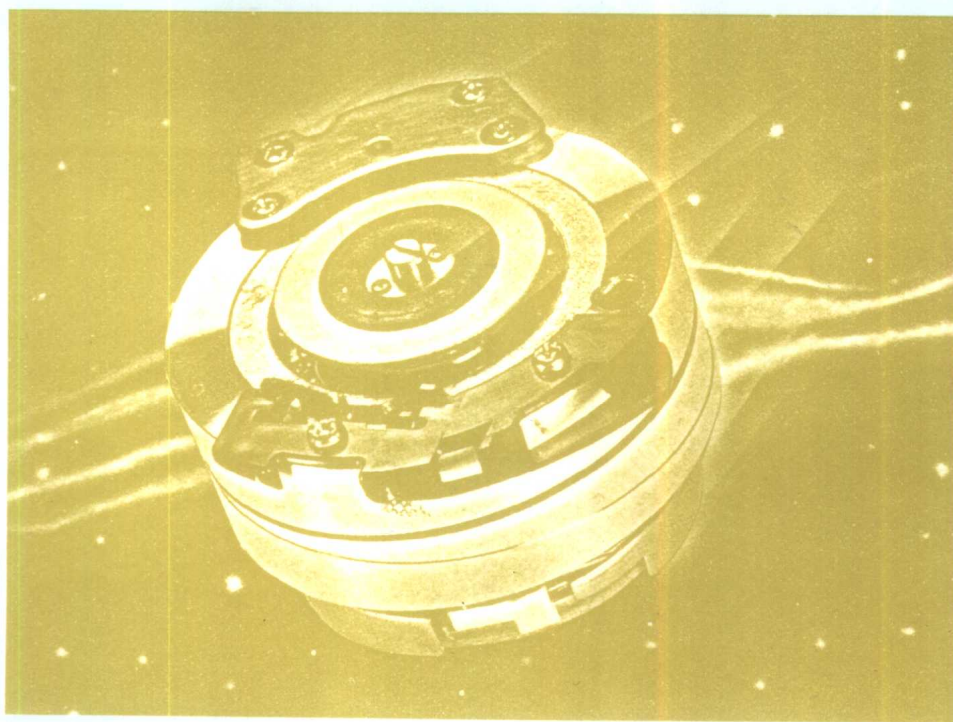


实用摄录像机教程

段水福 编著



浙江大学出版社

實用觀察儀器教程

第二版



編者：張國華、張國華、張國華

实用摄录像机教程

段水福 编著

浙江大学出版社

实用摄录像机教程

段水福 编著

责任编辑 蔡伯根

浙江大学出版社出版

(杭州浙大路38号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

杭州富阳何云印刷有限公司印刷

浙江省新华书店发行

* * *

787mm×1092mm 16开 19.75印张 481千字

1994年6月第1版 2000年5月第5次印刷

印数: 7501—9500

ISBN 7-308-01320-0/TN·030 定价: 20.00元

如发现书中有缺页、倒页和破页,请持此证到杭州富阳何云印刷厂调换

地址:富阳何云 邮编:311404 电话:0571-3201054

前言

摄像机和录像机(二者做成一体简称摄录像机)是微电子技术、微电脑技术、磁记录技术和精密机械加工技术综合发展的产物,是几代人为之奋斗和智慧的结晶,是现代信息社会不可缺少的信息处理工具,是视频系统和设备领域中两颗最璀璨的“明珠”,堪称科学和艺术的珍品。因此,学习、研究、应用和开发摄、录像技术,不仅仅是掌握应用先进技术,而且对推动整个电子行业都有现实意义。

近几年来摄、录像技术发展异常迅速,各国厂家争相研制,致使市场上摄、录像机品种繁多,多种格式规格并存。本书不是以某一产品为主介绍摄、录像机的原理,而是从各种机型中找出共性。因为,不管那个厂家的产品,就其最基本的工作原理和工作过程而言则是完全相同的。都是光→电→磁和磁→电→光的转换过程。记录时,通过摄像机将光图像转换为电信号,馈送给录像机。由录像机将电信号转变为磁信号记录并贮存于磁带上,而重放过程则是它们的逆过程。当然要重现图像还要借助电视机,考虑到有关电视机的书籍和资料已较多,本书不再提及。

本书详细地叙述了各厂家,为了使图像清晰,声音优美,提高记录密度,减少整机体积和重量,增加功能而采取的各种手段和措施。这样安排的目的,不仅仅是为了说明要实现同一个奋斗目标,可以采用不同的方法和措施。更主要的是想使本书所叙述的原理、使用和维护方法可以适用于各种机型。

全书分四章,第一章详细讨论了视频信号的特点,明确摄像机要转换的电信号和录像机要记录的电信号的特征。第二章讲解视频信号的获取,即分析摄像机的工作原理。第三章叙述了视频信号的记录与重放,重点介绍录像机的工作原理。第四章重点介绍家用摄录像机,实际上是二、三两章的综合。附有较详细的家用摄录像机的使用说明。

