

彩色电视原理

周桂友 杨先富 张锐生

东南大学出版社

内 容 提 要

本书由无线电技术与信息系统教材编审委员会通信教材编审组审定,作为全国高等学校工科电子类无线电技术专业第三轮统编教材。

全书主要内容有:彩色电视理论基础、彩色电视传象原理、电视图象传送制式、彩色广播电视系统、模拟彩色电视接收机原理、数字电视接收机原理、电视测量原理以及卫星电视与有线电视。全书以彩色电视广播系统为主线,详细阐述了模拟彩色电视接收机的电路原理,并且对数字电视接收机原理和诸如MAC和HDTV等新一代电视系统作了比较系统的介绍。本书各章均附有思考题和习题。

本书可作为高等院校无线电技术专业的教材,也可供从事电视科研、生产以及维护工作的科技人员参考之用。

责任编辑 朱经邦

彩 色 电 视 原 理

周桂友 杨先富 张锐生

东南大学出版社出版

江苏省南京市四牌楼2号

江苏省新华书店发行 江苏省高邮县彩色印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张 13 1/2 字数 430千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数 1—8000册

ISBN 7-81023-101-4

TN·9 定价: 4.60元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不断的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由电子工业部“无线电技术与信息系统”教材编审委员会通信教材编审组评选审定为全国统编教材。本书责任编委为编审组组长陆大镛教授。

本教材由东南大学主编,清华大学尤婉英教授主审。

本课程的参考学时数为60~80。全书内容共分八章,第一、二章介绍彩色电视的基本理论和传象原理;第三章介绍兼容性彩色电视的传送制式;第四章以广播电视系统为线索,主要讨论电视图象信号的产生、校正和彩色全电视信号形成、切换以及同步机、录象机、发射机等;第五章讨论模拟集成电路彩色电视接收机的组成、工作原理、主要技术性能以及对信号的处理方法;第六章介绍电视信号的数字化处理以及数字电视接收机原理;第七章讨论电视测量的基本原理;第八章讲述卫星电视广播和有线电视系统。每章末均附有思考题和练习题。书末还以附录形式给出了TA系列四片和两片集成电路彩色电视机的典型电原理图。

本书是在东南大学无线电系多年来各有关教师的教学和科研实践的基础上编写而成的。第一至四章和第八章的第一节由周桂友执笔,第五章由杨先富执笔,第六、七章和第八章的第二节由张馄生执笔。全书由周桂友统稿,东南大学沈正元副教授对第六章中某些内容提出了意见(张馄生在与出版社联系方面作了较多的具体工作),在此表示诚挚的感谢。限于编者水平,书中疏漏及错误之处在所难免,请读者不吝指正。

编 者

于东南大学

目 录

第一章 彩色电视理论基础

§ 1.1 光度学基础.....	(1)
1.1.1 光的特性.....	(1)
1.1.2 光的度量.....	(2)
§ 1.2 人眼的视觉特性.....	(4)
1.2.1 人眼的明暗视觉与彩色视觉.....	(5)
1.2.2 人眼的分辨力.....	(5)
1.2.3 人眼的视觉惰性.....	(6)
1.2.4 人眼的视觉范围和亮度感觉.....	(7)
§ 1.3 色度学基础.....	(8)
1.3.1 彩色的三要素.....	(8)
1.3.2 三基色原理.....	(9)
1.3.3 彩色的度量和表示方法.....	(11)
1.3.4 显象三基色和亮度公式.....	(14)
1.3.5 彩色电视图象的传送.....	(16)
思考题与习题.....	(17)

第二章 彩色电视传象原理

§ 2.1 电视图象顺序传送原理.....	(18)
2.1.1 电视图象的组成及其函数表示法.....	(18)
2.1.2 图象顺序传送原理.....	(18)
2.1.3 光电转换原理.....	(19)
§ 2.2 电视扫描原理.....	(21)
2.2.1 逐行扫描.....	(21)
2.2.2 隔行扫描.....	(22)
2.2.3 扫描的同步.....	(24)
§ 2.3 电视图象的基本参数.....	(28)
2.3.1 图象的尺寸与几何形状.....	(28)
2.3.2 场扫描频率的选择.....	(31)
2.3.3 扫描行数及有关参数的确定.....	(31)
2.3.4 图象亮度与色度的非线性失真.....	(34)
§ 2.4 视频图象信号.....	(38)
2.4.1 亮度信号及其频谱.....	(38)
2.4.2 色差信号.....	(40)
2.4.3 色度信号频带压缩与频谱交错原理.....	(41)
2.4.4 恒定亮度原理及其失效.....	(43)

