

开

电视摄像管中的 物理过程

С. Б. 古列维奇 著

科学出版社

电视摄像管中的物理过程

С. В. 古列维奇 著

李洛童 译

科学出版社

1964

С. Б. Гуревич
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕРЕДАЮЩИХ
ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТРУБКАХ

Физматгиз
Москва, 1958

內 容 簡 介

本书叙述了积电式电视摄像管中的物理过程。书中简短地描述了摄像管中所利用的主要物理现象,以及摄像管工作时所发生的过程;综述了摄像管的特性,介绍了一些具体型式的摄像管的工作。本书可供电视专业的工程技术人员及大学高年级学生阅读。

电视摄像管中的物理过程

С. Б. 古列维奇 著
李洛章 译

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街117号)
北京市书刊出版业营业许可出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1964年6月第一版
1964年6月第一次印刷
(京)0001-3,400

书号:2983 字数:260,000
开本:850×1168 1/32
印张:9 7/8

定价:[科七] 1.70元

目 录

前言	1
第一章 傳送图象的基本原理	3
§ 1 电视图象的获得	3
§ 2 图象的分解和将图象变换为信号序列的方法	4
第二章 电视摄像管中所利用的物理现象	13
§ 1 固体中的电子和电子发射	13
§ 2 热电子发射	23
§ 3 光电子发射	26
§ 4 二次电子发射	28
§ 5 光电导	35
第三章 电子光学及其在电视摄像管中的应用	42
§ 1 电子在电场和磁场中的运动	42
§ 2 电子透镜	51
§ 3 电子透镜的象差	64
§ 4 电视摄像管中所用的电子光学装置	67
第四章 积电式摄像管中的主要过程	73
§ 1 积电式摄像管中的工作循环及其实现方法	73
§ 2 积电器象素的平衡电位和不平衡电位	77
§ 3 积电器上的电位起伏和光栅结构	89
§ 4 拾取和积电器象素起始电位的恢复	95
§ 5 积电过程	102
§ 6 输出信号的形成	109
§ 7 积电式电视摄像管的分类	118
第五章 积电式摄像管的特性	120
§ 1 电视图象的质量指标和摄像管的特性	120
§ 2 杂波以及摄像管所保证的信号杂波比	123
§ 3 灰度的傳送	136
§ 4 分解力	139
§ 5 光电变换器的频谱特性	151

§ 6 光-信号特性	152
§ 7 黑色电平信息的傳送	156
§ 8 寄生信号	160
§ 9 惰性和残余信号	162
§ 10 灵敏度	167
第六章 具有光电发射积电器的摄像管	175
§ 1 光电象管的构造	175
§ 2 光电象管的工作循环, 信号的形成	177
§ 3 光电象管的特性	183
§ 4 正析象管的构造	187
§ 5 正析象管的工作循环, 信号的形成	189
§ 6 正析象管的特性	191
第七章 具有二次电子发射积电器的摄像管, 超光电象管	195
§ 1 超光电象管的构造	195
§ 2 超光电象管的工作循环, 信号的形成	199
§ 3 超光电象管的光-信号特性	208
§ 4 超光电象管的寄生信号	211
§ 5 黑色电平信息	218
§ 6 超光电象管的灵敏度、分解力和惰性	223
§ 7 半导体靶超光电象管	226
第八章 具有二次电子发射积电器的摄像管, 超正析象管	231
§ 1 超正析象管的构造	231
§ 2 超正析象管中的积电过程	239
§ 3 超正析象管中的拾取过程	245
§ 4 靶电导和靶像素电位恢复到起始电位	250
§ 5 超正析象管的光-信号特性	252
§ 6 超正析象管的灵敏度	255
§ 7 超正析象管的残余电荷和分解力	257
§ 8 分流正析象管	261
第九章 具有光电导积电器的摄像管, 视象管	264
§ 1 视象管的构造	264
§ 2 视象管中信号的形成	268

§ 3 視象管的頻譜特性.....	273
§ 4 視象管的光-信号特性、灵敏度和分解力.....	275
§ 5 視象管的惰性.....	280
§ 6 視象管的变种.....	289
§ 7 依比康——具有感应电导积电器的摄象管.....	292
結 束 語	298
参考文献	300

