

冯启明 编著



现代电视学

XIANDAI
DIANSHI XUE

FENG QIMING BIANZHU

华中理工大学出版社



现代电视学

冯 启 明 编著

华中理工大学出版社

内 容 简 介

本书是一部系统地讲述电视原理及其最新实用性技术的新作。共分六章，前三章讲述黑白和彩色电视传象的基本原理与彩色电视制式，并包括与学习电视技术有关的视觉特性、光度学和色度学等知识；四、五两章以广播电视系统为例，系统地讲述电视图象信号的摄取、处理、发送、接收与图象重现的原理及其实用性电路；第六章介绍电视新技术，如卫星电视、数字电视、高清晰度电视、立体电视、电缆电视和电视多工广播等。

本书的特点是深入浅出，简明易懂，理论紧密联系实际。书中涉及的内容广泛，凝聚了现代电视技术主要的最新成就。

本书可作为大专院校电子、通信等专业的教材或参考书，亦可供从事电视科研、生产、运行、维修的人员阅读；也适宜于有一定电子技术基础知识的青年作为自学读物。

现 代 电 视 学

冯启明 编著

责任编辑 朱洪

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

[华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：17.5

字数：416 000

1988年7月第1版

1988年7月第1次印刷

印数：1—6 000

ISBN 7-5609-0172-7/TN.7

定价：2.95元

前 言

最近20多年, 电视技术在全球范围内得到了迅猛的发展和空前的普及。种类繁多的电视设备已遍及人类所能涉足的每个角落, 它还捷足先登, 比人类更早地进入宇宙外层空间, 成为名副其实的“千里眼”。目前, 我国的工业、农业、教育、卫生、科研、国防等项事业都已广泛地应用电视技术, 电视机在我国城市和部分农村得到了普及。在电子工业中, 电视工业首屈一指, 独占鳌头, 我国从事电视设备科研、生产、运行和维修的人员组成了一支浩浩荡荡的“百万大军”。

为了振兴电视工业, 使我国的电视生产赶超世界先进水平, 让我们的电视产品牢牢地占领国内市场和走向世界, 保证到达用户手中的电视设备(包括电视机)高效安全地工作, 必须尽快地提高和更新这支“百万大军”中青年一代的理论水平和知识结构, 增强我国电视产品在国际激烈竞争中的实力。为此目的, 现将这本《现代电视学》奉献给读者。

本书是一部系统地讲述现代电视技术及其原理的新作。共分六章: 前三章讲述黑白与彩色电视传象的基本原理、彩色电视制式, 并包括与学习电视技术有关的视觉特性、光度学和色度学等知识; 四、五两章以广播电视系统为例, 系统地讲述电视图象信号的摄取、处理、传输、发送、接收和图象重现的原理及其实用性电路; 第六章介绍电视新技术, 如卫星电视、数字电视、高清晰度电视、立体电视、电缆电视和电视多工广播等。

本书最大的特点是深入浅出, 简明易懂; 书中涉及的内容广泛, 凝聚了现代电视技术主要的最新成就。它不仅具有一定的理论高度, 而且特别注重理论联系实际。作者遵循“少而精”和“循序渐进”的原则, 合理选材, 篇幅适中; 全书的内容编排充分地体现了知识的系统性、科学性和新颖性。

本书根据电子工业部教材编审委员会“电视原理”教学大纲编写, 可作为大专院校电子、通信等专业的教材或参考书; 亦可供从事电视科研、生产和维修的人员阅读; 本书力求文字通俗易懂, 并配之以大量插图, 因此适宜于具有一定电子技术基础知识的青年作为自学读物。

作者从事电视的生产、科研和教学近二十个春秋, 本书是作者在高等院校多年教学的讲义基础上编写而成的。我校谈新权和卢益民、北京邮电学院张荐青、清华大学王貽良和尤婉英等五位(副)教授先后审阅了本书, 提出了许多宝贵的意见。本书的编写还得到我校电子与信息工程系主任黄载禄教授、黄铁侠教授和其他许多朋友的热情帮助, 在此一并致谢。