本书根据家电培训班和校内选修课的讲稿经整理编写而成。在正式出版前曾作为校内教材,经多次教学实践,反复使用,提炼加工;内容丰富,深入浅出,通俗易懂。它不仅适用于从事广播、摄像、录像、电教方面的工程技术人员阅读,也可作为大专院校及家电维修培训班的教材,而且也是每个拥有摄像机或录像机的家庭不可少的实用指导书。

由于编者水平有限,时间仓促,书中肯定存在不少缺点和错误。敬请读者批评指正。

段水福

1993年8月于杭州

目 录

第一章 视频信号	(1)
1.1 光与色	(1)
1.2 人眼的视觉特性	(2)
1.2.1 视觉的光谱灵敏度	(2)
1.2.2 人眼的亮度视觉	(3)
1.2.3 人眼的彩色视觉	(4)
1.2.4 人眼的视觉范围和亮度感觉	(5)
1.2.5 人眼的分辨力(视觉锐度)	(5)
1.2.6 人眼的视觉惰性和闪烁感觉	(7)
1.3 色度学基础	(7)
1.3.1 三基色原理	(8)
1.3.2 彩色的复现	(8)
1.4 扫描与视频图像信号	(10)
1.4.1 空间频率的概念	(11)
1.4.2 空间频率与时间频率的转换	(11)
1.4.3 电视扫描系统基本参数的确定	(12)
1.5 视频信号的特点	(14)
1.5.1 黑白视频信号	(14)
1.5.2 彩色视频图像信号	(16)
1.6 彩色电视制式	(18)
1.6.1 概述	(18)
1.6.2 NTSC 制	(21)
1.6.3 PAL 制	(33)
第二章 视频信号的摄取——摄像机原理	(43)
2.1 摄像机的发展概况	(43)
2.2 摄像机的种类	(43)
2.3 摄像机的核心——光导摄像管和固体摄像元件	(46)
2.3.1 摄像机的基本结构	(46)

2.3.2	摄像管的构造	(47)
2.3.3	摄像管的工作原理和特性	(49)
2.3.4	固体摄像元件	(54)
2.4	三管式彩色摄像机	(62)
2.4.1	三管式彩色摄像机的构成	(63)
2.4.2	三管式摄像机的光学系统	(64)
2.4.3	摄像机的视频信号处理电路	(76)
第三章	视频信号的记录与重现——录像机原理	(95)
3.1	录像机的种类和特点	(95)
3.2	最简单的录像系统	(98)
3.3	录像和录音的比较	(98)
3.4	家用录像机的基本组成	(102)
3.5	磁性录放技术基础	(104)
3.5.1	磁性记录原理	(104)
3.5.2	记录过程中的磁场分布与各种损失	(107)
3.5.3	信号的重放过程	(110)
3.5.4	重放损失	(112)
3.5.5	实际录放特性曲线	(116)
3.6	录放视频信号采取的措施	(117)
3.6.1	减小磁头缝隙和采用旋转磁头以提高上限记录频率	(119)
3.6.2	高密度记录技术	(124)
3.6.3	多磁头方式	(127)
3.6.4	采用调频技术来压缩倍频程	(129)
3.6.5	录像机中调频特点	(130)
3.6.6	直接调频记录方式	(133)
3.6.7	亮度调频、色度降频的记录方式	(135)
3.6.8	分量调频记录方式	(137)
3.7	家用录像机的视频信号处理系统	(143)
3.7.1	记录亮度通道	(144)
3.7.2	重放亮度通道	(149)
3.7.3	色度通道	(157)
3.8	家用录像机的伺服系统	(172)
3.8.1	检测信号的产生	(174)
3.8.2	磁鼓伺服系统	(178)
3.8.3	主导轴伺服系统	(198)
3.8.4	特技重放的伺服系统	(208)
3.8.5	张力伺服	(213)
3.9	家用录像机的机械系统	(215)

3.9.1	磁鼓部件	(217)
3.9.2	主导轴及压带轮部件	(220)
3.9.3	加载机构部件	(225)
3.9.4	供收带盘部件	(227)
3.9.5	带盒舱部件	(230)
3.9.6	其他部件	(231)
3.10	家用录像机的控制系统	(234)
3.10.1	控制系统的组成	(235)
3.10.2	控制系统的输入	(236)
3.10.3	控制系统的输出	(245)
第四章	单管式彩色摄像机和家用摄录机	(251)
4.1	单管式彩色摄像机	(251)
4.1.1	频率分离式	(252)
4.1.2	三电极方式	(258)
4.1.3	相位分离式	(259)
4.1.4	阶梯能量解调方式	(263)
4.2	单板式(CCD)彩色摄像机	(265)
4.3	家用摄录机	(269)
4.3.1	家用摄录像机的构成	(270)
4.3.2	同步信号发生器	(273)
4.3.3	视频信号处理电路	(274)
4.4	摄录机中的自动控制	(281)
4.4.1	自动光圈控制(AIC)	(281)
4.4.2	自动聚焦控制	(284)
4.4.3	自动白平衡、自动黑平衡和自动 γ 校正	(288)
4.4.4	电子快门和自动曝光控制	(292)
4.5	家用摄像机的调整与使用	(294)
4.5.1	控制钮和组件	(294)
4.5.2	摄录机的摄像操作	(302)