前 言

战后年代标志着无线电电子学各个部門的蓬勃发展，其中包括电视的蓬勃发展。电视在国民經济以及科学技术部門中的意义日益增大。因此，人們对整个电视及其个别問題发生兴趣是完全可以理解的。

摄像管是电视发送設備中最重要的元件，因此，摄像管工作的物理基础是一个重要問題。

但是必須指出，在不多的电视書籍中，沒有一本是專門讲摄像管的。本书所接触到的問題范围虽然有限，但总算是填补这个空白的一次尝试。本书在簡短地介绍了摄像管中所利用的物理現象、摄像管的主要过程和一般特性以后，再就这些問題在各种具体型式的摄像管中的应用加以介绍。同时重点放在目前最通用的管子上，即超光电象管、超正析象管以及具有很大发展前途的視象管。遺憾的是，由于篇幅所限，书中对一些重要問題，例如彩色电视摄像管和某些專門設備用的摄像管的工作特点，摄像管的制造工艺以及维护条件等，都沒有加以介绍。

要在一本书內把物理电子学和电视的問題結合在一起，在符号的采用上会发生一定的困难。书中分別保留了在物理中和在电视中通常应用的符号，虽然这样会使某些符号在不同各章中具有不同意义；这一点在必要情况下将加以說明。

书中选用了專門书刊中最通用的術語。

作者衷心感謝技术科学博士 Я. А. 雷夫琴 (Рыфтин) 和技术科学副博士 А. М. 哈尔芬 (Халфин) 对本书提出很多宝贵的建議，感謝技术科学副博士 А. Г. 康德拉切夫 (Кондратьев)、Р. А. 加穆布尔格 (Гамбург) 和 Л. И. 奥尔洛娃 (Орлова) 为評閱和編輯本书

所付出的巨大劳动。作者还要向物理数学科学副博士 Д. В. 古列維奇 (Гуревич)、В. Г. 潘欽科 (Панченко)、研究生 Р. Е. 貝柯夫 (Быков) 和 Б. М. 別夫茲涅尔 (Певзнер) 表示深厚的謝意，感謝他們在准备手稿付印时对我的巨大帮助。

作 者

第一章 傳送图象的基本原理

§ 1 电视图象的获得

电视是一种通信形式，它的傳送对象是活动图象，而图象信息的傳送是利用电信号通过导綫或无綫电来实现的。用电的方法来傳送图象，必須完成两种变换：在发送端将光信号变换为电信号，而在接收端則相反地把电信号变换为光信号。

要实现图象的傳送，必須能够傳送一个个足够小的像素的亮度信息或其它有关光特性的信息。而且很明显，这种像素的数目越大，即用某种方法傳送的独立信息量越大，傳送的准确度就越高。

但是，必須独立傳送信息的細节数目有一个实际上的极限。这个极限和我們的视觉特性有关。大家知道，眼睛分辨不出張角距离小于某一极限值的两个細节，这个极限值則决定于图象的背景亮度、对比度以及其它原因。

为了获得质量满意的图象，所傳送細节的数目应当非常大。在这种情况下，同时傳送所有像素信号的方法是不适宜的，因为这样一来，发送和接收設備就会特別复杂和笨重，而所需的信道数目也非常多¹⁾。

为了足够完善地重显图象，采用了另一种傳送信号的方法。这种方法是利用视觉的一种特性——视觉惰性现象为基础。这种方法不是同时傳送所有像素的信号，而是以某一順序和一定速度将这些信号一个接一个地傳送出去。这样就可以避免发送和接收设备过于笨重，因为有可能只利用一个变换元件(光电元件)和一个信道来实现傳送。

为了实现这种方法，必須在发送端按一定規律来“分解”图象。

1) 所謂一个信道，是指无綫电傳送的一个載頻，或者是指一对导綫。

这时的基本要求是：在各个瞬間形成电信号的象素序列，应当是連續不断的，也就是說，不能有漏掉的地方。同时，在将整个图象傳送一遍的期間，也不应当有两次或多次形成信号的地方。举例說，象素自左向右排成連續綫——行，各行又一个挨一个紧密地排起来，这样的象素序列就能滿足上述的条件。

