

集成电路彩色电视机

原理

调测

新技术(上)

JICHENG DIANLU CAISE DIANSHIJI

YUANLI TIAOCE XINJISHU

《集成电路彩色电视机》编写组 编著 人民邮电出版社

内 容 提 要

本书系统、深入地论述了彩色电视机的技术和电路,反映了目前国内外彩色电视机技术的水平。内容涉及范围广泛,从人的视觉特性,到彩色立体电视、高清晰度电视、多工电视、数字电视和卫星电视等新的电视原理、制式;从彩色电视机各主要部件、最新彩色电视机专用集成电路,到具体的整机电路,从具体电路分析,到调试、测量、安全和可靠性,在本书中均有介绍。全书分上下两册出版。上册包括:彩色电视接收技术基础、彩色显象管、电视接收天线与调谐器、回扫变压器、集成电路常用单元电路、彩色电视机单元电路及专用集成电路。

本书特点是理论与生产实践结合得比较密切,主要供从事彩电接收的科研、生产及维修的专业技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生、无线电爱好者阅读参考。

集 成 电 路 彩 色 电 视 机

—原理、调测、新技术—

(上 册)

JICHENGDIANLU CAISEDIANSHIJI

—YUANLI、TIAOCE、XINJISHU

《集成电路彩色电视机》编写组 编 著

责任编辑:沈成衡 李式型 李少民

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京第二新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16

1988年12月 第 一 版

印张: 45 2/16 页数: 361

1988年12月 北京第1次印刷

字数: 1139千字 插页: 5

印数: 1—25 000册

ISBN7—115—03611—X/TN·015(平)

ISBN7—115—03996—8/TN·237(精)

平装本定价: 13.25元

精装本定价: 15.55元

前 言

近年来,随着我国广播电视事业的发展和人民物质文化生活水平的提高,广播电视接收机的科研与生产发展迅速,社会需求量日益增加。电视接收机由黑白机发展到彩色机,由全电子管电路过渡到全晶体管电路后,又进一步集成电路化,目前已趋向于由两片以至单片集成电路构成的、外围元器件大为减少的全频道彩色电视机。今后还将向数字化、高清晰度及多功能化发展。

为了适应各方面读者的需要,电子工业部广播电视专业情报网组织了有关院校、企业和科研单位的教师和技术人员撰写了本书。书中结合生产实际,以目前国内产量较大、有代表性的北京牌、金星牌及牡丹牌三种集成化彩色电视机为例,比较系统全面地介绍了彩色电视接收技术的基本原理,整机及主要部件的电路、功能特点、性能要求、关键工艺及材料,集成电路的内部及外围电路,整机及主要部件的调试和测量方法等。本书还以一定篇幅讲述了与彩色电视接收有关的新技术及发展趋势,并对可能应用的集成度较高的新集成电路作了专门的分析。为了使我国彩色电视机走向国际市场,书中还介绍了符合国际标准的图象质量主观评价,接收机干扰和抗干扰特性、安全要求及可靠性等方面的知识,并给出了世界各国广播电视制式及频道配置等技术资料。

本书在一定程度上反映了目前我国集成电路彩色电视技术的科研和生产水平,主要供从事彩电接收的科研、生产及维修的专业技术人员阅读,也可作为大专院校相关专业及彩电学习班的教学参考书。广大业余无线电爱好者阅读本书,肯定也会大有裨益。

本书在编写过程中,得到天津大学电子工程系、国营陕西彩色显象管总厂、丹东电视调谐器总厂、国营江南无线电器材厂、苏州电视组件厂、国营天津无线电厂、上海电视一厂、北京电视机厂及电子工业部电视电声研究所等单位的大力支持。天津大学俞斯乐教授,审阅了本书部分章节,北京电视机厂杨晨斗也提供了部分资料,电子工业部电视专业情报网的赵乡、岑丽娟同志为本书作了大量组织工作,特此表示感谢。