第一章 视频信号

视频信号(Video Signal)是由可见光图像转换而成的电信号,或指对其进行 γ 校正和线性组合等处理而形成的电信号,也称视频图像信号。

如何获得视频图像信号?又怎样将视频图像信号记录并存储下来?且在需要时又重新还原为光图像,这是本课程所叙述的重点。近几年来,视频技术发展极为迅速,用于视频领域内的产品和设备日益增多,应用范围也在不断地扩大。摄像机和录像机是视频领域内两大重要设备。它们的工作原理,正是围绕这样一个重要课题:如何将光图像信号转换为电信号,又将电信号变成磁信号,并以磁信号的形式记录并保存下来;必要时还要进行逆变换。为了实现上述目标,光学系统、电路系统以及机械系统应如何设计。介绍这两大设备的工作原理和使用方法是本书的主体。然而要想理解摄、录像机的基本原理,必须熟悉视频信号的性质特点,至少对其中一些重要的概念应有所了解。为此,我们先来介绍一下有关光和色的一些知识。

1.1 光与色

在人们的日常生活中,举目四望,景物总是彩色缤纷的。所谓“彩色”,其实是由于不同波长的可见光刺激人眼视觉而引起的色感。由光学理论知道,光和无线电波一样,也是一种电磁辐射。电磁辐射的波长范围很广,最短的如宇宙射线,其波长只有 10^{-17}m ,最长的如交

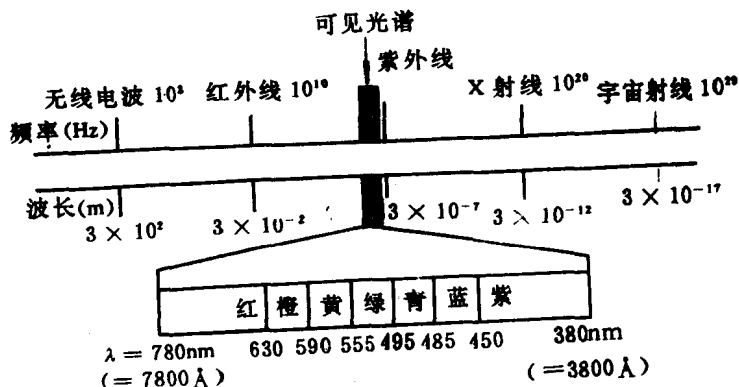


图 1.1 电磁辐射波谱

流电,其波长可达数千千米。波长在 $380\sim 780\text{nm}$ 范围内的电磁波能给以视觉,并称为可见光谱,如图 1.1 所示。

当作用于人眼可见光的波长从长到短依次变化时,在人眼中引起的颜色感觉将是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫各色。有时我们也用频率来描述电磁波。其波长和频率有如下关系式

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT \quad (1.1)$$

式中, λ 为波长; c 为光速($c=3\times 10^8\text{m/s}$); f 为频率(Hz); T 为周期(s)。

物体的颜色与可见光是密切相关的,光是色存在的条件,色是光引起视觉的反映。彩色并不只是物体本身的属性,也不只是光的属性。严格地讲,彩色是一个心理学的概念,就是说,它是由客观量和主观量所共同确定的。如果一个物体自身能发光,它所呈现的颜色将由其辐射光谱所决定。而自身不发光的物体呈现出颜色,则是光在该物体表面造成反射的结果。总之物体表面反射系数的光谱特性,照明光的光谱分布以及人眼的光谱灵敏度特性,这三个因素的乘积代表了人眼所看到的颜色。

1.2 人眼的视觉特性

视频技术与人眼的视觉特性有着密切的关系。例如图像清晰度太低,则不能为观众所满意,反之,如果图像细节高于人眼的分辨力,这将无意义地使设备复杂化。要不是人眼具有视觉惰性和空间混色的特性,很难想象电影和电视将是个什么样子。这就不难理解,为什么在研究视频图像信号之前,要简单地介绍一下人眼的视觉特性。

1.2.1 视觉的光谱灵敏度

光源的辐射功率是一个与视觉特性无关的客观物理量,象其它波长范围的电磁辐射一样,是可以物理仪器测量的。但是人眼对辐射功率相同而波长不同光的敏感程度不同,所以辐射功率还不足以反映可见光的特性。只有把辐射功率与人眼的视觉特性相联系而评价,才能正确反映可见光的特性。

人眼的光谱灵敏度因人而异,所以只能采用统计灵敏度,它是从调查许多人的视觉后得出的平均灵敏度。为了确定人眼对不同波长光谱的视觉灵敏度,可以在产生相同亮度感觉的情况下,分别测出各种波长光的辐射功率 $P(\lambda)$ 。 $P(\lambda)$ 越小,说明人眼对该波长光的灵敏度越高;反之则低。因此,用 $P(\lambda)$ 的倒数可以衡量视觉对波长为 λ 的光的敏感程度,表征这种关系的函数称为视敏函数。并用 $K(\lambda)$ 表示,即 $K(\lambda)=1/P(\lambda)$ 。