显然，为了重显图象，在接收端将信号变换为亮度时，必須按照实现分解时的同一順序来进行，也就是說，必須和分解过程同步和同相。

虽然所得图象的各个单独象素的亮度是脉冲式地在不同的瞬間产生，但是由于傳送速度很高以及视觉惰性現象，眼睛看到的图象就密合为一，而且沒有閃爍。

电视设备的典型方框图示于图 1。

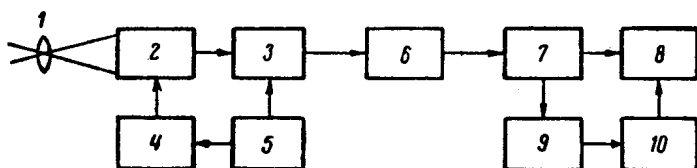


图 1 电视系统的方框图

- 1——镜头，2——将光变换为电信号的设备，3——发送端的放大部分，4——发送端的扫描设备，5——同步信号发生器，6——信道，7——接收端的放大部分，8——将电信号变换为光的设备，9——同步设备，10——接收端的扫描设备。

将光变换为电信号的设备利用了光电效应。所以任何电视发送设备的主要构件都是光电管或光敏电阻，它们的效率在一定程度上决定于扫描器。扫描器可以和光电变换器无关，但更常见的是和变换器紧密地结合在一起。例如，尼普柯夫盘是和变换器无关的扫描器，而摄像管则是在同一个器件中实现了光电变换和图象扫描^[1-3]。

§ 2 图象的分解和将图象变换为信号序列的方法

现在我们来讨论图象的分解方法和最有效地将光变换为信号

的方法。

最早的和最简单的一种电视图象分解的机械方法是尼普柯夫在 1884 年提出的。这种方法利用同步和同相旋转的两个圆盘来实现分解和显象。这两个盘子分别放在发送端和接收端。圆盘上有一些矩形小孔,小孔沿螺旋线排列,当圆盘等速旋转时,由特殊框子所限制的表面上的各个像素所发出的光就顺序地从各个小孔中通过去(图 2)。

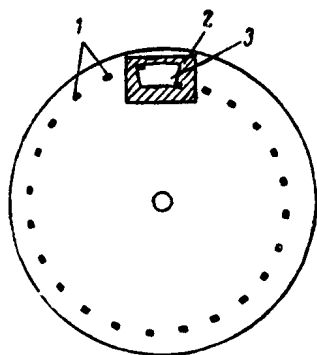


图 2 尼普柯夫盘

1——圆盘上的小孔, 2——限制框, 3——框上的缺口。

在发送端,待传送的图象通过限制框的缺口投射到圆盘面上,在圆盘后面则放着一个光电管(图 3)。

通过圆盘小孔的像素的照度越大,投射到光电管上的光通量就越大,因而光电流的数值就越大。由各个不同照度的像素得到的光电流序列,就是图象信号或视频信号,这个信号通过信道传送到接收设备。

在传送电影片时,可以采用结构稍加简化的尼普柯夫盘。在

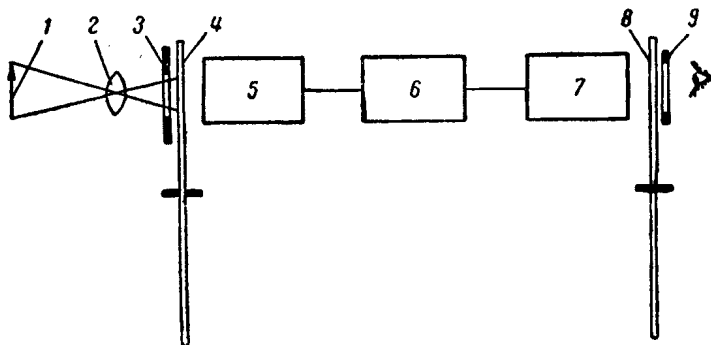


图 3 利用尼普柯夫盘传送图象

1——待传送的物体, 2——镜头, 3——限制框, 4——发送圆盘, 5——光电管, 6——信道, 7——发光源, 8——接收圆盘, 9——限制框。

这种情况下,没有必要使小孔沿螺旋线排列,因为扫描点在图象上的垂直移动,可以用移动电影片的办法来实现。因此,圆盘上的小孔是沿着圆周排列,而扫描点是沿着同一条线移动;同时,电影片的移动速度是这样的:在传送一个图象的时间内,每一画面移过去一个本身的高度。结果,扫描点在电影片表面画出一组平行线,就和前述利用沿螺旋线排列小孔的圆盘进行传送的情况一样。因为在传送移动的电影片时,圆盘可以用大于1的转数来扫描一个画面,所以直径可以减小,从而可以使设备简化。在这种情况下,也可以用滚筒代替圆盘。