2.4.5 标准彩条信号.....	(45)
思考题与习题.....	(47)
第三章 电视图象传输制式	
§ 3.1 图象传输制式概述.....	(49)
§ 3.2 NTSC 制.....	(49)
3.2.1 正交平衡调幅.....	(49)
3.2.2 色度信号幅度压缩.....	(51)
3.2.3 同步解调和色同步信号.....	(53)
3.2.4 副载波频率的选择.....	(55)
3.2.5 实际的 NTSC 制信号.....	(57)
3.2.6 NTSC 制编码、解码组成方框图.....	(59)
3.2.7 NTSC 制的主要技术性能.....	(59)
§ 3.3 PAL 制.....	(61)
3.3.1 PAL 制的色度信号和色同步信号.....	(61)
3.3.2 逐行倒相补偿相位失真原理.....	(62)
3.3.3 逐行倒相色度信号的频谱结构.....	(63)
3.3.4 PAL 制副载频的选择.....	(65)
3.3.5 PAL 制色度信号分离与梳状滤波器.....	(66)
3.3.6 PAL 制的主要技术性能.....	(71)
§ 3.4 SECAM 制简介.....	(74)
3.4.1 SECAM 制基本原理.....	(74)
3.4.2 SECAM 制编、解码原理方框图.....	(77)
§ 3.5 新一代电视制式展望.....	(78)
思考题与习题.....	(81)
第四章 彩色电视广播系统	
§ 4.1 广播电视系统的基本构成.....	(82)
§ 4.2 电视摄像机.....	(84)
4.2.1 彩色电视摄像机的组成.....	(84)
4.2.2 摄像机的光学系统.....	(85)
4.2.3 电视摄像器件.....	(87)
4.2.4 视频图象信号的处理.....	(92)
§ 4.3 PAL 制编码器.....	(101)
4.3.1 PAL 制编码器的组成.....	(101)
4.3.2 编码矩阵电路.....	(102)
4.3.3 色度信号通道.....	(103)
4.3.4 彩色全电视信号形成.....	(105)
§ 4.4 视频信号切换.....	(105)
4.4.1 视频信号切换概述.....	(105)

4.4.2 快切换	(106)
4.4.3 慢切换与特技效果	(106)
§4.5 彩色电视同步机	(108)
4.5.1 电视同步机总方框图	(108)
4.5.2 25 Hz 偏置与PAL耦合器	(109)
4.5.3 同步机定时部分	(110)
4.5.4 同步机形成部分	(110)
4.5.5 同步机之间的锁相原理	(112)
§4.6 电视磁带录象机	(113)
4.6.1 磁带录象机概述	(113)
4.6.2 磁带录象机的基本构成	(113)
4.6.3 磁带录象机的录放原理	(114)
4.6.4 VTR的图象信号电路系统	(117)
§4.7 电视发射机	(118)
4.7.1 电视发射机的组成	(119)
4.7.2 电视图象发射机的特点	(120)
4.7.3 电视差转机	(122)
思考题与习题	(123)

第五章 模拟彩色电视接收机原理

§5.1 IC彩色电视接收机的组成	(124)
§5.2 彩色电视接收机主要性能	(125)
5.2.1 接收机的幅频特性和选择性	(125)
5.2.2 接收机的灵敏度和杂波系数	(127)
5.2.3 接收机各级的增益分配	(128)
5.2.4 接收机的AGC特性	(128)
§5.3 高频调谐器	(129)
5.3.1 高频调谐器的组成和主要性能要求	(129)
5.3.2 电子调谐器	(131)
5.3.3 电子频道预选器	(134)
§5.4 图象中频电路	(136)
5.4.1 图象中频电路的组成和工作原理	(136)
5.4.2 声表面波滤波器和前置放大器	(137)
5.4.3 图象中频放大器	(139)
5.4.4 视频同步检波器	(140)
5.4.5 预视放级	(142)
5.4.6 AGC电路	(143)
5.4.7 AFT电路	(145)
§5.5 伴音电路	(148)

5.5.1 伴音电路的组成和工作原理	(148)
5.5.2 差分峰值鉴频器	(149)
5.5.3 直流音量控制电路	(151)
5.5.4 伴音功放输出级	(152)
§5.6 PAL 制彩色信号解码器	(152)
5.6.1 亮度信号处理电路	(152)
5.6.2 色度信号处理电路	(154)
5.6.3 基色矩阵与视频输出级	(171)
§5.7 行、场扫描电路	(172)
5.7.1 行、场扫描电路方框图	(172)
5.7.2 行扫描电路	(173)
5.7.3 场扫描电路	(180)
§5.8 彩色显象管及其附属电路	(186)
5.8.1 自会聚彩色显象管	(186)
5.8.2 显象管附属电路	(190)
§5.9 两片集成电路彩色电视机简介	(193)
思考题与习题	(197)

