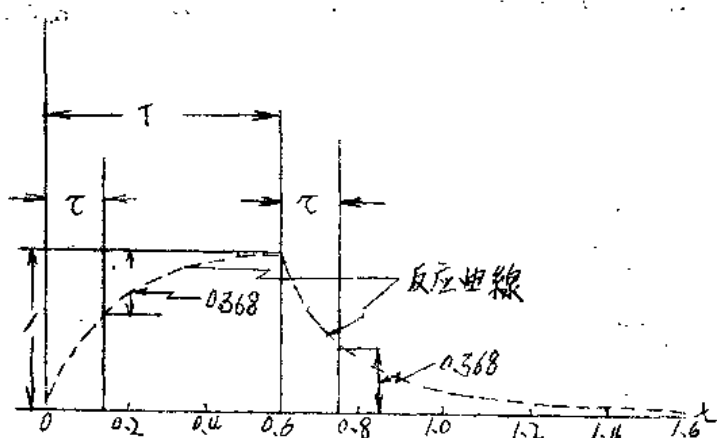


图 1.6 人眼对光线刺激脉冲的反应

表示式则为  $(e^{-\frac{T-t}{\tau}})$ 。式中  $e$ ——自然对数的底  $e = 2.718$  )  $t$ ——刺激发生后所经历的时间， $T$ ——刺激延续时间， $\tau$ ——是一个常数，有时间的因次，表示着人眼对光线刺激的反应惰性。这可与简单  $RL$  串联电路相比，电路中电流及电压的增长和减弱也是由与这相同的式子所表示，该处  $\tau$  值即为眼睛的时间常数，此处  $\tau$  值的大小指示出，在何段时间内，光线刺激与光线感觉之间的差值为离开原有数值部分的  $\frac{1}{e}$  ( $\frac{1}{e} = 0.368$ )。

若照明情况不同时，眼睛时间常数亦不完全相同，照明很强时，常数便行减小（眼睛惰性降低），在一般情况下，眼睛时间常数可视作约等于 0.1

秒。

由于这个惰性，故当被视物的亮度有足够迅速的周期性变化时，眼睛便不能反应出这种变化，而能感受的只是亮度的平均值。亮度亮度在变化一週間的算术平均值（称为物体的视在亮度），这个法则叫做谷里波定律。

物体亮度的周期性变化达到一定频率时，人眼所感受到的便不再是闪烁的刺激，而只是物体亮度的平均值。这个频率便叫做闪烁临界频率。物体的亮度（或照度）增强时，闪烁临界频率亦相随升高（图1.7的曲线便表示着这个关系）。

与彩色视觉的三色组成原理相适应，眼睛里亦有着三种类型的感光质点：其中之一，主要是对蓝色起反应，另一种——绿色，第三种——红色，各种类型质点，受刺激程度不同时，眼睛里便激起相应的颜色感觉。这说明了利用三种基本颜色按一定比例配合便可得出任意的色彩。这里所进行的只是眼内感光质点所受刺激的仿制，并不是按光谱组成而对颜色本身进行仿制。