在编写本书的过程中, 参考了国内外大量文献和兄弟院校的内部讲义, 在此向同行们深表感谢。

夏云曦为本书绘制了全部插图的底稿, 并做了大量的审校工作, 她为促成本书迅速与读者见面付出了辛勤的劳动。

由于作者水平有限, 书中难免存在一些缺点和错误, 敬请读者批评指正。

作者

1987年7月于华中理工大学

目 录

绪论	(1)
第一章 黑白电视原理	(3)
§ 1.1 光和视觉特性	(3)
1.1.1 人眼的构造和感光机理	(3)
1.1.2 光的特性与度量	(4)
1.1.3 人眼的亮度感觉特性	(7)
1.1.4 人眼的分辨力与视觉惰性	(9)
§ 1.2 黑白电视系统组成原理	(12)
1.2.1 图象分解与顺序传送	(12)
1.2.2 光电转换原理	(13)
§ 1.3 电视扫描与同步	(14)
1.3.1 水平偏转与垂直偏转	(15)
1.3.2 逐行扫描与隔行扫描	(16)
1.3.3 圆扫描和螺旋扫描	(19)
1.3.4 扫描同步原理	(20)
§ 1.4 黑白全电视信号	(25)
1.4.1 黑白全电视信号的组成	(25)
1.4.2 黑白全电视信号的频谱结构	(29)
§ 1.5 电视图象的基本参量	(32)
1.5.1 图象的几何特性	(32)
1.5.2 图象的亮度、对比度与灰度	(33)
1.5.3 图象清晰度与电视系统分解力	(34)
1.5.4 视频信号带宽、场频与扫描行数的确定	(36)
习题	(38)
第二章 色度学与彩色电视	(40)
§ 2.1 光与颜色	(40)
2.1.1 光与光源	(40)
2.1.2 颜色及其视觉理论	(42)
2.1.3 三基色原理与混色规律	(45)
§ 2.2 颜色的计量系统	(46)
2.2.1 RGB计色制与麦克斯韦三角形	(47)
2.2.2 XYZ计色制与CIE色度图	(52)
2.2.3 均匀色标制	(60)
§ 2.3 电视中彩色的分解与重现	(62)
2.3.1 彩色电视系统的组成原理	(62)
2.3.2 彩色图象的分解	(63)
2.3.3 彩色图象的重现	(63)
§ 2.4 电视RGB计色制与彩色正确重现	(64)
2.4.1 电视RGB计色制	(64)

2.4.2 彩色的正确重现	(69)
习题	(70)
第三章 彩色电视制式	(72)
§ 3.1 概述	(72)
§ 3.2 兼容制彩色电视基础	(73)
3.2.1 实现兼容的基本措施	(73)
3.2.2 恒定亮度原理	(76)
3.2.3 γ 失真破坏恒定亮度原理	(77)
3.2.4 标准彩条信号	(81)
§ 3.3 NTSC 制	(84)
3.3.1 正交平衡调幅与同步检波	(85)
3.3.2 色度信号幅度的压缩	(88)
3.3.3 波形图与矢量图	(90)
3.3.4 Y 、 I 、 Q 制	(91)
3.3.5 NTSC制的编码器和解码器	(93)
3.3.6 副载频的选择与亮色相互干扰	(94)
3.3.7 NTSC制的主要性能	(97)
§ 3.4 PAL制	(99)
3.4.1 PAL制的基本原理	(99)
3.4.2 亮色频谱交错与相互干扰	(103)
3.4.3 梳状滤波器	(109)
3.4.4 PAL制的性能	(113)
§ 3.5 SECAM制简介	(114)
习题	(114)
第四章 电视摄像与发送技术	(114)
§ 4.1 广播电视系统的组成	(116)
§ 4.2 电视摄像机	(117)
4.2.1 三管(片)式彩色摄像机	(117)
4.2.2 摄像机的光学系统	(119)
§ 4.3 摄像器件	(121)
4.3.1 视象管	(121)
4.3.2 氧化铅管	(125)
4.3.3 固体摄像器件	(128)
§ 4.4 电视图象信号的处理	(133)
4.4.1 预放器	(133)
4.4.2 黑斑校正	(135)
4.4.3 轮廓校正(增强)	(137)
4.4.4 彩色校正	(138)
4.4.5 γ 校正	(139)
4.4.6 基准电平稳定	(141)
§ 4.5 同步信号的形成	(143)
4.5.1 同步信号的定时	(143)

4.5.2 同步信号的形成	(145)
4.5.3 台从锁相与台主锁相	(147)
§ 4.6 PAL全电视信号的形成	(149)
4.6.1 PAL编码器	(149)
4.6.2 PAL制色同步信号的迂回消除	(151)
§ 4.7 电视信号的发送	(153)
4.7.1 电视信号的发送方式	(153)
4.7.2 电视发射机	(157)
4.7.3 电视转播机	(158)
习题	(159)

第五章 电视接收技术	(160)
§ 5.1 电视接收技术概论	(160)
5.1.1 电视的接收方式与信号分离	(160)
5.1.2 黑白电视接收机的组成	(161)
5.1.3 彩色电视接收机的组成	(166)
5.1.4 集成电路电视接收机的组成	(167)
§ 5.2 高频调谐器	(170)
5.2.1 高频调谐器的作用、组成和主要性能指标	(170)
5.2.2 电调谐和AFT原理	(172)
5.2.3 节目预选	(173)
§ 5.3 图象通道电路	(176)
5.3.1 图象中频放大电路	(176)
5.3.2 声表面波滤波器(SAWF)	(179)
5.3.3 自动增益控制(AGC)电路	(182)
5.3.4 图象中频系统集成电路	(184)
§ 5.4 解码电路	(186)
5.4.1 概述	(186)
5.4.2 亮度通道	(186)
5.4.3 色度通道	(189)
5.4.4 副载波恢复电路	(195)
5.4.5 解码电路的集成化	(200)
§ 5.5 同步分离电路	(202)
5.5.1 幅度分离	(202)
5.5.2 自动杂波抑制(ANC)电路	(204)
5.5.3 频率分离电路	(206)
§ 5.6 扫描电路	(208)
5.6.1 概述	(208)
5.6.2 扫描电路的同步方式	(209)
5.6.3 场输出电路的演变	(211)
5.6.4 行输出电路与逆程供电	(216)
5.6.5 扫描非线性失真的校正	(223)
5.6.6 行、场扫描集成电路	(225)
§ 5.7 显象管及其附属电路	(227)
5.7.1 黑白显象管	(227)