第六章 数字电视接收机原理

§6.1 概述	(199)
6.1.1 电视图象信号的数字化	(199)
6.1.2 视频模/数和数/模转换器	(205)
6.1.3 数字电视接收机的基本组成	(207)
§6.2 电视机的微机控制、调谐系统	(209)
6.2.1 电视机的微机控制、调谐系统方框图	(209)
6.2.2 电压综合方式的选台预置系统	(211)
6.2.3 频率综合方式的选台预置系统	(215)
§6.3 数字电视图象信号的处理	(217)
6.3.1 电视图象信号的二维及三维频谱特性	(217)
6.3.2 亮度、色度信号的分离	(223)
6.3.3 噪声抑制	(228)
6.3.4 图象增强	(230)
6.3.5 重影消除	(231)
6.3.6 无闪烁处理	(233)
§6.4 画中画电视接收机的原理	(235)
6.4.1 PIP电视的画面参数	(236)
6.4.2 子画面的取样和量化	(237)
6.4.3 PIP整机方框图	(237)
§6.5 超大规模数字集成电路电视接收机	(238)

§ 6.6 电视伴音信号数字化的例子	(245)
思考题与习题	(246)
第七章 电视测量原理	
§ 7.1 概述	(247)
7.1.1 电视测量的定义和分类	(247)
7.1.2 电视图象质量的主观评价与客观测量	(247)
§ 7.2 线性失真的测量	(248)
7.2.1 线性失真测量的分类	(248)
7.2.2 标准测试信号	(249)
7.2.3 亮度信号线性失真的测量	(254)
7.2.4 色度信号线性失真的测量	(258)
7.2.5 色度-亮度时延差和增益差的测量	(259)
7.2.6 幅频特性和群时延频率特性的测量	(260)
§ 7.3 非线性失真的测量	(261)
7.3.1 非线性失真测量的分类	(261)
7.3.2 亮度信号非线性失真的测量	(262)
7.3.3 色度信号非线性失真的测量	(263)
§ 7.4 插入测试行信号	(265)
§ 7.5 视频杂波的测量	(266)
§ 7.6 矢量示波器	(268)
思考题与习题	(270)
第八章 卫星电视与有线电视	
§ 8.1 卫星电视广播	(271)
8.1.1 卫星电视广播发展概况	(271)
8.1.2 卫星电视广播系统	(272)
8.1.3 卫星电视广播的信号处理	(274)
§ 8.2 有线电视系统	(279)
8.2.1 有线电视	(279)
8.2.2 光缆电视	(281)
思考题与习题	(283)
参考文献	(284)
附录	
附录 1 我国电视频道的划分	
附录 2 37SYC-2型彩色电视机电原理图	
附录 3 47SYC-2型彩色电视机电原理图	

第一章 彩色电视理论基础

自然界五彩缤纷的景物和图象，是通过光的传递才映入人的眼帘。没有光的传递作用，人们就看不见景物和图象，更察觉不到景象的颜色。电视就是利用光-电-光转换的方法，将景象的亮度和彩色信息转换成相应的电信号，经过处理与传输，最终在电视机的屏幕上重现彩色电视图象。由此可知，电视技术与视觉生理学、光度学和色度学有着密切的关系，它们是电视技术发展的理论基础。在讨论电视原理之前，应作适当介绍。

§ 1.1 光度学基础

1.1.1 光的特性

一、电磁辐射与可见光谱

我们知道，能量可以用电磁波的形式在空间传播，其频率范围为 $10^5 \sim 10^{25} \text{ Hz}$ ，与它对应的波长如图1-1所示。由图可见，电磁波的波谱范围很宽，包括无线电波、红外