为了提高这类设备的灵敏度,提出了一种改进的圆盘,它和普通圆盘的区别是小孔的尺寸较大;在每一个小孔中嵌一个透镜,它好象是一个小型短焦距聚光镜头,使投射到电影片表面的圆盘小孔缩小很多。使用这种结构的圆盘大约可以有30倍的光通量增益^[5]。但是即使这样,也不能消除圆盘系统(或滚筒系统)的两个重大缺点:光的损耗很大和设备非常笨重。

法恩斯渥斯设计的所谓析象器消除了后面的一个缺点^[10]。在析象器中,用电子扫描图象代替了机械扫描。它的示意图示于图4。

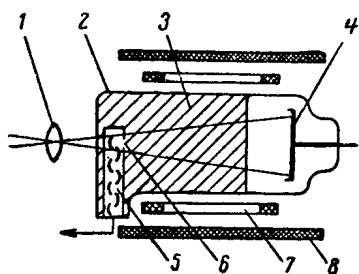


图4 析象器示意图

- 1——镜头, 2——管泡, 3——阳极,
4——整块不透明的光电阴极, 5——二次电子倍增器, 6——倍增器上的小孔,
7——偏转线圈, 8——聚焦线圈。

析象器是一个圆柱形真空玻璃管泡,在管子的一端装有一块完整的光电阴极,另一端装一个二次电子倍增器,倍增器在面向光电阴极的一方有一个小孔。图象经镜头通过光电阴极对面的平面管底投射到光电阴极上。在平面管底这一端的电子倍增器要放得稍微偏离管泡轴线,以免妨碍图象投射到光电阴极上去。投射到光电阴极上的图象,在靠近它的

的表面处造成和图象照度分布相对应的光电子分布(“电子图象”)。由管壁上的金属敷层构成的阳极和光电阴极间的电场使光

电子得到加速，好象是将“电子图象”从光电阴极表面逐渐移到电子倍增器小孔处的平面上。这一平面中的电子聚焦，是利用长聚焦线圈的磁场来实现的。

紧贴着析象器有两对互相垂直放置的线圈，它们使整个电子图象沿垂直方向和水平方向偏转。偏转的方式是使得电子图象中的各个像素一个接一个地顺序出现在倍增器小孔的前面。像素互相跟随的顺序决定于偏转线圈中所加电流变化的情况，因此可以做得好象是倍增器的小孔相对于电子图象而移动的情况一样（和尼普柯夫盘中的小孔的运动情况相似）。

顺序由每一像素进入倍增器小孔的电子流经过放大后，在析象器输出端形成图象信号。

析象器用来传送电影片时，在照度很大的情况下，可以得到完全令人满意的结果。但是析象器仍然具有一般瞬时作用设备的主要缺点，那就是只能利用极小的一部分光能来形成信号。的确，如果将图象分解为 N 个像素，则在每一瞬间，用来形成信号的只有相应于电子图象 $1/N$ 的那一部分光能。

布拉乌杰光电变换器也是一种瞬时作用的发送设备^[11-13]，它是将一根感光丝 1，放在加有电压 V 的两个极板 2 所造成的电场中而形成的（图 5）。

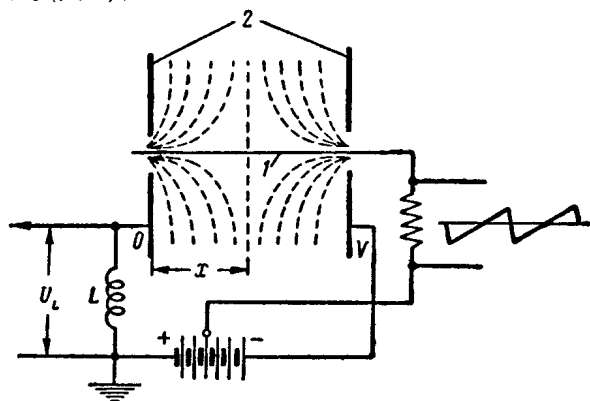


图 5 布拉乌杰光电变换器

1——感光丝，2——造成电场的极板。

感光絲的电位以行頻按鋸齒形規律由零变化到 V 。图象投射到感光絲上,使得沿感光絲的照度分布,相应于图象一行上的照度分布。感光絲按着照度的分布 $E(x)$ 产生光电放射,但是从它的不同部分发出的光电子,将根据感光絲电位的不同,或是落入加速場,或是落入减速場。例如,在感光絲电位等于 $\frac{V}{2}$ 的瞬間,只有从它左半边发出的光电子能落入加速場,因而能到达左边的极板,参与形成信号。图 5 所示就是电场在这一瞬間的情况。