5.7.2 彩色显象管	(229)
5.7.3 彩色显象管的附属电路	(233)
习 题	(235)
第六章 电视新技术概论	(237)
§ 6.1 卫星电视广播	(237)
6.1.1 概 述	(237)
6.1.2 卫星电视广播的频段选择	(239)
6.1.3 卫星电视广播制式的探讨	(240)
6.1.4 卫星电视广播的若干问题	(241)
§ 6.2 数字电视	(242)
6.2.1 概 述	(242)
6.2.2 电视信号数字化的基本方法	(243)
6.2.3 彩色电视信号的编码标准——CCIR 601号建议	(246)
6.2.4 数字电视压缩码率技术	(248)
§ 6.3 高清晰度电视 (HDTV)	(251)
6.3.1 概 述	(251)
6.3.2 扫描系统及图象质量	(252)
6.3.3 彩色的传送和信号的形成	(253)
§ 6.4 共用天线电视 (CATV) 系统	(256)
6.4.1 概 述	(256)
6.4.2 CATV系统的技术要点	(257)
§ 6.5 电视多工广播	(260)
6.5.1 概 述	(260)
6.5.2 电视文字广播 (Teletext)	(261)
6.5.3 电视多路伴音广播	(262)
§ 6.6 立体电视	(263)
6.6.1 立体视觉	(263)
6.6.2 实现立体电视的方式	(264)
习题 答 案	(266)
附录 我国电视频道频率分配表	(268)
参考文献	(270)

绪 论

电视 (Television) 是当代电子学的伟大奇迹。它把世界带到您的家中供您听、看。它是用无线电电子学的方法,实时地远距离传送活动或静止图象的一门技术。其工作原理与无线电广播颇相似。在无线电广播里,声音变成电磁波发射到空中去,收音机再将电磁波变成声音;在电视里,通过发送端的光-电转换把景物图象变成电信号(称为电视信号),并通过电磁波或电缆传送到接收端,再经光-电反变换重显出原来景物的图象。它不仅极大地扩展了人们观看景物的距离,而且还使人们能够观察黑夜中、物体内、显微镜下的景物。

有关电视的实验在一百多年以前就开始了,纵观电视的发展,它经历了机械黑白电视、电子黑白电视和彩色电视三个阶段。1884年德国人P. G尼普科夫(Nipkov)做出了第一个电视装置;1925年英国的J. L贝尔德(Barid)表演了实用的机械电视;1936年英国贝尔德电视公司首次进行电子黑白电视广播,从此人类进入了电子广播电视的新时代。1940年美国的哥德马克(Goldmark)发明了场顺序制彩色电视,由于它不能与黑白电视兼容,因此得不到推广。1953年美国发明了世界上第一个兼容制的彩色电视制式——NTSC制。1960年以后法国和德国(布鲁赫教授)针对NTSC制的缺点,发明了另两种兼容制彩色电视,它们分别是SECAM和PAL制,这两种电视制式都在1967年正式开播,从而形成了当代并列的三大兼容制广播彩色电视制式,并分别得到世界各国的采用。我国1959年开始了黑白电视广播,1973年又开始了彩色电视广播,并采用PAL/D制。

目前电视的发展日新月异、方兴未艾。有人认为:电视的发展可分为三代,第一代是目前彩色电视,第二代是高清晰度电视,第三代是立体彩色(高清晰度)电视。目前的彩色电视在清晰度、真实感、收看效果等方面都远不及电影,只相当8~16mm电影胶片的清晰度。随着信息社会的到来,作为人类获取外界信息重要手段的电视,已经难以满足显示精确图形与其它各种信息的要求。高清晰度电视(High Definition Television)正是能提供更丰富图象信息的新一代电视。

数字电视是当代电视发展的重要分支,其发展可追溯到70年代初。1972年英国研制成第一台数字电视制式转换器,它标志着数字电视的诞生;尔后,数字电视蓬勃发展。1982年国际上制定的601号文件是发展数字电视的纲领性文件。目前已有商品化的数字电视接收机出售,我国也正在积极研制和生产数字电视接收机。数字电视与模拟电视相比,具有一切数字设备共同的优点,我们有理由相信,不远的将来新一代的数字电视将全面地取代目前的模拟电视。

电缆电视最初起源于共用天线电视系统,它能够给居住在高层建筑或者收看条件困难的居民提供优质电视图象。目前电缆电视的主要发展方向是光纤系统,与计算机系统联网,开辟双向传输业务,实现可视数据的通信与广播。

电视的多工广播包括双伴音,立体声广播和文字广播。它们利用时分复用和频分复用技术增加普通电视频道的传输信息量。

电视摄像和显象器件主要向固体化方向发展,CCD摄像机和液晶显象器件已有商品出售,录象机向更小型化方向发展,电视唱片(Video Disc)有激光方式和电容方式等多种形