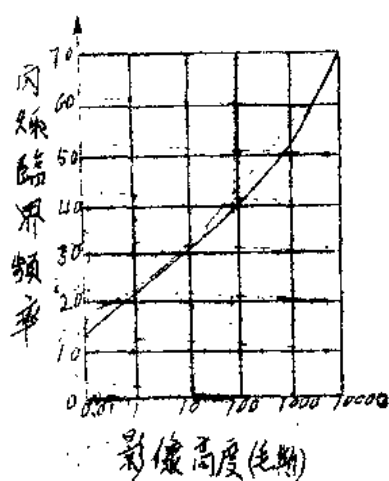


图 1.7 闪烁临界频率与影像亮度的关系

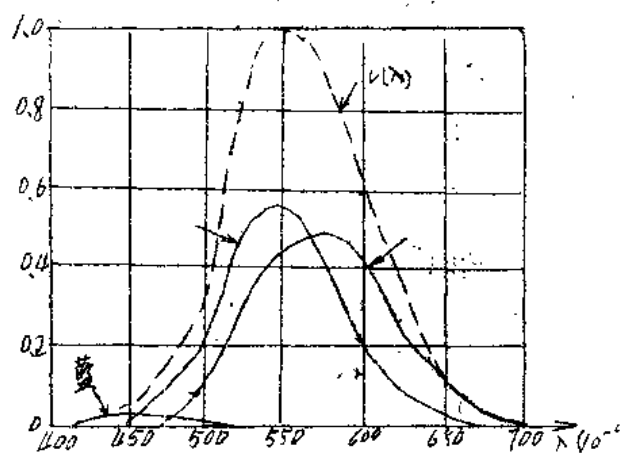


图 1.8 人眼三种感光质点的光谱灵敏度

图 1.8 所繪的是眼內三种感光质点的光譜灵敏曲线，所繪曲线之和便示着充分的人眼光譜灵敏曲线（图中虚线所示）。这一曲线叫做可见度……

必須指出，上面所繪的全部眼睛曲线（和別的任何生理曲线一样）在相当大的程度上依赖于获取曲线时的情况及其获取方法，並亦依赖于感受的主观情形。因为这个緣故，这种曲线只能作为概略的数据討論时的依据。

### 3. 光电仪器

光电能从一种物体内释放出电子的作用叫做光电效应，光电效应有内效应和外部效应两种，在第一种情况里，物体将电子发送到空中；在第二种情况里，电子则还是留在物体中。只是物体导电的性能变得高一些了，利用光电效应，作成了一种仪器，可以将光的能量变成为电的能量，这就是光电仪器。

在 1873 年发现了内部的光电效应以后，最初的电视設計就开始了，不过惰性太大，所以这个效应在很长的時間內在电视中都沒有被实际上所用，（現在有一种 *Bugukon* 式的电视发送管已經利用内部效应了）。

外部光电效应是在 1888 年发现的俄国科学家斯托列托夫首先对这个效应作了仔細的研究与解釋，他发现光电流的大小与光的能量成正比例关系，这个电流的形成与消灭都沒有惰性，因为外部光电效应具有这个性质，使得电视的实际实现，就成为可能的了。

光电管便是利用外部效应的光电仪器中，最简单的一种，图 1.9 为其构造和线路的情形。

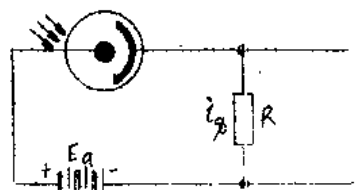


图 1.9 光电管的构造与线路图

光电管有一个玻璃管子，里面抽除空气以后，装入两个电极，即光电阴极和阳极，光电阴极的表面是经过特殊处理的，所以电子能够发射到

中去，阴极在光线的作用下，发出了许多电子（光电子），向阳极运动，在电源  $E_0$  的电路中于是就形成连续不断的电流（即光电流），改变加到阴极的光通量，光电流  $i_0$  即随着变化，光电管电路上负载电阻  $R$  的电压也就改变了，负载电阻  $R$  上出来的电压，必须要经过放大，才可以实际利用。

现代的电视技术领域，应用着非常复杂的光电仪器，把光的信号变成电信号。虽然这些仪器十分复杂，但都有光电阴极以发射电子，有阳极来收集电子（所以阳极又叫收集极）。这些电极与光电管的电极在作用原则上并无区别。

现在常用的光电仪器的阴极，结构是多层的，复杂的，这是为了电子容易升到表面上，阴极对光线的敏感性也因此加强，光电阴极中，用得最广的是氧铯阴极和铯铯阴极。氧铯阴极是用一根金属支柱（常用银质的）涂上一层半导体，半导体是由氧化银和氧化铯合成的，光电子即从这个半导体层表面的铯原子中释放出来，铯铯阴极的半导体是由铯和铯的化合物作成，铯原子居于半导体层的表面上。