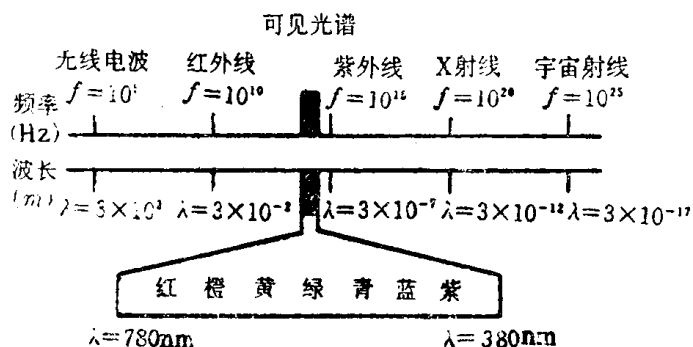


图 1-1 电磁波辐射波谱

线、紫外线、X射线和宇宙射线等。在这个波谱中， $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 附近的一小段频率范围是可见光谱，所以，可见光谱同无线电波一样，也是电磁波，只是可见光的频率较高，波长较短。如果把可见光谱加以扩大，就可看出不同波长的光呈现不同的颜色，随着波长由长到短，可以分为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等七种颜色如图1-1所示。单色光只包含单一波长的光；复合光则包含有两种或两种以上波长的光，并给人眼以混合色的感觉。地球上的光主要来自太阳辐射的电磁波，其中波长在 $380 \sim 780 \text{ nm}$ 的可见光，是上述七种颜色的复合光，给人眼以白光的综合感觉。广播电视一般只利用可见光。

二、光源和物体颜色

为了便于对白光进行比较和色度计算，通常用绝对黑体^①的辐射温度——“色温”作

① 绝对黑体是指在任何温度下，对任何波长的光都全部吸收的物体。

为标准。色温的单位是用绝对温度开氏度(K)表示。它并非光源本身的实际温度,而是用来表征光源光谱特性的一个参数。例如,钨丝灯泡的温度在2800K时所发出的白光,与温度为2854K的绝对黑体所辐射的白光完全相同,则称钨丝白光的色温为2854K,而不是2800K。

能自然发光的物体称为光源。太阳是最大的自然光源,它在地面的辐射光谱随季节、气候、时辰和海拔高度等的不同而发生变化,因此,太阳光不便于作为实用的标准光源。电视图象能否高保真地反映自然景象的彩色,与选用的光源有关。国际上规定选用A、B、C、 D_{65} 和E五种标准白光作为标准光源。

C、 D_{65} 常被用来作彩色电视标准光源。C相当于白天的自然光,色温接近于6770 K; D_{65} 相当于白天的平均光照,色温接近于6500K。它们的相对功率波谱如图1-2所示。E光源是一种假设的等能白光($E_{\text{白}}$),色温接近于5500K,功率波谱均匀分布(见图1-2)。实际上 $E_{\text{白}}$ 并不存在,仅为了简化色度学中的计算而引入的一种假设的光源。

近年来发展了一种新式卤钨灯,色温为3200K,而且较稳定。这种灯可用于彩色电视和电影,常作为演播室和摄影棚中的光源。

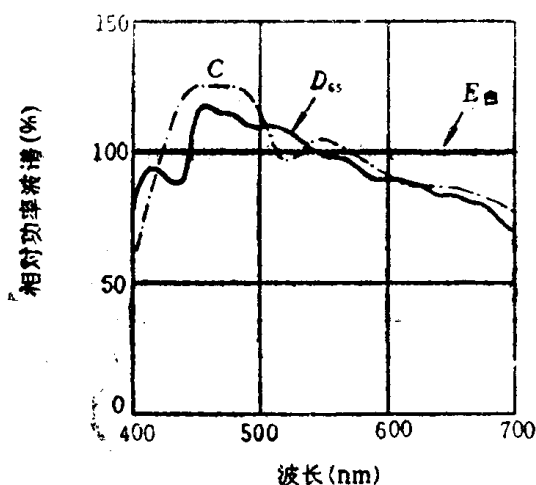


图 1-2 C、 D_{65} 、 $E_{\text{白}}$ 的相对功率波谱

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。在日常生活中,人们往往把颜色单纯地归属于物体本身的性质,比方说,这张纸是白色的,那块布是红色的等等。实际上,人眼所看到的物体颜色,除了物体本身的光谱反射或透射特性之外,还和光的照明条件有关。纸之所以是白色的,是因为照明的光具有多种波长的混合白光,而白纸对于不同波长的光又具有几乎同样反射的特性。如果照射白纸的是一束红光,则白纸将呈红色,因为只有红光被反射。若将一束红光照射在蓝纸上,蓝纸看起来将呈黑色,因为红光完全被吸收而又无蓝光被反射。上述事实说明,人眼看到的彩色是照明光源的光谱分布与物体对光谱中不同波长有选择的吸收和反射的综合效果。如果所观察的物体自身能发光,它的颜色将由其辐射光谱决定。