式，其存贮量之大和检索之快实在令人欢欣鼓舞，其应用远远超出广播电视的范围。

卫星直播电视为广播电视的传输开辟了最新的途径。它可省去成百上千的地面广播设施。对于幅员辽阔的我国，仅需一个同步卫星，就能覆盖整个中国。

目前广播电视正面临着一场系统性的变革，可以预料，21世纪的电视发展将会出现一个更高峰。

电视技术主要包括电视信号的产生、处理、存贮、发送、传输和接收等技术。电视技术的发展和变革关联到许多学科。比如光度学，色度学，视觉心理学，以及无线电技术，微电子学，计算机技术等。本书作为电视技术的基础，主要讲解三部分内容：①讲述有关光度学、色度学、视觉心理学的有关知识；②重点介绍电视技术中关于电视信号的产生、处理、发送、接收和显象等方面的知识；③对电视新技术作概略性的介绍，着重说明各种新技术包括的主要内容和当前主要的研究方向。

第一章 黑白电视原理

电视分黑白电视与彩色电视。黑白电视只能传送景物的亮度信息；彩色电视不仅能传送景物的亮度信息，还能传送景物的彩色信息。彩色电视是在黑白电视与色度学的基础上发展起来的。

本章重点介绍黑白电视传象的基本原理。首先介绍光度学和人眼视觉特性的有关知识，因为它们是学习电视传象技术的基础；然后讲述黑白电视系统的组成，电视扫描与同步原理，黑白全电视信号以及电视图象的基本参量等内容。

§ 1.1 光和视觉特性

1.1.1 人眼的构造和感光机理

一、人眼的构造

眼睛的外形是一个直径大约为23mm的球体，其水平断面如图1.1-1所示。眼球壁由多层组

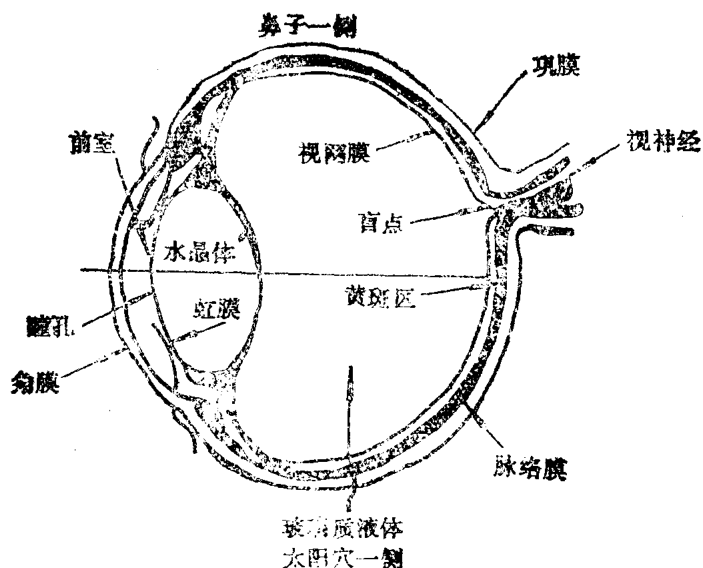


图1.1-1 眼球的水平断面图

成，最外层是较硬的膜，前面1/6部分是透明的角膜，光线由此进入，其余5/6部分为巩膜，作为外壳保护眼球。角膜内是前室，含有水状液，对可见光是透明的，能吸收一部分紫外光。前室后面是虹膜，其中间有一直径可在2~3mm间变化的小孔，称为瞳孔，相当于照相机的光圈，调节进入眼睛的光通量。瞳孔后面是水晶体，它是扁球形弹性透明体，能起透镜作用，其曲率由两旁的睫状肌调节，从而改变它的焦距，使远近不同的景物都能在视网膜上

清晰成象。水晶体的后面是后室，它充满了透明的胶质，起着保护眼睛的滤光作用。后壁则为视网膜，它由无数的光敏细胞组成。光敏细胞按其形状分为杆状细胞和锥状细胞，锥状细胞有700万个，主要集中在正对瞳孔的视网膜中央区域，这个区域称为黄斑区。此处无杆状细胞，越远离黄斑区，锥状细胞越少，杆状细胞越多，在接近边缘区域，几乎全是杆状细胞。

杆状细胞只能感光，不能感色，但感光灵敏度极高，是锥状细胞感光灵敏度的10,000倍。锥状细胞既能感光，又能感色。两者有明确的分工：在强光作用下，主要由锥状细胞起作用，所以在白天或明亮环境中，看到的景象既有明亮感，又有彩色感，这种视觉叫做明视觉（或白日视觉）。在弱光作用下，主要由杆状细胞起作用，所以在黑夜或弱光环境中，看到的景物全是灰黑色，只有明暗感，没有彩色感，这种视觉叫做暗视觉。

锥状细胞和杆状细胞经过双极细胞与视神经细胞相连，视神经细胞经过视神经纤维通向大脑，视神经汇集在视网膜的一点，此点无光敏细胞，称为盲点。

二、感光机理

感光过程大致分为四个步骤：

第一步：景物经过水晶体聚焦于视网膜形成“光象”。视网膜上各点的光敏细胞受到不同强度的光刺激，锥状细胞和杆状细胞中的感光色素分别是视紫蓝质和视紫红质，它们受光照后发生光化学变化，并随光的波长、照度与曝光时间的不同而产生不同数量的变白产物。当没有光刺激时，化学变化向相反方向进行。