本书系采用编写组集体讨论提纲、分工撰写及审定的方式编写的。限于水平,书中内容可能有遗漏、不妥或错误之处,恳切希望读者指正。

邱绪环

1987年4月

本书编写组成员及分工

组 长： 邱 绪 环

副 组 长： 安 永 成 刘 国 材 李 桂 苓 徐 康 兴

组员及分工：

	编 写 人	审 阅 人
第 一 章	王 德 福	李 桂 苓
第 二 章	侯 顺 庭	俞 燮 贤
第 三 章	蔡 树 庚	徐 康 兴
第 四 章	王 福 源	刘 国 材
第 五 章	安 永 成	邱 绪 环
第 六 章	安永成、王锡城 徐 康 兴	黄 仕 机
第 七 章	王锡城、李 伟 朱元芳、余膺符	刘 国 材
第 八 章	邱春安、刘全恩 邱绪环、魏梦迟	邱 绪 环
第 九 章	张 斌、朱正英 蒋 斌 生	刘 国 材
第 十 章	安永成、杭钟毓	邱 绪 环
第 十 一 章	李桂苓、张 浩 野锦德、张纪生 李 华、高嗣明	李 桂 苓
各 章 附 录	王 连 溥	

目 录

第一章 彩色电视接收技术基础	(1)
1.1 光	(1)
1.1.1 可见光谱	(1)
1.1.2 光源的辐射功率波谱	(1)
1.1.3 黑体辐射与色温	(2)
1.1.4 标准光源	(2)
1.1.5 可见光的度量	(3)
1.2 视觉特性	(7)
1.2.1 明光与弱光的亮度视觉	(7)
1.2.2 彩色视觉	(7)
1.2.3 视觉范围	(9)
1.2.4 亮度感觉	(9)
1.2.5 人眼的分辨力(视觉锐度)	(10)
1.2.6 视觉惰性	(11)
1.2.7 闪烁感觉	(11)
1.3 色度学	(12)
1.3.1 三基色原理	(12)
1.3.2 颜色的度量及表示法	(13)
1.3.3 彩色的复现	(36)
1.4 彩色电视系统的组成	(46)
1.5 视频信号	(50)
1.5.1 黑白视频信号	(51)
1.5.2 彩色视频信号	(52)
1.5.3 标准彩条信号	(57)
1.6 彩色电视制式	(59)
1.6.1 概述	(59)
1.6.2 NTSC制	(61)
1.6.3 PAL制	(74)
1.6.4 SECAM制	(95)
1.7 电视信号的接收	(104)
1.7.1 概述	(104)
1.7.2 PAL制彩色电视接收机的组成	(104)
1.8 附录	(107)

1.8.1 世界各国(及地区)彩色电视广播制式	(107)
1.8.2 世界各国(及地区)电视广播制式的技术特性	(110)
1.8.3 我国彩色电视广播的技术标准	(131)
1.8.4 我国和其他一些国家(地区)广播电视频道编制	(137)

第二章 彩色显象管..... (146)

2.1 显象管基础	(146)
2.1.1 荧光面	(146)
2.1.2 电子枪	(149)
2.1.3 电子束偏转	(152)
2.2 彩色显象管分类	(156)
2.2.1 穿透式彩色显象管	(157)
2.2.2 矩阵式彩色显象管	(157)
2.3 荫罩式彩色显象管	(161)
2.3.1 荫罩式彩色显象管的基本结构和原理	(161)
2.3.2 荫罩及其制作	(167)
2.3.3 彩色荧光面及其制作	(169)
2.3.4 黑底(BM)荧光面和高对比度荧光面	(172)
2.3.5 色纯度	(174)
2.3.6 光栅几何失真及其校正	(177)
2.3.7 会聚	(182)
2.3.8 基准白色和白平衡	(200)
2.3.9 磁屏蔽与消磁	(203)
2.4 彩色显象管的主要特性及其测量	(206)
2.4.1 电气特性	(207)
2.4.2 光特性	(213)
2.4.3 画质特性	(217)
2.4.4 彩色显象管的可靠性与安全性	(228)
2.5 偏转线圈	(233)
2.5.1 电磁偏转原理	(234)
2.5.2 偏转线圈的分类和结构	(235)
2.5.3 彩色显象管用偏转线圈的特殊要求	(236)
2.5.4 偏转磁场分布	(237)
2.5.5 偏转线圈的主要参数和参数分析	(238)
2.6 彩色显象管及其它显示器件的发展	(244)
2.6.1 彩色显象管	(244)
2.6.2 平板显示器件	(256)
2.6.3 展望	(262)
2.7 附录	(264)
2.7.1 国产自会聚彩色显象管参数	(264)