实测表明,波长为555nm的光有最大视敏函数值 $K_m(\lambda)=K(555)$ 。通常把任意波长的视敏函数 $K(\lambda)$ 与 $K(555)$ 之比定义为相对视敏函数,并用 $V(\lambda)$ 表示,即

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K(555)} = \frac{P(555)}{P(\lambda)} \quad (1.2)$$

统计平均结果,相对视敏函数 $V(\lambda)$ 可以用图1.2所示曲线表示。这条曲线十分重要,它是设计整个视频系统光谱特性的基本依据之一。由曲线可知:(1)在能量相同,波长不同的可见光谱范围内,人眼对不同波长的光,所得到的亮度感觉是不同的。视敏函数曲线的最大值

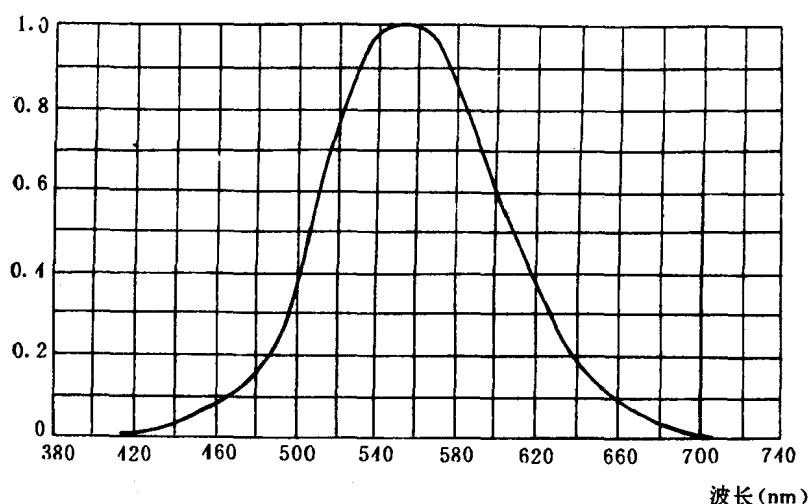


图 1.2 人眼的视敏曲线

位于波长为 555nm 处,在此两侧,随着波长的增加或减少,其值逐渐下降至零。这是由于波长越短时人眼中的光学介质对光波的吸收作用越强,而波长越长时人眼感光细胞的敏感性越差。(2)在可见光谱范围之外,人眼对辐射能量响应为零,即使辐射能量再大,人眼也是没有亮度感觉的。因此人眼可以等效成一个光时间频率的带通滤波器,其频率响应为 $V(\lambda)$ 。 $V(\lambda)$ 值越大,产生一定亮度感觉所需的辐射通量就越小。

1.2.2 人眼的亮度视觉

上节讨论了人眼的相对视敏函数。并绘出了如图 1.2 所示的典型曲线。这一曲线表征正常光照下人眼对不同波长光的敏感程度,也称为明视觉视敏函数曲线,在图 1.3 中用粗线重新画出。

在微弱光线下,这一曲线向左边偏移,如图中细线所示。其最大值所对应的波长为 507nm,而明视觉曲线最大值所对应的波长为 555nm,两者相差近 50nm。相当于人眼这只带通滤波器的中心频率左移了 5×10^{13} Hz。

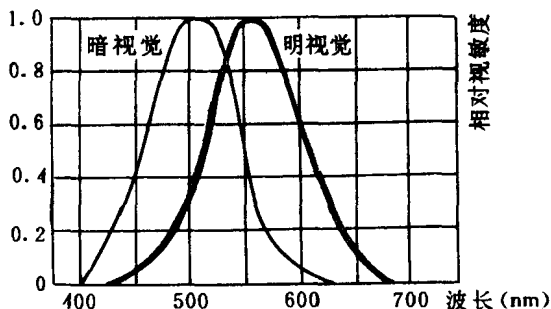


图 1.3 相对视敏函数曲线

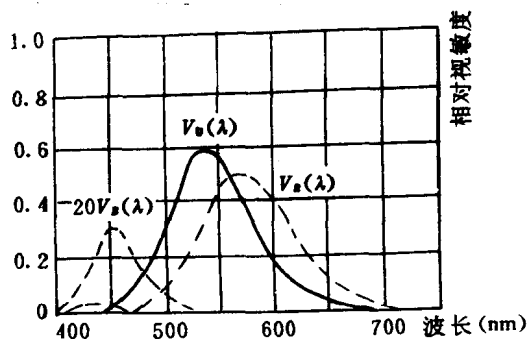


图 1.4 三种锥状细胞的相对视敏函数曲线

1.2.3 人眼的彩色视觉

彩色和非彩色总称为颜色。非彩色是指白色、黑色和各种深浅不同的灰色,它们可以排成一个系列,称之为白黑系列。而彩色是指白黑系列以外的各种颜色。它有三个基本参量:亮度、色调和饱和度。并称之为彩色三要素。