第二步：因上述光化学变化使视网膜上各点产生与光照度成正比的电位，即在视网膜上将“光象”变成“电位象”。

第三步：视网膜上各点的电位分别促使各对应的视神经放电，放电电流是振幅恒定而频率随视网膜电位大小变化的电脉冲。换句话说，视神经将视网膜的“电位象”按频率编码方式传送给视觉皮质。

第四步：视觉皮质通常要接收到多达200万个频率编码的电脉冲信号，首先将它们分别存入与视网膜光敏细胞相对应的各细胞特殊表面中，然后进行综合的图象信息处理使人产生视觉，看到景物的图象。关于视觉皮质的图象信息处理，还是一个谜，人们正处于研究与探索之中。

1.1.2 光的特性与度量

一、光的特性

光学和电磁场理论指出：光是一种可以看得见的电磁波，它具有波粒二象性——波动性和微粒性。电磁波的波谱极为宽广，它包括无线电波、红外线、可见光谱、紫外线、X射线和宇宙射线等，它们分别占据的频率范围如图1.1-2所示。

可见光谱的波长范围在380~780nm之间，随着波长的变化，人眼主观感觉随之变化，表现为两个重要特性：

1. 不同波长的光具有不同的颜色。若光的波长从780nm依次递减变化到380nm，光的颜色变化次序是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫，比780nm更长的电磁辐射是红外线，比380nm更短的电磁辐射是紫外线。

2. 辐射功率相同但波长不同的光给人眼的亮度感觉不相同。下面将详细说明这一重要

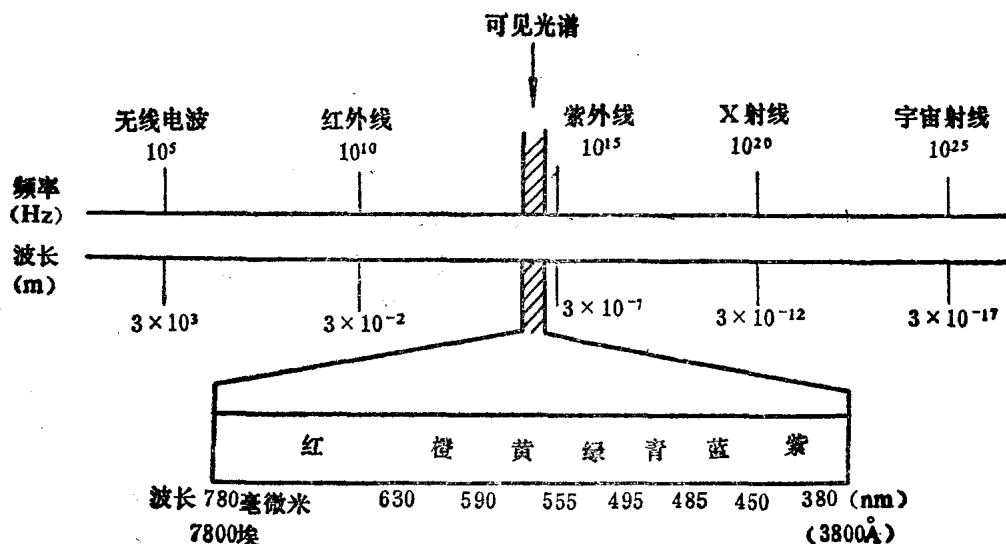


图1.1-2 电磁辐射波谱

注：1毫微米= 10^{-9} 米=0.1埃；或者1埃($\text{\AA}$)= 10^{-10} 米

特性。

二、辐射通量

所谓光源的辐射通量就是指其辐射功率，而光源对某面积的辐射通量是指单位时间内通过该面积的辐射能量；光源总的辐射功率（或总辐射通量）是指单位时间内通过包含光源的任一球面的辐射能量。其单位是尔格/秒或者瓦（焦耳/秒）。

通常光源发出的光是由各种波长组成的，每种波长的光都具有各自的辐射通量。光源总的辐射通量应该是各个波长辐射通量之和。例如图1.1-3表示甲、乙两种光源辐射功率波谱 $P(\lambda)$ 的曲线，它表示辐射通量按波长分布的情况。甲光源是等能分布的，乙光源是非等能分布的。在某一极窄波段范围内的辐射通量（图中阴影线所示面积）为：

$$dW_{\lambda, \lambda+d\lambda} = P(\lambda) d\lambda \quad (1.1-1)$$

总的辐射通量为

$$W_{\lambda_1, \lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) d\lambda \quad (1.1-2)$$

式中， W 的单位为功率单位，如瓦。

三、相对视敏度函数

辐射功率相同波长不同的光对人眼产生的亮度感觉是不相同的。1933年国际照明委员会（CIE）经过大量实验和统计，给出人眼对不同波长光亮度感觉的相对灵敏度，称为相对视敏度。表1-1给出了相对视敏度的最佳数据，图1.1-4是根据表1-1作出的曲线，