2.7.2 国外部分自会聚彩色显象管参数	(264)
第三章 电视接收天线与高频调谐器	(276)
3.1 电视接收天线	(276)
3.1.1 电视接收天线的技术要求	(276)
3.1.2 常用电视接收天线	(278)
3.2 高频调谐器的作用、分类与技术要求	(294)
3.2.1 高频调谐器的作用与分类	(294)
3.2.2 电子调谐器的技术要求	(295)
3.3 电子调谐器的工作原理	(299)
3.3.1 调谐器的基本电路原理	(299)
3.3.2 电子调谐器的调谐和频段转换	(308)
3.4 电子调谐器典型电路分析	(309)
3.4.1 ET17C型电子调谐器电路分析	(309)
3.4.2 TDQ—1型电子调谐器电路分析	(319)
3.5 电子调谐器的调试与测量	(325)
3.5.1 ET17C型电子调谐器的调试	(325)
3.5.2 TDQ—1型电子调谐器的调试	(329)
3.5.3 调谐器的测量	(332)
3.6 附录	(338)
3.6.1 TDQ—3A型全频道电子调谐器	(338)
3.6.2 TDQ—2型全频道电子调谐器	(341)
3.6.3 TDQ—1型全频道电子调谐器	(342)
第四章 彩色电视机回扫变压器	(345)
4.1 概述	(345)
4.1.1 引言	(345)
4.1.2 变压器基本原理	(345)
4.1.3 脉冲变压器工作原理	(348)
4.1.4 回扫变压器特性	(350)
4.2 彩电回扫变压器的作用与分类	(351)
4.2.1 彩电回扫变压器在行扫描输出电路中的作用	(351)
4.2.2 彩电回扫变压器的分类与结构	(352)
4.3 彩电回扫变压器的设计原理	(354)
4.3.1 高压高次调谐原理	(354)
4.3.2 彩电回扫变压器的振铃	(361)
4.3.3 彩电回扫变压器的高压调整率	(363)
4.3.4 彩电回扫变压器的磁芯	(370)
4.3.5 彩电回扫变压器的基本设计	(377)
4.3.6 彩电回扫变压器的分布电容与漏感	(382)

4.3.7 彩电回扫变压器的损耗	(385)
4.4 彩电回扫变压器的生产工艺	(389)
4.4.1 生产工艺流程简述及主要工艺	(389)
4.4.2 真空灌注与回扫变压器的耐电晕性	(391)
4.5 彩电回扫变压器主要元器件与材料	(393)
4.6 彩电回扫变压器的可靠性与安全性	(398)
4.6.1 可靠性预计及可靠性试验	(398)
4.6.2 彩电回扫变压器的安全性及UL标准	(401)
4.7 彩电回扫变压器的测试	(402)
4.7.1 彩电回扫变压器主要技术指标及典型测试电路	(402)
4.7.2 电晕测试及其原理	(403)
4.8 国外彩电回扫变压器的发展趋势	(406)
4.9 附录	(408)
4.9.1 金星牌彩色电视机采用的回扫变压器	(408)
4.9.2 北京牌、牡丹牌、熊猫牌等彩色电视机采用的回扫变压器	(409)
第五章 电视集成电路常用单元电路	(416)
5.1 恒流源电路	(416)
5.1.1 镜象恒流源电路	(416)
5.1.2 比例恒流源电路	(417)
5.1.3 改进型恒流源电路	(419)
5.1.4 小电流恒流源电路	(420)
5.2 稳压源电路	(421)
5.2.1 采用硅稳压二极管的稳压电路	(421)
5.2.2 利用电阻分压器的稳压电路	(422)
5.2.3 并联式稳压电路	(422)
5.2.4 反馈式稳压电路	(422)
5.2.5 电压倍增电路	(423)
5.3 复合管	(423)
5.3.1 复合管的电流放大系数	(424)
5.3.2 复合管的输入阻抗	(425)
5.4 直流电位移电路	(425)
5.4.1 电阻—恒流源分压的直流电位移电路	(426)
5.4.2 PNP型和NPN型晶体管搭配作直流电位移电路	(427)
5.4.3 稳压管直流电位移电路	(428)
5.5 差分放大器	(429)
5.5.1 差分放大器的工作原理	(430)
5.5.2 改进型差分放大器	(430)
5.5.3 带有恒流源的差分放大器	(433)
5.5.4 差分放大器的传输特性	(433)