因为作用不同，光电阴极又分为粗型阴极，半透明阴极，镶嵌阴极等三种。粗型阴极的支柱是很粗的，若光线系由发射层方向照射，粗阴极便起了“反射”作用。半透明阴极的支柱是细长的，透光的，所以光线若从发射层对面照射，这个阴极就起了“透明”的作用。镶嵌阴极的表面是不导电的（常用云母片作成）上面嵌有十分细小的金属微粒，各金属粒彼此绝缘（常用的金属粒是银砂），经过一定的方法处理以后，每一颗金属粒都变成了一个基本的光电阴极。

下面将对光电仪器的基本特性进行研究，这些特性主要为光电阴极所决定（故在研究特性时，通常便是研究光电阴极的特性而不是一般地对仪器本身进行研究）。

光电阴极产生的光电流  $i_0$ （微安）与阴极受到的光通量  $E$ （流明）的比，通常称为光电阴极的聚光敏感度，用  $\varepsilon_0$  表示：

$$\varepsilon_0 = \frac{i_0}{F} \quad (1.12)$$

倘若入射光通量的频率成分不同，则光电阴极的灵敏度也各异。故灵敏度是随所用光源不同而变化的，因此若要测量光灵敏度，即必须有照明条件，用可以耐高温  $2850^\circ \text{K}$  的钨丝电灯为照明的光源。

氧铯阴极的光灵敏度范围是  $30 \sim 70 \text{ MKa} / \text{LM}$ ，铯铯阴极则是  $50 \sim 140 \text{ MKa} / \text{LM}$ 。惰性气体仪器使用这类阴极，灵敏度可但有惰性影响，在电视里却不能应用。

前列数字是对粗型光电阴极而说的，谈到半透明阴极的灵敏度，则些数字，因为光透射到这种涂层时，有一部分要被吸收（半透明氧铯光最大的灵敏度也在  $30 \text{ MKa} / \text{LM}$  以下，铯铯阴极则是  $50 \sim 60 \text{ MKa} / \text{LM}$ ）镶嵌阴极的灵敏度还要低，条件最好时，也不高于  $5 \sim 6 \text{ MKa} / \text{LM}$ 。这是因为阴极上不完全是感光的小粒，而且还有制造工艺上的困难，灵敏度受到很大影响。

在光通量  $F$  是稳定的时候，光电流  $i_0$  与板压  $u_0$  的依从关系由伏安特性曲线来表示，（见第 1.10 图），由图可知，光通量一定时，板压  $u_0$  升高，电流将要饱和，但饱和以后，就不再起什么变化了，测量光电仪器的表示，便是以饱和光电流为依据：

光电特性图指出来，在稳定的板压  $u_0$  时，在光电流  $i_0$  和光通量  $F$  有着什么关系（绘制特性图的板压须使光电流能够饱和）第 1.11 图就是此种特性图中的一种。光通量变化很大时，这种特性也能保持直线。只当照度非常强时，加强光通量，图线的斜度开始降低，在铯铯光及其他阴极中无粗的金属支柱，照度在十分之几的流克司时，特性图的就破坏了，原因是灯泡壁内及空间里有电荷存在的关系。