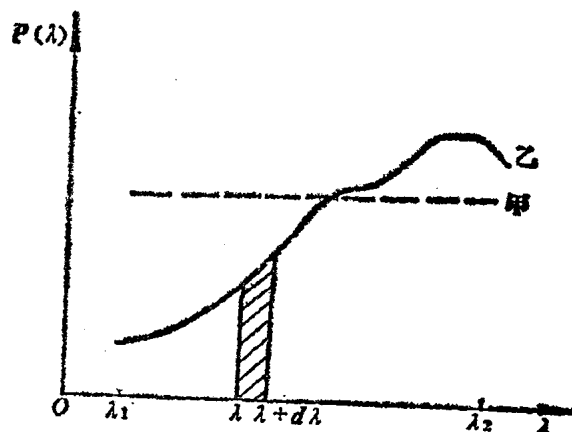


图1.1-3 辐射功率波谱

表 1.1 相对视敏函数值

λ (nm)	$V(\lambda)$	λ (nm)	$V(\lambda)$	λ (nm)	$V(\lambda)$
400	0.0004	530	0.862	660	0.061
410	0.0012	540	0.954	670	0.032
420	0.0040	550	0.995	680	0.017
430	0.0116	560	0.995	690	0.0082
440	0.023	570	0.952	700	0.0041
450	0.038	580	0.870	710	0.0021
460	0.060	590	0.757	720	0.00105
470	0.091	600	0.631	730	0.00052
480	0.139	610	0.503	740	0.00025
490	0.208	620	0.381	750	0.00012
500	0.323	630	0.265	760	0.00006
510	0.503	640	0.175		
520	0.710	650	0.107		

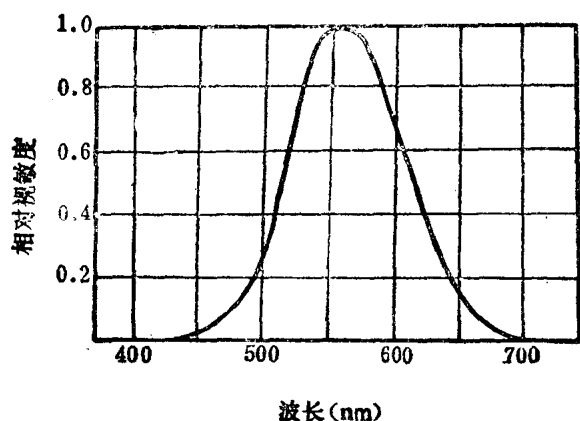


图1.1-4 相对视敏函数曲线

称为相对视敏函数曲线。它的意义是：人眼对各种波长光的亮度感觉灵敏度是不相同的。实验表明：在同一亮度环境中，在辐射功率相同的条件下，波长等于555nm的黄绿光对人的亮度感觉最大，并令其亮度感觉灵敏度为1；人眼对其它波长光的亮度感觉灵敏度均低于黄绿光（555nm），故其它波长光的相对视敏度 $V(\lambda)$ 都小于1。例如波长为660nm的红色的相对视敏度 $V(660) = 0.061$ ，所以，这种红光的辐射功率应比黄绿光（555nm）大16倍（即 $1/0.061 = 16$ ），才能给人相同的亮度感觉。

当 $\lambda < 380\text{nm}$ 和 $\lambda > 780\text{nm}$ 时， $V(\lambda) = 0$ 。这说明紫外线和红外线的辐射功率再大，也不能引起亮度感觉，所以红外线和紫外线是不可见光。这也是自然选择的结果。假如人眼对红外线也能反映，那么这种近似光雾的热辐射将会成为人们观察外部世界的一种干扰。

四、光通量

如前所述，在相同的亮度环境条件下，辐射功率相同波长不同的光所引起的亮度感觉不同；辐射功率不同，波长也不相同的光可能引起相同的亮度感觉。为了按人眼的光感觉去度量辐射功率，特引入光通量的概念，并用 F 表示。

单一波长的光称为单色光。其光通量 $F(\lambda_1)$ 等于辐射功率 $P(\lambda)$ 与相对视敏度的乘积，

$$F(\lambda_1) = P(\lambda_1)V(\lambda_1) \text{ 光瓦} \quad (1.1-3)$$

两个或两个以上波长的光称为复合光。其光通量等于各波长光通量之和，

$$F = \int_{\dots}^{\dots} P(\lambda)V(\lambda)d\lambda \text{ 光瓦} \quad (1.1-4)$$

光通量的单位是光瓦和流明，1 光瓦等于辐射功率为 1 瓦波长为 555nm 的黄绿光产生的光通量。1 流明等于绝对黑体在铂的凝固点温度下，从 5.303×10^{-8} 平方厘米面积上辐射出的光通量。它们的互换关系是：

1 光瓦 = 680 流明，1 流明 = 1/680 光瓦。

1.1.3 人眼的亮度感觉特性

一、明暗视觉

在 1.1.2 节中讨论了人眼的相对视敏函数曲线，这条曲线表明的是在白天正常光照下人眼对各种不同波长光的敏感程度，它称为明视觉视敏函数曲线，如图 1.1-5 中粗曲线所示。明视觉过程主要是由锥状细胞完成的，它既产生明暗感觉，又产生彩色感觉。因此，这条曲线主要反映锥状细胞对不同波长光的亮度敏感特性。