5.5.5 差分放大器的其它形式	(435)
5.6 模拟乘法器	(439)
5.6.1 单差分模拟乘法器	(439)
5.6.2 双差分模拟乘法器	(440)
5.6.3 模拟乘法器输出电压的一般表达式	(442)
5.6.4 双差分模拟乘法器的同步解调特性	(443)
5.6.5 双差分模拟乘法器的鉴相特性	(445)
5.6.6 双差分模拟乘法器的混频特性	(448)
5.7 增益控制电路	(449)
5.7.1 改变电流分配比的(分流式)AGC电路	(449)
5.7.2 双差分电路组成的增益控制电路	(450)
5.7.3 改变差分放大器工作电流 I_0 实现增益控制	(452)
5.7.4 改变差分放大器的射极负反馈量实现增益控制	(452)
5.8 运算放大器	(452)
5.8.1 运算放大器的基本结构	(453)
5.8.2 负反馈运算放大器及其应用	(453)
5.8.3 正反馈运算放大器	(455)
第六章 彩色电视接收机电路原理及专用集成电路	(458)
6.1 图象中频电路	(458)
6.1.1 概述	(458)
6.1.2 对图象中频电路的基本要求	(458)
6.1.3 图象中频电路的基本形式	(463)
6.1.4 图象中频频率的选择	(464)
6.1.5 声表面波滤波器及其在彩色电视机中的应用	(466)
6.1.6 D7607AP(TA7607AP)图象通道集成电路	(473)
6.1.7 HA11215A图象通道集成电路	(493)
6.1.8 AN5132(AN5130)图象通道集成电路	(503)
6.2 伴音通道	(515)
6.2.1 伴音通道的作用和对伴音通道的基本要求	(515)
6.2.2 陶瓷器件及其在伴音通道中的应用	(515)
6.2.3 D7176AP(HA1124)伴音通道集成电路	(520)
6.2.4 AN5250伴音通道集成电路	(524)
6.3 亮度通道	(527)
6.3.1 对亮度通道的要求	(527)
6.3.2 分立元件组成的亮度通道	(530)
6.3.3 集成化亮度通道	(544)
6.4 色度通道	(551)
6.4.1 色度通道的组成和对色度通道的要求	(551)
6.4.2 D7193AP色度解码集成电路	(553)

6.4.3	AN5620X色度解码集成电路	(585)
6.5	扫描电路	(598)
6.5.1	扫描电路的作用及特点	(598)
6.5.2	D7609P扫描集成电路	(602)
6.5.3	AN5435扫描集成电路	(610)
6.5.4	HA11235扫描集成电路	(617)
6.5.5	场输出级电路	(621)
6.5.6	行激励级和行输出级	(634)
6.6	电源电路	(647)
6.6.1	电感储能式开关稳压电源的基本原理和分类	(647)
6.6.2	调宽式开关稳压电源的电路分析和设计	(657)
6.6.3	调频式开关稳压电源的电路分析和设计	(671)
6.6.4	辅助电源	(680)
6.6.5	开关式稳压电源的效率	(682)
6.6.6	干扰及其抑制	(686)
6.6.7	可靠性和保护电路	(689)
6.7	附录 几种彩色电视机集成电路的主要参数	(693)
6.7.1	图象通道集成电路	(693)
6.7.2	伴音通道集成电路	(698)
6.7.3	彩色解码集成电路	(703)
6.7.4	扫描集成电路	(706)