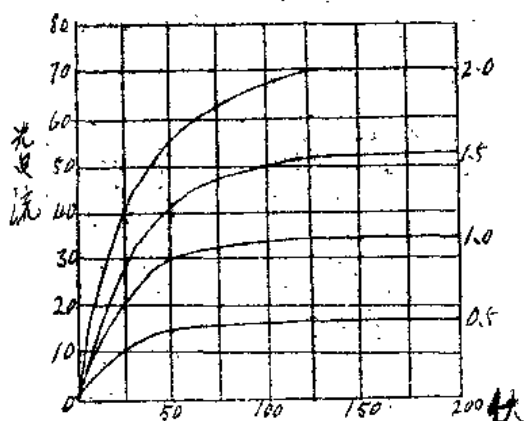


图 1.10 铯光电阴极的伏安特性曲线

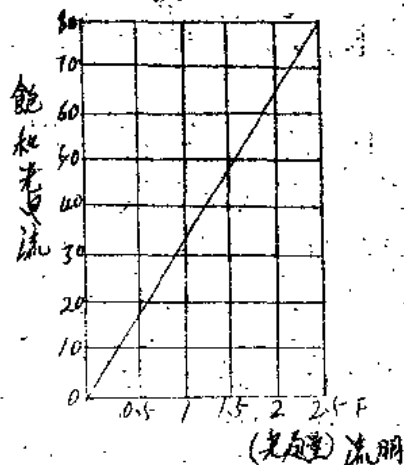


图 1.11 铯阴极的光电特性图

光谱特性曲线指出来，光电流如何依随入射光通量的波长 $\lambda$ 而变化，图 1.12 所示为铯光电阴极 (a.) 与铷光电阴极 (b.) 的光谱特性曲线。此种阴极的曲线具有最大值，叫选择性最大值。光电阴极的光谱特性曲线，一般地讲，形状是极不相同的，这与阴极表面的组织成分及对阴极加工的方法有关系，也与光电仪器的玻璃泡所具有之吸收性有关系。在某些情况下，选择性最大值可能还是沒有的，顯然，半透明阴极与粗阴极相比，纵然组织成分相同，但其光谱特性曲线还是有很大的差别。因为光线射到半透明阴极时，所穿透的阴极层起着滤光的作用。

如象光线透过半透明铷光电阴极时，就显出来红色，故发射层对于光线便有红色滤波器的作用，与这种阴极最容易发生作用的是紫外线与蓝光，但都被这个滤波器在相当大的程度上阻止了，所以感光层的最大敏感度就向光谱的红光方面移动，且停留在黄光部分，自然在这样情况下，光电阴极最大灵敏点的分光敏感度亦是很小的，比光线从发射层方面照射时要小得多。

比较粗型阴极与镶嵌光电阴极，则其二者分光敏感度的差别也是十分明

## 1-14 特 种 技 术

額，因为鍍銻光电阴极与光电收集极所形成的選擇电場不强，所以組成最大光电流的电子，是頻譜中短波光綫所激放出来的，因为此种电子的射出速度最大。

彩顏物体的光影发送，如果在接收屏上变为单一的顏色，則須光电阴极的光譜特性曲綫符合于人眼的可見度曲綫（图1.12  $V(\lambda)$ ），始能有良好的傳送。这时，再生的单色影象将与直接看到的原物极为相似。

对阴极表面进行一些輔助加工，且在組織成分掺入一些混合物，光譜特性曲綫与上述理想特性曲綫便会十分接近，氧化处理后的銻銻阴极（感光度强化）的效果就是相当好的（图1.12 曲綫（6））

改善光电仪器光譜特性曲綫的另一个方法是採用濾光鏡。濾光鏡是裝在光綫射向阴极的道路上，若光譜特性曲綫选择适当时，則发射設備的合成性曲綫（等于濾光鏡和光电阴极的光譜特性曲綫的乘积）便能与可見度曲綫相接近。採用这个方法，有个主要缺点，即光綫通过濾光鏡时有很大的損失，如象用来改善氧銻阴极的綠色濾光鏡，只有入射光的10%才能通过。

### 4. 机械电视和电子电视

如果欲經訊路把物体的亮度发送一定距离之外，則除了要有光电換能器外，还应有电光換能器。电能量不同的电视信号通过电光換能器便可变成不同亮度的发光信号。开始設計电视时，电光換能器是用白熾电灯来替用的，之后，在最簡單的实用电视設備中，又用蓄性很小的充气灯将白熾灯代替了。

如果物体質点的亮度是用单綫发送，就是質点数目很少，也要用依次发送的方法来发送，使用这个方法是扫描。

图1.13是一种可行的机械扫描法，将发送的影象向一个平面投射，光电管便依一定次序（逐行）輪流的对该平面上的全部質点进行扫描，得出的电视信号通过訊路送到控制光源，光源与光电管按相同的次序同时对另一平