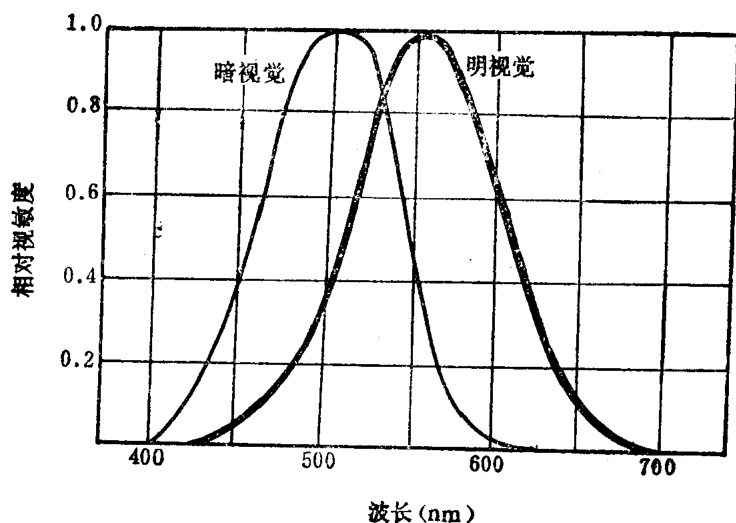


图 1.1-5 视敏函数曲线

在弱光条件下，人眼的视觉过程主要由杆状细胞完成。而杆状细胞对各种不同波长光的敏感程度将不同于明视觉视敏函数曲线，表现为对波长短的光敏感有所增大。即曲线向左移，这条曲线称为暗视觉视敏函数曲线，如图 1.1-5 中细曲线所示。在弱光条件下，杆状细胞只有明暗感觉，而没有彩色感觉。

二、人眼察觉亮度变化能力的有限性

人眼察觉亮度变化的能力是有限的。请看下面的实验：让人眼观察如图 1.1-6(a) 所示 P_1 和 P_2 两个画面， P_1 和 P_2 的亮度均可调节。保持 P_1 亮度为 B ，使 P_2 的亮度从 B 缓慢递增至 $B + \Delta B$ ，直到眼睛刚刚觉察到两者的亮度有差别为止。此时，我们认为在这个亮度下的亮度感觉差了一级。用相同的方法，可以求出不同亮度的主观亮度感觉级数，并制成如图 1.1-6(b) 所示的曲线。曲线的意义是实际亮度变化所引起的主观亮度感觉变化。图中横坐标代表实际亮度的变化，以尼特 ($1 \text{ nit} = 1 \text{ cd/m}^2$) 为单位；纵坐标代表主观亮度感觉的级数。

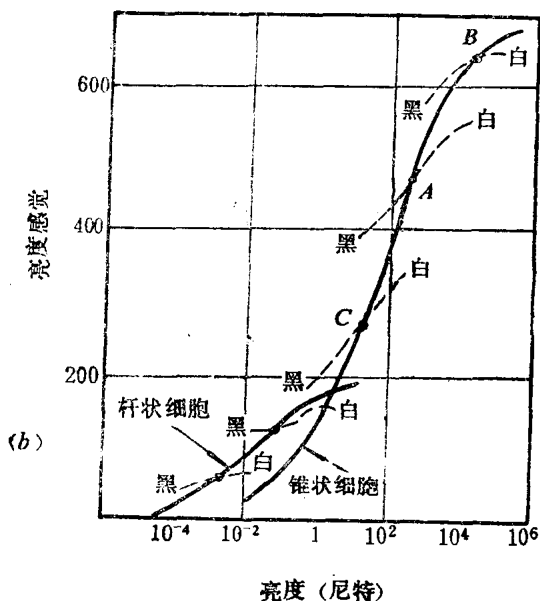
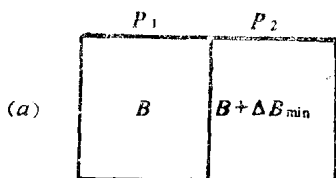


图1.1-6 眼睛的亮度感觉

以上实验说明：

1. 要使人眼感觉到 P_1 和 P_2 两个画面有亮度差别，必须使两者的亮度差 $\geq \Delta B_{min}$ ， ΔB_{min} 是有限小量，而不是无限小量。因此，人眼察觉亮度变化的能力是有限的。

2. 对于不同的环境亮度 B ，人眼可觉察的最小亮度差 ΔB_{min} 是不相同的。但在相当大的范围内，人眼可分辨的最小相对亮度变化 $\xi = \Delta B_{min} / B$ 是相同的，并等于一个常数。换句话说，人眼亮度感觉的增量 ΔS 不是正比于客观亮度的增量 ΔB ，而是正比于亮度的相对增量 $\Delta B / B$ ，即

$$\Delta S = k' \frac{\Delta B}{B} \quad (1.1-5)$$

上式经积分后得

$$S = k' \ln B + k_0 = k \lg B + k_0 \quad (1.1-6)$$

式中 $k = k' / \ln 10$ ， k' 、 k_0 均为常数。上式表明：主观亮度感觉与客观亮度的对数成线性关系。并称之为韦伯-费赫涅尔定律 (Weber-Fechner Law)。图1.1-6所示的曲线完全证明了这一点。