1.1.2 光的度量

研究可见光能量的计量科学称为光度学。下面讨论电视技术中常用的几种光的物理

计量。

一、相对视敏函数

如前所述,可见光是一种电磁波辐射的能量,它的度量必须同视觉灵敏度联系起来。人眼的灵敏度因人而异,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。因此视觉对波长为 λ 的光的视敏度 $V'(\lambda)$ 可用 $P(\lambda)$ 的倒数来衡量,即 $V'(\lambda) = 1/P(\lambda)$ 。统计测试数据表明,波长为555nm的光,其视敏度 $K(555)$ 最大。通常把任意波长光的视敏度 $K(\lambda)$ 与 $K(555)$ 之比称为相对视敏函数,并用 $V(\lambda)$ 表示,即

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K(555)} = \frac{P(555)}{P(\lambda)} \quad (1-1)$$

统计平均结果,相对视敏函数 $V(\lambda)$ 可以用图1-3所示的曲线表示。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

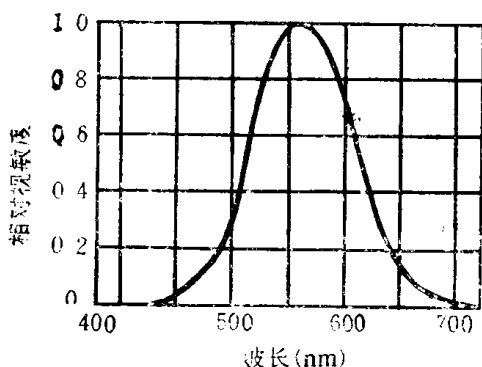


图 1-3 相对视敏函数曲线

是不同的,其中对波长为555nm的光,感觉到的亮度最大;(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。

二、光通量

光通量是按人眼的光感觉来度量光的辐射功率。由于人眼对不同波长光的亮度感觉不同,用人眼的光感觉来度量某一波长(λ_1)光的辐射功率,这不仅与其辐射功率有关,而且必须计入人眼对该波长光的视敏度。设某单色光的波长为 λ_1 ,则该波长的光通量 $F(\lambda_1)$ 就等于它的辐射功率 $P(\lambda_1)$ 与相对视敏函数 $V(\lambda_1)$ 的乘积,即

$$F(\lambda_1) = P(\lambda_1) \cdot V(\lambda_1) \quad (1-2)$$

当波长 $\lambda = 555\text{nm}$ 时, $V(555) = 1$,这时1瓦辐射功率产生的光通量定为1光瓦。在其他波长时,由于 $V(\lambda_1) < 1$,1瓦辐射功率产生的光通量都小于1光瓦。如果光源的辐射功率波谱为 $P_\lambda(\lambda)$,则总的光通量 $F(\lambda)$ 应为各个波长分量光通量的总和,即

$$F(\lambda) = \int_{780}^{380} P_k(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (\text{光瓦}) \quad (1-3)$$

因为人眼有光感觉的波长是380~780nm, 此二数值就应是式(1-3)积分的上下限。

国际通用的光通量单位为流明。光瓦与流明之间的关系为: 1光瓦 = 680流明, 或 1流明 = 1/680光瓦。当光通量用流明表示时, 式(1-3)可写成

$$F(\lambda) = 680 \int_{780}^{380} P_k(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (\text{流明}) \quad (1-4)$$

一只40瓦的白炽钨丝灯泡可输出468流明的光通量, 其发光效率 $\eta_w = 468/40 = 11.7$ 流明/瓦; 一只40瓦日光灯可输出2100流明的光通量, 发光效率 $\eta_w = 2100/40 = 52.5$ 流明/瓦。计算表明, 上述两种照明灯具的发光效率是很低的, 与理想的680流明/瓦相差甚远。今后应开发新型人工光源, 除了要求它们有较高的发光效率和使用寿命之外, 在彩色电视照明技术中还要有较好的光谱特性。

三、光强、亮度、照度

光强 光源在单位立体角内发出的光通量谓之发光强度, 简称光强, 一般用 I 表示。它与光通量的关系可由下式表示

$$\begin{aligned} I &= \frac{dF}{d\omega} && (\text{烛光}) \\ F &= \int I d\omega && (\text{流明}) \end{aligned} \quad (1-5)$$

光强的单位为烛光, 1烛光 = 1流明/立体弧度。

亮度 亮度是表示发光面的明亮程度。设 ds 为发光面的面积, dI_n 为发光面法线上的光强, 则在发光面法线方向上的亮度为

$$B = \frac{dI_n}{ds} \quad (1-6)$$

亮度单位用熙提或尼特(丝熙提)表示, 1熙提 = 1烛光/平方厘米, 1尼特 = 1烛光/平方米。可以计算, 1熙提 = 10^4 尼特(丝熙提)。

照度 它决定于投射到物体表面的光通量 dF 与该表面的面积 ds 之比, 通常用 E 表示

$$E = \frac{dF}{ds} \quad (\text{勒克司}) \quad (1-7)$$

1勒克司 = 1流明/平方米。照度可直接用照度计测量。例如, 黑夜的照度为0.001~0.02勒克司, 读书需要的照度为50勒克司, 电视演播室需要的照度为200~300勒克司。