第一章 彩色电视接收技术基础

1.1 光

1.1.1 可见光谱

由光学理论知道,光是属于一定波长范围内的一种电磁辐射。电磁辐射的波长范围很广,最短的如宇宙射线,其波长只有 $10^{-17}m$,最长的如交流电,其波长可达数千千米。波长在 $380\sim 780nm$ 范围内的电磁波能够引起人眼的视觉反应,并称为可见光。彩色是可见光作用于人眼而引起的一种视觉反应(感觉和意识)。当作用于人眼的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。由于不同波长光的折射率不同,一束太阳光通过三棱镜后,便分解为按上述颜色次序排列的可见光谱。所以,太阳光是由各种色光混合而成的复色光。可见光谱及其在电磁辐射波谱中的位置如图1.1.1所示。

1.1.2 光源的辐射功率波谱

仅有很少的光源辐射出近似单一波长的光(单色光)。在一般情况下,光源的辐射波包括可见光以及非可见光等各种波长的光波。例如,太阳是照亮大自然的最大光源,它是一个热、光和各种射线的辐射体,其辐射波的波长范围很广,辐射能量主要集中在可见光范围内。

光源的辐射功率分布可利用分光仪器测定。测量结果可用曲线来表示,并称之为辐射功率波谱 $P(\lambda)$ 。为了便于比较各种光源的辐射功率波谱以及在色度学中分析、计算的方便,考虑到人眼对于波长为 $555nm$ 的黄绿色光最敏感这个因素,人们常用辐射功率波谱 $P(\lambda)$ 相对于 $P(555)$ 的比值,来表示光源的辐射功率分布特性,称为相对功率波谱 $\phi(\lambda)$,其表达式为

$$\phi(\lambda) = \frac{P(\lambda)}{P(555)}$$

图1.1.2为太阳光在可见光范围内辐射的相对功率波谱。

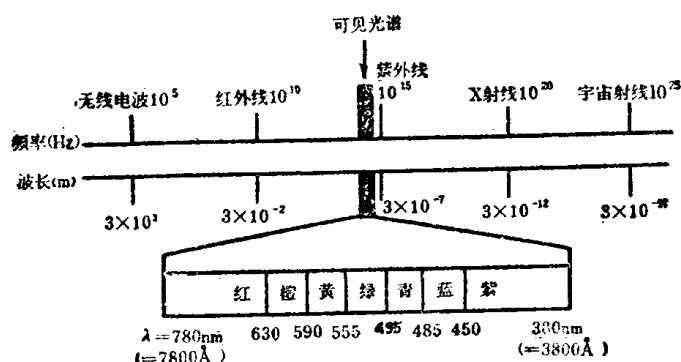


图 1.1.1 电磁辐射波谱

(注: $1nm = 10^{-9}m = 10\text{\AA}$, 或者 $1\text{\AA} = 10^{-10}m$)

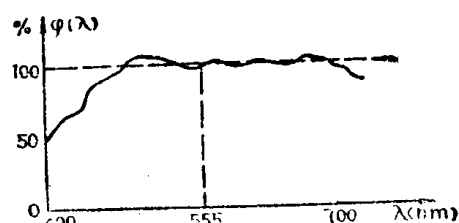


图 1.1.2 太阳辐射的相对功率波谱

1.1.3 黑体辐射与色温

众所周知，在照明技术中，被统称为白光光源的辐射功率波谱各不相同，光源的颜色也不一样。为了便于描述不同光源的可见光的辐射情况，引入了绝对黑体和色温的概念。

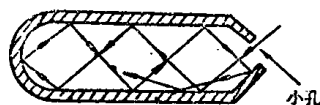


图 1.1.3 绝对黑体模型

绝对黑体被定义为能全部吸收入射光的物体。自然界中没有理想的绝对黑体，但是，可以人为地制造出非常接近于绝对黑体的模型。图1.1.3所示开有小孔的空腔就是绝对黑体的模型。所有经过小孔射入的光线都要经过多次反射和吸收，最后，只有极其微小的一部分有可能经过小孔返回。因此，这个小孔可以看作是绝对黑体的表面。

基尔霍夫用热力学第二定律证明，不管什么物体，若吸收本领大，则辐射本领也大；吸收本领小，辐射本领也小。因此，绝对黑体和相同温度下的任何其它物体相比，辐射能力要强。它的辐射功率按波长的分布情况如图1.1.4所示。由图可见，绝对黑体的辐射分布仅由温度（以热力学温度 K 表示）决定。随着温度的上升，辐射显著增强，曲线的最大值增加并向短波方向移动。