面的质点进行扫描。此一平面的几何形状相似于发射平面，扫描的频率有足够的大时，观者在接收平面上看到的影象就与发射物体完全一致。此时，若发射影象所分成的质点越多，则接收方面所得到的影象即更相似于原来发送的影象。

还在上世紀的七十年代，这个方法便已經出現了，但是太笨拙，实际上便一直沒有加以应用，不过这种扫描原則到現在还存在，而且形式沒有變化。

尼泊可夫在1884年发明了一个很简单的机械扫描法，图1.14 a 为尼泊可夫盤，利用这个圆盘便可进行影象发送与接收的扫描，图1.14 b 就是用此盤发送与接收影象的情形。利用圆盘扫描的影象投射到小框子的范围内，扫描就是依次地照射小框内的各个质点。因此，便在圆盘上按螺旋线作了許多方孔轉动圆盘时，逐行地照发小框的质点，圆盘了一周，所有的方孔也都在小框前面轉了一周，圆盘将小框内影象分成若干行，其行数与圆盘的小孔的个数相等。

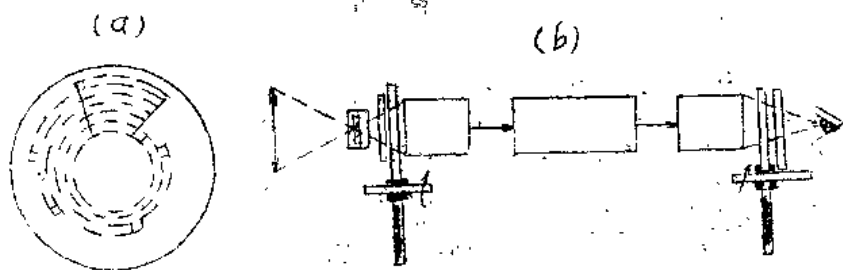


图1.14 利用尼泊可夫盤傳送电视影象

a — 尼泊可夫盤      b — 傳送线路

等速地轉动发射圆盘，便将小框范围内的发送影象所投射到圆盘上的光通量有次序的分解，把分解后的光通量送到装在圆盘后面的光电管上，得出



来的信号，放大后，经过线路使接收圆盘后面的光源亮度发生相应的变化。接收圆盘与发射圆盘的旋转必须完全同步，无论何时，发光面上的质点，只有与发射质点的几何关系一致者，才能被照射。圆盘旋转得非常快，观者在发光面便可看到发送出来的影象了。如果圆盘的小孔越多，则发射影象被分成的行数也越多，收到的影象与发出的影象也就更相似了。

不难理解，欲使扫描的发送系统的动作能够与接收系统同步，在任何情况下，都应该发出控制接收系统的补充信号，此种补充信号称为同步信号。

图 1.15 为电气机械扫描法，这种方法也一样是可以采用的。在这个方法中，发射影象是投射到一个由若干支光电管所组成的面板上：

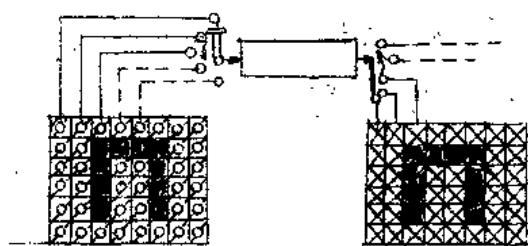


图 1.15 使用电气机械扫描法的电视传送图

接收影象是在有同样数量灯泡，按同样方法排列的面板上观看，扫描的实现就是经过线路把双方面板上的相应灯泡对依次接通。

前面描述的电视系统组成原理出现了很多年后才被应用到实际中去，这点可以这样说明，即著名的同胞波波夫发明的无线电能够作出大批的技术资料以供建立电视的需要，在这些技术资料中，首先须提出的就是接收放大装置和真空技术，以及无线线路。

俄国科学家罗辛格在 1907 首先提出了电子束电视扫描，这就把机械电视系统完全排斥了。利用这个方法，第一次在电子束管屏上实现了最简电视影的接收。