§ 1.2 人眼的视觉特性

评价电视图象的综合质量, 需要多种仪器进行测量、比较和鉴定, 但最终是供人眼观看的, 并由它作出评定。故只有充分了解人眼的视觉特性之后, 才能向电视系统提出要求, 合理地选择其参数, 以求得电视图象的真实感和艺术感, 并解决主观要求与当前技

术、经济可能性之间的矛盾。

1.2.1 人眼的明暗视觉与彩色视觉

人眼的视网膜上有大量的杆状细胞和锥状细胞，前者对明暗程度很敏感，对彩色的分辨却很迟钝。后者既能区别光的强弱，又能辨别光的颜色。杆状细胞对弱光的灵敏度要比锥状细胞高得多，但对强光失去作用；锥状细胞要在强光的作用下才能引起视觉，产生色感，分辨细节。这样，在弱光时，杆状细胞起作用，只能看到黑白景象；在强光时，锥状细胞起作用，能分辨颜色与细节。

关于彩色视觉，人们曾做过大量实验来解释锥状细胞辨色原理，并提出视觉三色原理的假说。它认为，锥状细胞有三种，分别对红、绿、蓝三种光最敏感，并称之为红敏细胞、绿敏细胞、蓝敏细胞，三种细胞对可见光的反应灵敏度曲线如图1-4所示。由图可知，曲线 $V_R(\lambda)$ 、 $V_G(\lambda)$ 、 $20V_B(\lambda)$ 的最大值分别在光谱的红、绿、蓝区域内， $V_Y(\lambda)$ 为它们的综合视敏曲线。当一束光射入人眼时，三种锥状细胞就会产生不同的反应，例如一束黄色光射入视网膜时，只对红敏细胞和绿敏细胞产生刺激，引起黄色视觉；一束品色光射入时，对红敏细胞和蓝敏细胞产生刺激，引起品色视觉。不同颜色的光对三种锥状细胞的刺激量是不同的，产生的彩色视觉各异，从而使人们能够分辨出五光十色的颜色。必须指出，人眼存在红、绿、蓝三种锥状细胞，至今还是一种假说，未能得到生理解剖学的证实。

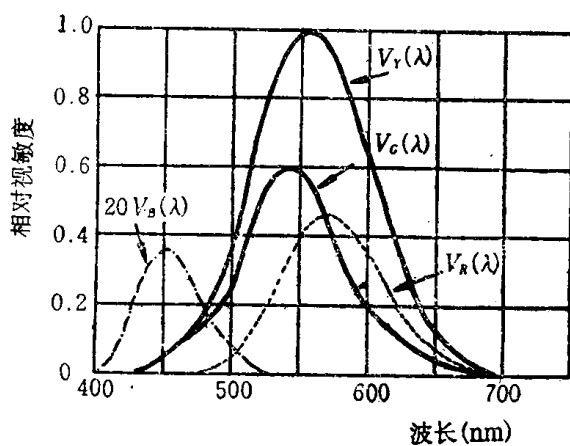


图 1-4 三种锥状细胞的相对视敏函数曲线

1.2.2 人眼的分辨力

设在一块白色的屏幕上两个相距很近的小黑点，当观察者在一定距离观看时，眼睛分辨不出两个黑点，而是一个连续的黑点。这一现象说明，人眼分辨景物细节的能力有一个极限值，我们将这种分辨细节的能力称为眼睛的分辨力或视觉锐度。它的定义是：眼睛对被观察物上相邻两点之间能分辨的最小距离所对应的视角 θ 的倒数，即分辨力 $= 1/\theta$ ，见图1-5所示。用 l 表示眼睛与图象之间的距离， d 表示能分辨的两点间最小距离，因为1弧度 $\approx 57.3^\circ$ ，根据图1-5所示的几何关系，可写出

则

$$\frac{d}{2\pi l} = \frac{\theta}{360 \times 60}$$

$$\theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{l} = 3480 \frac{d}{l} \text{ (分)} \quad (1-8)$$