亮度表示某彩色光所引起的视觉感应强度,也就是明暗程度。一般说来,彩色光的功率越大,感觉也就越亮;反之,感觉越暗。物体的亮度除与照射光的功率有关外,还和反射(或透射)率有关,若物体的反射(或透射)率越大,则越亮;反之,则越暗。亮度所转换的电信号称之为亮度信号,它是黑白视频图像信号的主要物理量。由于当代广播电视是兼容的,所以亮度信号也是彩色电视需要传送的信号之一。

色调表示颜色的类别,可见光谱不同波长的辐射在视觉上表现为各种色调,如红、橙、蓝等。注意,光源的色调只决定于辐射的光分布,而物体的色调决定于光源的光谱分布和物体对各波长辐射所固有的反射(或透射)特性。

饱和度表示颜色的深浅(浓淡)程度。可见光谱中各种单色光的饱和度最高(为100%)。彩色中所掺白光越多,饱和度越低;非彩色的饱和度为零。物体色的饱和度决定于该物体表面光谱辐射的选择程度。当物体对光谱某一较窄波段的反射率很高,而对其它波长的反射率很低时,该物体色的饱和度就很高。物体对可见光的所有波长反射度越是趋近于一致,饱和度就越低。色调和饱和度合在一起称为色度。它的电信号称为色度信号或色信号。

人眼为什么会有彩色视觉呢?现代神经生理学证实,在人眼视网膜上存在三种感色的锥状细胞,它们各有自己的相对视敏函数曲线,如图1.4所示。曲线 $V_R(\lambda)$, $V_G(\lambda)$, $V_B(\lambda)$ 分别为红锥状细胞,绿锥状细胞和蓝锥状细胞的相对视敏函数曲线。三者相加即为图1.2所示的明视觉相对视敏函数曲线。这就是说,人眼亮度视觉,是由红、绿和蓝三种彩色视觉合成的综合结果。

从图1.4中的曲线可看出,人眼对于蓝光的视觉灵敏度,要比对红光和绿光低得多。三条曲线的峰值比是 $R:G:B=0.54:0.575:0.053$ 。(图中 $V_B(\lambda)$ 是放大20倍画出)。三条曲线有相当部分是相互重叠的。例如,对于波长为560nm的光,绿细胞和红细胞都会产生相当强的视觉反映。在正常的观察条件下,人眼得到的是二者合成的视觉,不能将它们各自的数值区分开来。

总结上面的讨论与分析,我们可以用一组联立方程来表达人眼的视觉。令 $V_R(\lambda)$, $V_G(\lambda)$ 和 $V_B(\lambda)$ 分别代表图1.4中的三条曲线, $P(\lambda)$ 为照明光源的功率频谱分布,对三种锥状细胞来讲,其光通量分别为

$$\left. \begin{aligned} \Phi_R &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) V_R(\lambda) d\lambda \\ \Phi_G &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) V_G(\lambda) d\lambda \\ \Phi_B &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) V_B(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

大脑极据 Φ_R 、 Φ_G 和 Φ_B 三者的比例感知彩色光的色调和饱和度;而三者的和决定了彩色光的总亮度。

1.2.4 人眼的视觉范围和亮度感觉

视觉范围是指人眼所能感觉到的亮度变化的范围,在数值上等于亮度上、下限之比。人眼对光的视觉范围之广使任何光学仪器望尘莫及。它所能感觉到的亮度低至约万分之一 cd/m^2 (坎德拉每平方米),而高达几百万 cd/m^2 。这样宽的视觉范围是由于人眼的感光作用有随外界光强弱而自动调节的能力,一方面是瞳孔的调节作用,而另一方面是视觉细胞本身的调节作用。但是,人眼不能同时感受到这样大的亮度范围。实际上,当人眼适应了某一环境的平均亮度后,所能分辨的亮度差别的范围就小得多,在平均亮度适当时,视觉范围为 $1000:1$;在平均亮度很低时,视觉范围仅为 $10:1$ 。

人眼的明暗感觉是相对的。人眼在观察实际景物时,亮度感觉并不是完全由景物亮度所决定,还与周围环境的亮度有关。例如,在晴朗的白天,环境的平均亮度约为 10000cd/m^2 ,视觉范围为 $200\sim 20000\text{cd/m}^2$ 。200 和低于 200cd/m^2 的亮度都引起同样的黑色感觉。而环境平均亮度降低为 30cd/m^2 时,视觉范围为 $1\sim 200\text{cd/m}^2$,此时, 100cd/m^2 的亮度就已使人眼感到相当明亮。可见,人眼的亮度感觉随环境亮度的变化而变化,正因为这样,并不反映景物实际亮度的电视和电影,却能给人以真实的亮度感觉。

在人眼的视觉范围内,也并不是亮度一有变化就能感觉到。实际上是亮度变化了 ΔL 后才有所察觉。人眼的亮度感觉差别决定于相对亮度变化。亮度感觉增量 ΔS 可用相对亮度增量 $\Delta L/L$ 来度量,即

$$\Delta S = K' \frac{\Delta L}{L} \text{ 或 } dS = K' \frac{dL}{L} \quad (1.3)$$

经积分后获得亮度感觉的表达式为

$$S = K' \ln L + K_0 = K \lg L + K_0 \quad (1.4)$$

式中, $K = K' \ln 10$; K' 、 K_0 均为常数。式 1.4 称为韦勃—费赫涅尔定律。它表明人眼的亮度感觉 S 和实际亮度 L 的对数成线性关系。