光源的色温是这样定义的，在可见光谱内，光源的色度（色调和饱和度）与在某温度 T 时绝对黑体辐射的色度一样时，温度 T 即被称为该光源的色温（以热力学温度 K 来表示）。一般来说，光源的色温高于它的实际温度，例如白炽钨丝灯，在一定条件下使用时，色温为 $2854K$ ，而实际温度为 $2800K$ 。这是因为光源总是比绝对黑体辐射效率低。

有些光源的色度点稍微离开了绝对黑体轨迹线（见图1.3.6），但离开的距离很小，小于人眼对色度的分辨能力，使人眼分辨不出它们和邻近某温度 T 时的绝对黑体辐射光的色度有差别。此时，绝对黑体的温度 T 称为该光源的近色温或相关色温。

1.1.4 标准光源

太阳是一个最大的自然光源，但是，在地球上所测得的太阳辐射的功率波谱随着时间、气候等因素而变化，所以不能作为标准光源。在色度学中，为了使光源的比较和色度计算有个标准，采用了国际上规定的A、B、C、 D_{65} 、E等几种标准光源。它们的光谱分布曲线如图1.1.5所示。作为对比，在图1.1.6中画出了各种色温的绝对黑体辐射的光谱分布。

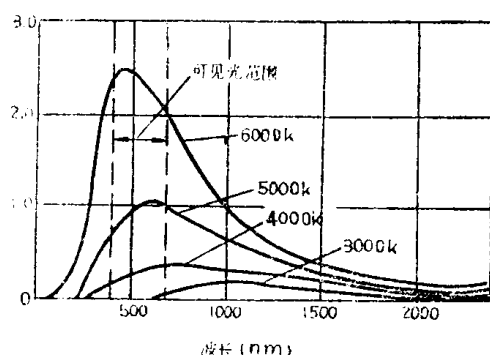


图 1.1.4 绝对黑体辐射的功率分布

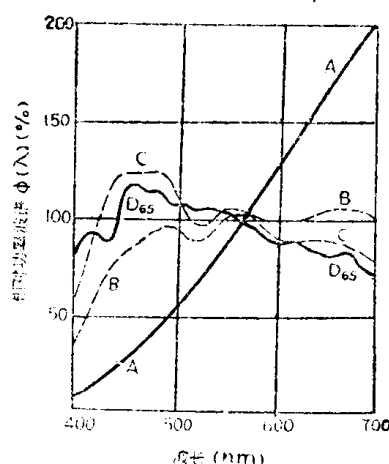


图 1.1.5 标准光源的光谱分布

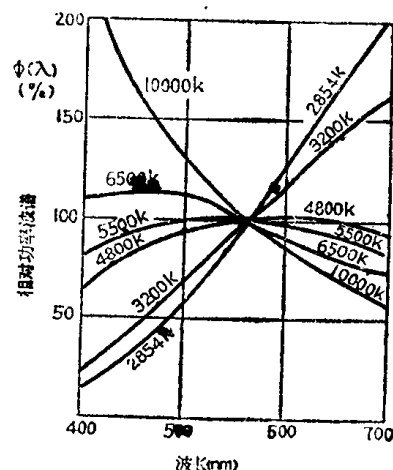


图 1.1.6 各种色温的黑体辐射的光谱分布

现将各种标准光源的主要特性简述如下：

标准光源A：色温为2854K，光谱能量主要集中在红外线区域，相当于充气钨丝白炽灯所产生的光。

标准光源B：相关色温为4874K，近似中午直射的太阳光。采用特制的滤色镜由标准光源A可获得B型白光。

标准光源C：相关色温为6774K，近似阴天时的太阳光，采用特制的滤色镜由标准光源A可获得C型白光。

标准光源D₆₅：相关色温为6504K，相当于直射太阳光与散射天空光的混合，是现在彩色电视中一般采用的标准光源。

标准光源E：相关色温为5500K，是在色度学中采用的一种假想的等能白光（E_白）。如果可见光谱所有波长的光都具有相等的辐射功率，即对应这种白光。E_白光在色度学中，经常作为理论分析和计算的标准。