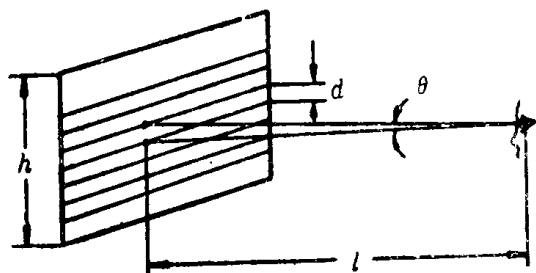


图 1-5 人眼的分辨力

人眼的最小视角 θ_{min} 取决于相邻两个视敏细胞之间的距离。对于正常视力的人,在中等亮度情况下,观看静止图象时, θ 约为 $1' \sim 1.5'$ 。观看运动较快的景象, θ 增大,分辨力降低。由上面的分析可知, θ 是由人眼中两个视敏细胞之间距离所决定的一个客观物理量,在电视技术中将根据这个物理量,来决定扫描行数。

人眼对彩色细节的分辨能力比对黑白细节的分辨能力要低,例如,黑白相间的等宽条子,远隔一定距离观看时,刚能分辨出黑白差别,如果用红绿相间的同等宽度条子替换它们,此时人眼已分辨不出红绿之间的差别,而是一片黄色。此外,实验还表明,人眼对不同彩色其分辨能力也各不相同,表1-1列出由实验测得的几种彩色细节的相对分辨力。

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%

由于人眼对彩色细节的分辨能力较差,所以彩色电视在传送彩色图象时,细节部分不传送彩色信息而只传送黑白信息,这样可以节省传输通道的频带。这一特性将作为第三章讨论大面积着色原理的依据。

1.2.3 人眼视觉惰性

我们可以作一个简单的实验,在黑暗中迅速摇动点光源,观察者的视感不是一个移动点光源,而是一条亮线,这就是人眼的视觉惰性所造成的“错觉”。人眼的视觉惰性还可以用图1-6进一步说明,图1-6(a)表示刺激人眼的光脉冲,图1-6(b)表示相应的主观亮度感觉,它滞后于实际光信号。光脉冲消失之后,亮度感觉还需要一定时间才能消失,图1-6(b)中 $t_2 \sim t_3$ 就是视觉惰性的残留时间。视力正常的人眼视觉残留时间约为 0.1 秒。

人眼的视觉惰性在电视技术中得到了具体应用,成为顺序扫描分解与合成电视图

象的基础。

由于视觉惰性的残留时间有一定限度，当作用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。当光脉冲的重复频率增加到某一数值时，人眼觉察不到有闪烁效应，而是一个连续的感觉，我们把刚好感觉不到有闪烁效应的频率称为临界闪烁频率，并用 f_K 表示。影响 f_K 的因素有多种，其中主要的是光脉冲亮度 B_{om} 。 f_K 与 B_{om} 之间的关系可有如下的经验公式表示

$$f_K = a \lg B_{om} + b \quad (1-9)$$

式中， a 与 b 均为常数。就电视屏幕而言，当亮度 $B_{om} = 100$ 尼特时，常数 $a \approx 9.6$ ， $b \approx 26.6$ ，于是求得 $f_K = 9.6 \times \lg 100 + 26.6 = 45.8 \text{ Hz}$ 。随着亮度 B_{om} 的提高， f_K 也将增大。在电视技术中，临界闪烁频率是决定其场扫描频率的主要因素之一。

必须指出，式(1-9)是一种近似计算公式，因为 f_K 还与亮度变化幅度、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周围亮度条件等因素有关。

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的范围，在数值上等于亮度上、下限之比。人眼是一个非常奇妙的器官，它通过瞳孔本身的压扩和视觉细胞的自我控制，对作用于人眼的光的强弱有自动调节的能力，这种调节能力称为眼睛的适应性。由于这个特点，眼睛对亮度适应范围非常大。当亮度变化足够慢，使眼睛来得及调节以便与亮度相适应的情况下，眼睛可以感觉到的亮度变化范围可从百分之几尼特到几百万尼特，例如最低亮度 $B_{min} = 0.05$ 尼特，最高亮度 $B_{max} = 500 \times 10^4$ 尼特，则眼睛的适应范围 $C = B_{max}/B_{min} = 10^8$ 。但是，人眼并不能同时感受这样大的亮度范围，而且在日常生活中亮度变化极大的情况也极少见。通常在我们观看景物时，眼睛已适应于某个平均亮度后，视觉范围就有一定的限度。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，例如，晴天的环境平均亮度为10000尼特，可分辨的亮度范围是 $2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ 尼特，低于 2×10^2 尼特的亮度就会引起黑色感觉。但环境平均亮度降低至30尼特时，可分辨的亮度范围是1~200尼特，这时100尼特就能引起相当亮的感觉，只有低于1尼特才形成黑色感觉。