图 1.5 示出实测的亮度感觉和亮度的关系曲线。曲线中有较长的一段是线性的,这与理论推导出的公式 1.4 所示的关系一致。曲线下部的两个分支,表示了两种感光细胞的亮度感觉不同。图中穿过实线上某点的虚线,表明眼睛适应了该点的亮度后的视觉范围及亮度感觉规律。这些虚线表明:(1)当眼睛适应于不同亮度时,其视觉范围不同。(2)同一亮度的景物对适应于不同平均亮度的眼睛,会引起不同的主观亮度感觉;(3)当人眼在适应于某一平均亮度时,“白”、“黑”对应的亮度范围较小,也不由绝对亮度决定。

上述特性给视频图像信号的变换、传送带来了极大的方便,即重现景像的亮度不必等于实际景像的亮度,而只需保持二者间最大亮度 $L_{\max}$ 与最小亮度 $L_{\min}$ 之比值 C 不变。此比值 C 称为图像的对比度,即 $C = L_{\max}/L_{\min}$,这实际就是相对亮度,所不同的只是眼睛在适应于某一平均亮度之后能瞬时地辨别亮度的级差。同时也说明人眼觉察不到的亮度差别在重现图像时也无需精确地复现出来。

1.2.5 人眼的分辨力(视觉锐度)

人眼的分辨力(又称视觉锐度)是人眼刚刚能分辨出被观察物体上邻近两点间对人眼所

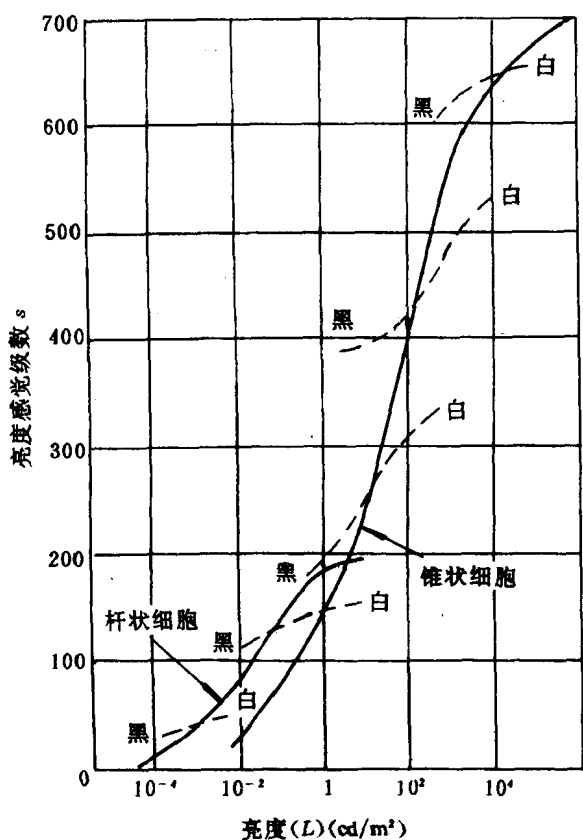


图 1.5 亮度感觉和亮度的关系

张视角 θ 的倒数, 即分辨力 $= 1/\theta$ 。如图 1.6 所示。 L 表示眼睛与图像之间的距离。 d 表示能分辨的两点间最小距离, θ 表示人眼对该两点的视角 (也称分辨角)。若 θ 以分为单位, 则根据图示几何关系, 可得到

$$\theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{L} = 3480 \frac{d}{L} (\text{分}) \quad (1.5)$$

因而, 分辨力等于 $1/\theta$ 。

实际上人眼分辨力不仅与物体在视网膜上的成像位置有关, 与光的照度有关, 还和景物的相对对比度有关。另外, 观察静止和运动物体时人眼的分辨力也不相同, 运动速度越高, 分辨力越低。在电视技术中, 将根据这一特性, 来决定扫描行数。

人眼对彩色细节的分辨力远比对亮度细节分辨力低; 对于不同色调的细节, 其分辨力也不一样。表 1.1 列出由实验测得的几种彩色细节分辨力。

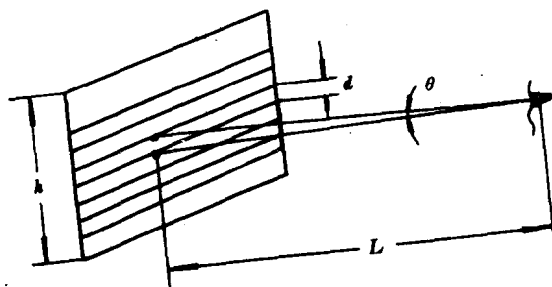


图 1.6 人眼的分辨力

由表中的数据看出, 人眼分辨彩色细节的能力较差。因此, 彩色电视系统在传送视频图像信号时, 细节部分不传送彩色信息, 而只传送黑白信息, 即用它的亮度信息来代替, 从而节省传输通道的频带。这就是高频混合原理 (大面积着色原理) 的理论根据。