$\xi = \Delta B_{min} / B$ 称为对比度灵敏度阈或韦伯-费赫涅尔系数 (Weber-Fechner Ratio)。

通常 $\xi = 0.005 \sim 0.02$ ，在亮度很高或很低时， ξ 增大至 0.05。在观看电视时，因杂散光影响， ξ 的值也可大些。

人眼亮度感觉的增量与客观亮度的对数成正比，这与人耳的听觉规律很相似；人耳对声音感觉的增量与客观声音响度的对数也是成正比的。它们都是长期生态演变的结果，使人眼形成对光强弱变化的适应性，否则人将无法忍受自然界光的刺激。

三、视觉范围

人眼能够感觉的亮度范围 (称为视觉范围) 极宽，从千分之几尼特直到几百万尼特。其所以如此之宽，是由于依靠了瞳孔和光敏细胞的调节作用。瞳孔根据外界光的强弱调节其大小，使射到视网膜上的光通量尽可能是适中的。在强光和弱光下，分别由锥状细胞和杆状细胞起作用，而后的灵敏度是前者的 1 万倍。图1.1-6所示的两条交叉曲线，分别表示杆状细胞和锥状细胞察觉亮度变化的关系。

四、明暗感觉的相对性

在不同的亮度环境条件下，人眼对于同一实际亮度所产生的相对亮度感觉是不相同的。例如对同一电灯，在白天和黑夜它对人眼产生的相对亮度感觉是不相同的。另外，当人眼适应了某一环境亮度时，所能感觉的视觉范围将变小。例如，在白天环境亮度为 10,000 尼特时，人眼大约能分辨的亮度范围为 200 ~ 20,000 尼特，低于 200 尼特的亮度则感觉为黑色。而夜间环境为 30 尼特时，可分辨的亮度范围为 1 ~ 200 尼特，这时 100 尼特的亮度就可引起相当

亮的感觉。只有低于1尼特的亮度才引起黑色感觉。图1.1-6的曲线也说明了这一点，当人眼分别适应了A、B、C三点的环境亮度时，人眼感觉到“白”和“黑”的范围如虚线所示，它们所对应的实际亮度范围比人眼的视觉范围小得多。并且A点的实际亮度对于适应了B点亮度的眼睛来说感觉很暗；而对于适应了C点亮度的眼睛来说，却感觉很亮。

根据人眼对实际亮度明暗感觉的相对性和察觉实际亮度变化能力的有限性，在电视系统中，不必传送原景物的实际亮度，只需保持原景物各点的相对亮度不变。通常只要保证景物最大亮度 B_{max} 和最小亮度 B_{min} 的比值 C 不变； $C = B_{max}/B_{min}$ 称为对比度。另外，对于人眼不能察觉的亮度变化，不必精确地重现，只要保证重现图象和原景物有相同的亮度级数。简言之，只要重视图象与原景物对人眼具有相同的对比度和相同的亮度级数，就能给人以真实的感觉。

1.1.4 人眼的分辨力与视觉惰性

1.1.3节已经指出人眼觉察亮度最小变化的能力是有限的。不仅如此，人眼对黑白细节的分辨力也是有限的；另外，人眼主观亮度感觉总是滞后于实际亮度的变化，即存在所谓“视觉惰性”。下面分别加以说明。

一、人眼的分辨力

1. 视角

观看景物时，景物大小对眼睛形成的张角叫做视角。其大小既决定于景物本身的大小，也决定于景物与眼睛的距离。图1.1-7中A表示物体的大小，D表示由眼睛角膜到该物体的距离，则视角 α 按下式计算：

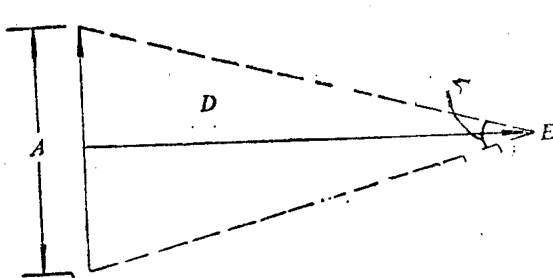


图1.1-7 视角的大小

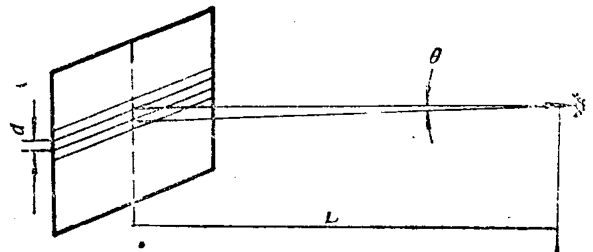


图1.1-8 人眼分辨力

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{A}{2D}$$

当视角 α 较小时，则 $\alpha \approx A/D$ 。

2. 视敏角

当与人眼相隔一定距离的两个黑点靠近到一定程度时，人眼就分辨不出有两个黑点存在，而只感觉到是连在一起的一个点。这种现象表明人眼分辨景物细节的能力是有一定极限的。我们可以用视敏角来定义人眼的分辨力。视敏角即人眼对被观察物体刚能分辨出它上面最紧邻两黑点或两白点的视角。

在图1.1-8中， L 表示人眼与图象之间的距离， d 表示能分辨的最紧邻两黑点之间的距离。 θ 表示视敏角，若 θ 以分为单位，则得到：