在感光絲电位等于 V 的瞬間,从整个感光絲上发出的电子都落入加速場,并到达左面的极板。由此可見,随着所加电压的不同,感光絲就有或长或短的部分是处在加速場內。

設感光絲处于加速場的长度为 x , 則由它形成的光电流由下式决定:

$$i_{\Phi} = \varepsilon \int_0^x E(x) dx,$$

式中 ε 是感光絲的积分灵敏度。因为 $x=vt$ (这里 v 是行扫描速度), 所以

$$i_{\Phi} = \varepsilon v \int_0^t E(vt) dt.$$

如果在光电流电路中接上一个电感 L , 則它上面的电压将由下式决定:

$$U_L = L \frac{di_{\Phi}}{dt} = L \varepsilon v E(vt) = L \varepsilon v E(x).$$

显然,这个电压是按着沿感光絲照度的变化而变化的。

幀扫描是由光图象横着感光絲移动来实现的。这类设备能得出质量很高的图象,但是它的灵敏度很低。

曾經拟定了两条更充分地利用光能的途径。一条途径是創制集中的光能源,利用这种光能源来扫描被傳送的景象或电影片,而扫描的顺序則和机械或电子扫描设备扫描图象相同。

在这种情况下,每一瞬間只有物体的一个象素被照亮。被照亮的象素所发出的光就射到光电管或光电倍增器的阴极上,从而

形成图像信号。具有电子激发荧光幕的电子射线投射管是一种令人满意的扫描光点光源(飞点光源),有了这种投射管以后,制造上述设备就变得很适宜了。

这种管子的偏转系统由扫描发生器供电,它使得电子射线逐行扫过荧光幕,结果在电子射线扫过的地方,像素一个接一个地发光。如果余辉时间不大,则可以认为在每一瞬间,只有相应于被扫描的像素的地方是在发光。

飞点扫描设备在传送电影片时用得相当普遍^[14-16]。这种设备的典型示意图如图6所示。当接收管*的光栅投射到电影片上时,射到倍增器光电阴极的光强决定于电影片上相应像素的浓度,在光线顺序透过所有像素的过程中,光电倍增器就产生了按照画面透明度分布而被调制的信号。由于飞点的瞬时亮度很大,光线的利用率很高,从这种设备获得的信号相当大,因而能得到高质量的图像。这种设备的缺点是在用来传送自然景物时很不方便。的确,在传送时必须注意不使任何外界光源射到所传送的物体上,否则信号电流中将会由于外来光源而含有大量的寄生分量。很明显,不可能用飞点扫描设备作室外传送。但是这种设备可以成功的用于由播送室内传送景象。这时物体是由飞点来照射。在电子射线逆扫期间,即不发送有用信号时,由脉冲式燃亮的补充光源均匀照射整个景象,使得演员和电视摄像师能够工作。

更经济地利用光能的另一条途径是积累光能的方法。此时在

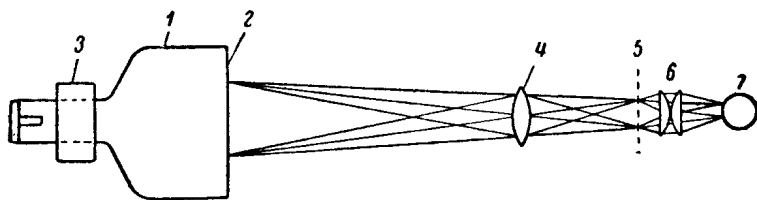


图6 飞点扫描摄像设备示意图

- 1——投射管, 2——投射管屏, 3——偏转系统, 4——透镜,
5——电影片或幻灯玻璃板, 6——聚光镜, 7——电子倍增器。

* 指用作飞点光源的投射管——译者注。

每一像素上所利用的光能，不仅是光电变换器在傳送該像素时所获得的光能，而是在傳送一幀画面的全部時間內所获得的光能。在像素未被傳送期間照射到它上面的能量，以电荷的形式积累在相应于該像素的单元电容器上。应用积电原理的設備的示意图示于图 7。