人眼在观察实际景物时，亮度感觉并不完全由景物的亮度所决定，还与周围环境的亮度有关。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 $\Delta B/B$ 来度量，即

$$\Delta S = k' \frac{\Delta B}{B} \quad \text{或} \quad dS = k' \frac{dB}{B} \quad (1-10)$$

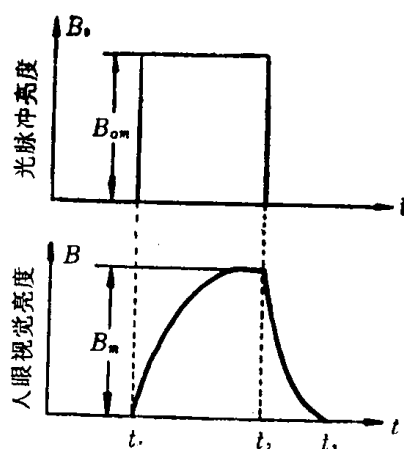


图 1-6 人眼的视觉惰性

经积分后获得亮度感觉为

$$S = k' \ln B + k_0 = k \lg B + k_0 \quad (1-11)$$

式中, $k = k' \ln 10$, k' 、 k_0 均为常数。

式(1-11)表明, 人眼的亮度感觉 S 与实际亮度 B 的对数成正比, 图1-7中的实线示出主观亮度感觉与客观亮度的关系曲线。为了使眼睛的适应过程达到稳定, 横坐标表示的亮度变化应足够慢。曲线中有较长的一部分是线性的, 符合式(1-11)所示的规律。曲线表明, 当亮度变化足够慢时, 人眼的视觉范围相当宽。但在实际观察某一景象时, 能同时分辨景象中不同亮度的视觉范围却小得多。

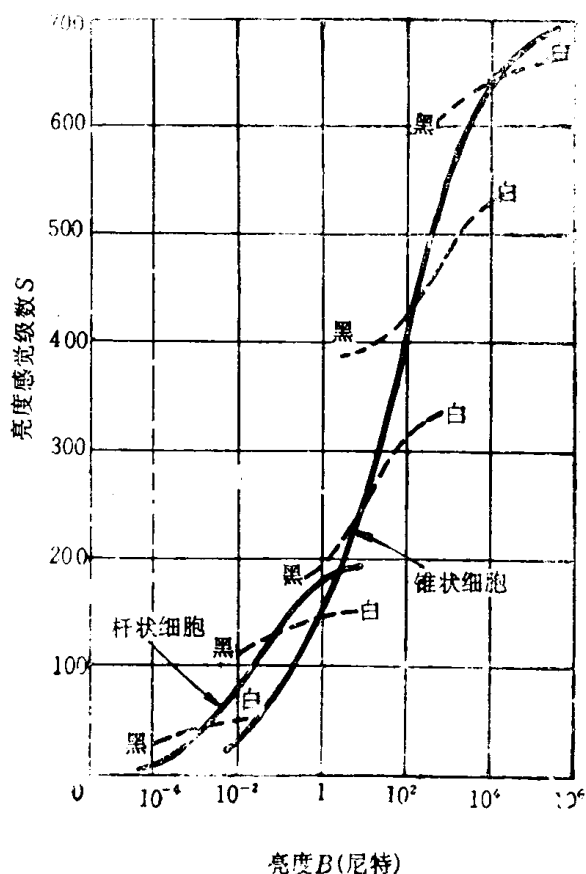


图 1-7 眼睛的主观亮度感觉

图 1-7 中穿过实线上某些点的虚线示出了眼睛适应于该点的亮度后主观亮度感觉特性曲线。这些虚线表明: (1) 当眼睛适应于不同亮度时, 其视觉范围是不同的; (2) 同一亮度的景象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。这些特点对电视传送图象带来了很大方便, 重现电视图象的亮度不必等于实际景象的实际亮度, 而只需二者保持最大亮度 B_{max} 与最小亮度 B_{min} 之比值 C 不变。此比值 C 称为图象的对比度, 即 $C = B_{max}/B_{min}$, 这实际上就是前面介绍的相对亮度, 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。

§ 1.3 色度学基础

讨论色度学的主要任务是研究人眼的彩色视觉的基本规律、彩色的基本度量及其在彩色电视系统中的应用。

1.3.1 彩色三要素

彩色光作用于人眼, 使之产生彩色视觉。为了能确切地表示某一彩色光的度量, 可以用亮度、色调和色饱和度等三个物理量来描述, 并称之为彩色三要素。彩色电视也遵