表 1.1 人眼对彩色细节的相对分辨力

细节色别	黑 白	黑 绿	黑 红	黑 蓝	红 绿	红 蓝	绿 蓝
相对分辨力	100%	94%	90%	26%	40%	23%	19%

1.2.6 人眼的视觉惰性和闪烁感觉

实验证明,人眼的主观亮度感觉是实际亮度出现后近似按指数规律上升的;当亮度突然消失后,人眼的亮度感觉并不立即消失,而是近似按指数规律下降。人眼的亮度感觉总是滞后于实际亮度的特性称为视觉惰性。图 1.7(a)表示刺激人眼的光脉冲,图 1.7(b)表示人眼的亮度感觉,它滞后于实际光信号。图中 $t_2 \sim t_3$ 就是人眼视觉惰性的残留时间。一般约为 0.1 秒,由于残留时间有一定限度,当作用于人眼的光脉冲重复频率不够高时,人眼已能分辨出有光和无光的亮度差别,因而产生一明一暗的感觉,这种现象称为闪烁效应。但是将光脉冲的频率增加到某一定值时,闪烁即消失,而给人以稳定的亮度感觉,我们把恰好感觉不到闪烁的频率称为临界闪烁频率,并用 f_c 表示。 f_c 和许多因素有关,但最主要的是光脉冲的最大亮度 L_m 。它们之间关系可用如下经验公式表示

$$f_c = a \lg L_m + b \quad (1.6)$$

式中, a, b 均为常数。当 L_m 用 cd/m^2 为单位时,则 $a \approx 9.6, b \approx 26.6$,若电视屏幕的亮度为 $100 \text{cd}/\text{m}^2$,于是求得 $f_c = 45.8 \text{Hz}$ 。随着亮度提高 f_c 也将增大。

必须指出,式 1.6 是经验公式,因为 f_c 还和亮度变化幅度,相继两幅画面的亮度分布,画面色彩,观看者与画面之间的距离以及环境亮度条件等因素有关。所以式 1.6 只能用于作出近似计算。

人眼的视觉惰性早在电影技术中就得到应用,众所周知,电影片是由一幅一幅画面组成,每幅画面的内容在相对位置都有些变动,由于人眼的视觉惰性,当这些画面快速地连续出现时,就得到了连续的活动影像的感觉。同样人眼的视觉惰性也是电视技术中,顺序扫描分解与合成图像的基础。场频、帧频的选择,也充分考虑了人眼的这种视觉惰性和闪烁感觉。

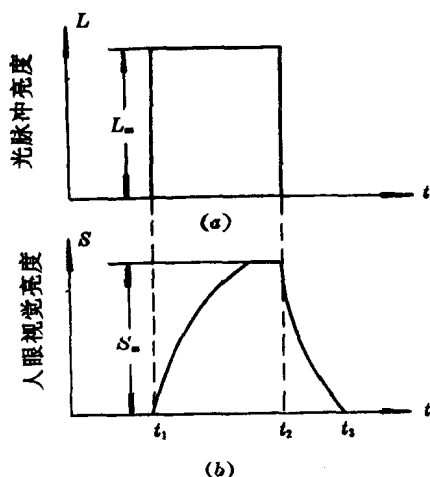


图 1.7 人眼的视觉惰性

1.3 色度学基础

色度学是研究人眼对颜色的感觉规律,并提出测量和系统地标定颜色的一门科学。它在各个领域中都起着重要的作用。本节仅对颜色光的度量、分解、复合等电视领域所涉及的问题进行讨论,以便掌握摄像机的工作原理和彩色视频图像信号的特点。

1.3.1 三基色原理

所谓三基色原理,是指选择三种独立的色(简称基色),将它们按不同的比例混合,就可得到不同的彩色;反之,任何彩色,也能分解为三种基色。所谓独立,就是说其中任何一种基色都不可能由另外两种基色混合而得。

根据三基色原理,可以采用不同的三基色组。在电视技术中选用哪三基色合适呢?根据对人眼彩色视觉的分析,选择红色(R),绿色(G)和蓝色(B)作为三基色比较合适。这是因为人眼的三种锥状感光细胞分别对红、绿和蓝光最敏感,红、蓝分布在可见光谱的两端,绿色处在中间,它们在光谱位置上相隔较远,它们直接相加(也就是没有负的系数)时,配得的彩色范围也广,几乎能重现自然界的各种彩色。又红、绿和蓝光是客观存在的色光,因而,该系统又称为物理三基色色度制,或称为RGB计色制。但这种色度制计算起来很不方便,又不易理解。因而,1931年CIE推荐一个新的国际通用的色度制,就是目前常用的XYZ制(又称为计算三基色制或称为XYZ计色制)。

1.3.2 彩色的复现

由于人们在看彩色电视时,判断电视机所显示彩色是否真,在并没有条件和实际景物现象进行比较时,只能和大脑中的记忆色(或愿望色)进行比较,因此在彩色电视系统中,即使有微小的“失真”,但只要符合人们的视觉要求,则复现的彩色给人们的感觉也将是美好的,事实上彩色电视中受到好评的复现彩色也确实地反映实际景像的彩色。