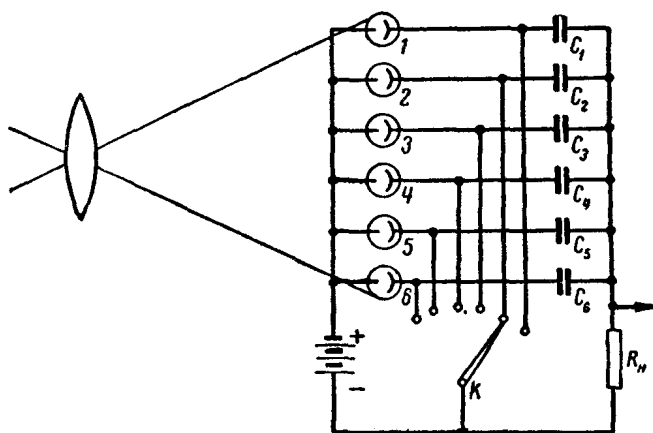


图 7 利用积电原理的設備的示意图

被傳送的景象投射到以方陣形式排列着許許多多光电管的平面上(图中只画出了一排中的几个光电管)。所有的阳极都連接在一起，同时各个光电阴极是互相絕緣的。每一个光电阴极都通过一个单独的电容器和負載电阻 R_n 相連。在光的作用下，各个单独的光电管电路中流过的电流和投射到該光电管上的細節亮度成正比。这个光电流将相应的电容充电到正比于光电管照度的电位。借助于拾取轉換器 K ，各个光电管的电容器順序通过負載电阻 R_n 放电，結果在負載电阻上产生了和被拾取光电管的照度成正比的电信号。

显然，在上述情況下，參預形成信号的，不只是在扫描某一像素期間射到該像素上的极小的光量，而是这个光量的 N 倍(对 625 行扫描來說， $N \approx 600\,000$)。

高效率摄象管的工作机构基于积电原理和电子扫描原理的結

合。电子扫描是利用电子射线来起拾取轉換器的作用，以电子射线一行一行地順序扫描整幀图象。因此需要建立能以下述方式偏轉电子射线的交变电場或磁場：当电子射线扫完一行时，它会很快地返回到行的起点，并向下移一个行的寬度；每次都这样，一直到扫描完整个画面为止。

如果利用两对綫圈，使它們所产生的場以互相垂直的方向作用于电子射线，就可以使电子射线按上述方式运动。这两对綫圈中都通以鋸齿形交变电流，但是頻率不同。垂直偏轉的頻率应当等于規定的幀变换頻率（幀扫描頻率），而水平偏轉的頻率应当是幀頻的 z 倍，这里 z 是扫描行数。

电子射线返回起始位置所用的時間应当最小，因为在这一時間内不形成有用信号。电子射线通常被截止或偏轉到被扫描的面积以外。但是这个時間不是白白地浪费掉的，因为正是在这个時間内建立了和图象信号一块傳送的同步信号。

上面所說的电子扫描图象是逐行扫描，或者常常称为順次扫描(图 8a)。在电视中，在大多数情况下，被认为适宜的不是順次扫描，而是隔行扫描(图 8b)。采用这种扫描，是因为当每秒傳送 25 幀时，在显象管屏幕上会觉察到图象的閃爍。由于视觉惰性現象，在以較大頻率傳送图象时(例如每秒 50 次)，眼睛就不会感到閃爍。采用隔行扫描正是以这种情况为基础的。在隔行扫描时，每一个完整的幀被扫描两次——首先扫描所有的奇数行(一个場)，然后再扫描所有的偶数行(第二个場)。这样一来，虽然每秒鐘傳送的同样是 25 个整幀，但是实际上消除了閃爍現象，因为每

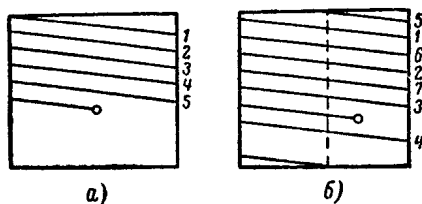


图 8 漸进扫描(a)和隔行扫描(b)