电视系统真实地复现被摄物色度学值,将涉及光源、镜头、分色棱镜、摄像管、显像管、荧光粉、线性校色矩阵中的色度学问题,以及摄像机,彩色监视器,接收机的调整等因素和传输过程中的失真,另外,还应考虑人眼的视觉生理和心理学中的一些问题以及观看条件,但是,在整个过程中起主要作用的,作为彩色复现基础的则是显像三基色。

1. 显像三基色

显像三基色由彩色荧光粉决定。作为显像三基色的彩色荧光粉要求发光效率高,色域大,但两者是有矛盾的。因为仅就色域大来看,显像三基色应尽可能接近XYZ光谱三基色,重现彩色鲜艳。但从视敏函数曲线来看,在波长700nm(红基色)和435.8nm(蓝基色)处函数值很小,为获得足够亮度的红,蓝基色光,所需能量很大,目前荧光粉材料和其他技术难以实现;另一方面自然界高饱和度的纯色光也很少见。因此采取折衷方案,略为减小色域以换取高亮度和尽量高饱和度,而且重现高亮度比重现高饱和度更为重要。

原来NTSC、PAL、SECAM三种制式的荧光粉的色度坐标是一致的,随着彩色电视的发展,发光效率高的荧光粉不断被研制出来,由于各国的生产实际情况,使得实际采用的荧光粉的色度坐标很不统一。表1.2分别列出NTSC制和PAL制显像三基色的色度坐标数值。根据这些数值,可确定它们在 xy 色度图中的位置,如图1.8所示。从图中看起来PAL制荧光粉的复现色域小于NTSC制荧光粉的复现色域,因为 $[R_{.1}]$ 、 $[G_{.1}]$ 、 $[B_{.1}]$ 组成三角形大于 $[R_{.2}]$ 、 $[G_{.2}]$ 、 $[B_{.2}]$ 组成的三角形。

表 1.2 显像三基色的色度坐标

制 式		NTSC 制(第一组)				PAL 制(第二组)			
基色与白光		$[R_{.1}]$	$[G_{.1}]$	$[B_{.1}]$	$C_{白}$	$[R_{.2}]$	$[G_{.2}]$	$[B_{.2}]$	D_{45}
色度坐标	x	0.670	0.210	0.140	0.310	0.640	0.290	0.150	0.313
	y	0.330	0.710	0.080	0.316	0.330	0.600	0.060	0.329

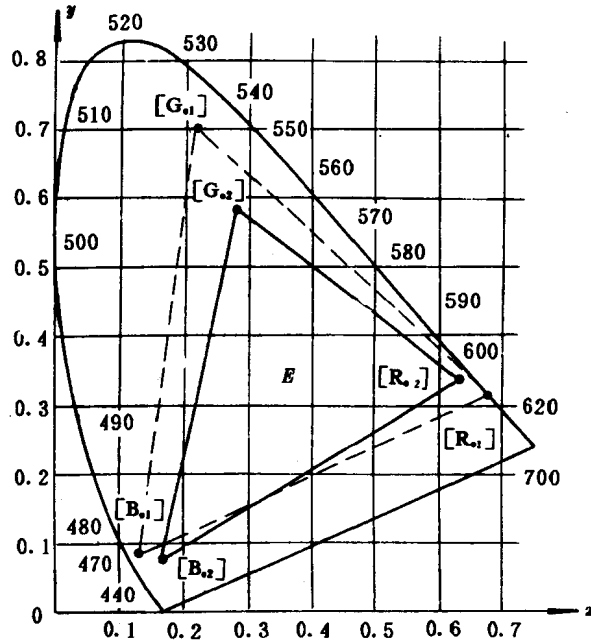


图 1.8 彩色电视显像的色度范围

但是, PAL 制荧光粉的发光效率高些, 配出来彩色仍比较鲜艳。需要指出的是, 由红、绿、蓝三种荧光粉显示的色域是指在黑暗的环境条件下观看的, 若环境亮度增加时, 这种缩小的程度就减小。因此, 发光效率高的荧光粉, 由三基色构成的三角形色域虽小, 但所显示的彩色却比饱和色荧光粉显示的亮度高, 还不易受环境亮度的影响, 所以从主观效果来讲 PAL 制荧光粉优于 NTSC 制的荧光粉。

2. 亮度公式

显像三基色单位 $[R_e]$, $[G_e]$, $[B_e]$ 选定后, 由它们配出的彩色光可表示为

$$\left. \begin{aligned} Fe &= Re[R_e] + Ge[G_e] + Be[B_e] \\ Fe &= X[X] + Y[Y] + Z[Z] \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

NTSC 制规定: $1[R_{.1}] + 1[G_{.1}] + 1[B_{.1}] = 1$ 光瓦 $C_{白}$ 光。如已知 $[R_{.1}]$, $[B_{.1}]$ 在 xy 色度图中的坐标位置, 则可求出显像三色系数 $R_{.1}$, $G_{.1}$, $B_{.1}$ 和 XYZ 计色制中 X , Y , Z 三色系数之间的关系式为