新式卤钨灯：色温为3200K，而且稳定，经常用作彩色电视与彩色电影的拍摄灯光。日出、日落时太阳光的色温相当于新式卤钨灯的色温。它是前不久制造出的一种新光源。

1.1.5 可见光的度量

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，由于人眼对辐射功率相同而波长不同光的敏感程度不同，辐射功率还不足以反映可见光的特性。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，这就引出了光度学的知识。下面介绍电视中常用的光度学基本物理量。

一、相对视敏函数

人眼对不同波长光的敏感程度各不相同，因此，在产生相同亮度感觉的情况下，要求各种波长光的辐射功率 $P_r(\lambda)$ 也就不同。此时，辐射功率越大，说明该波长的光越不易被人眼感觉；辐射功率越小，人眼对它的敏感程度越高。因此，用 $P_r(\lambda)$ 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。

实测表明，波长为555nm的光有最大的视敏函数值 $K_m = K(555)$ 。于是，把任意波长光的视敏函数 $K(\lambda)$ 与 K_m 值之比定义为相对视敏函数，并用 $V(\lambda)$ 表示：

$$V(\lambda) = K(\lambda) / K(555) = K(\lambda) / K_m$$

或者

$$V(\lambda) = P_r(555) / P_r(\lambda)$$

表1.1.1列出了1933年CIE*所获得的最佳数据，由此画出的相对视敏函数曲线如图1.1.7所示。

由图可见，视敏函数曲线的最大值位于波长为555nm处，在此两侧，随着波长的增加或减小，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。

• CIE是Commission International de l'Eclairage (国际照明委员会)的缩写词。

表 1.1.1

相对视敏函数值

$\lambda(nm)$	$V(\lambda)$	$\lambda(nm)$	$V(\lambda)$	$\lambda(nm)$	$V(\lambda)$
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	0.00008
510	0.503	640	0.175		
520	0.710	650	0.107		

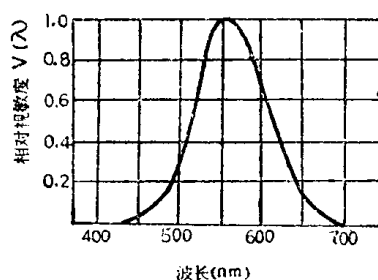


图 1.1.7 相对视敏函数曲线

二、光通量

光通量是按照CIE规定的人眼视觉特性（相对视敏函数曲线）来度量的光源辐射功率。利用光谱灵敏度曲线与人眼相对视敏函数曲线相似的光电管可以直接测量光源的光通量，其符号用 Φ 表示，单位为 lm （流明）。

对于单一波长的光，光通量 Φ 与辐射功率 $P(\lambda_1)$ 之间的关系为

$$\Phi = k P(\lambda_1) V(\lambda_1) lm$$

式中， $k=683 lm/W$ 。当 $\lambda_1=420nm$ 时， $V(420)=0.0040$ ，若光源的辐射功率 $P(420)=250W$ （瓦），则光通量 Φ 应为

$$\Phi = 683 \times 250 \times 0.0040 = 683 lm$$

如果光源的功率波谱（辐射功率密度分布）为 $P(\lambda)$ ，则在波长 λ 附近的 $\Delta\lambda$ 区间内的光通量为 $kP(\lambda)V(\lambda)\Delta\lambda$ ；在全部可见光范围（380~780nm）内，对所有波长成分求和，即可得光源的总的光通量为

$$\begin{aligned} \Phi &= k \sum_{\lambda=380}^{780} P(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda \\ &= k \int_{380}^{780} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad lm \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

几种实用光源输出的光通量和发光效率如表1.1.2所示。

三、发光强度（在指定方向）

从某个点光源或光源的一个元素，发射出包含指定方向在内的一个无限小角锥中的光通

表 1.1.2

几种光源的光通量和发光效率

光源	40W 钨 灯	100W 钨 灯	1000W 钨 灯	1000W 氙 灯	1000W高压 水 银 灯	40W 荧 光 灯
光输出(lm)	465	1630	21500	28000	32000	2100
发光效率 (lm/w)	11.7	16.3	21.5	28	32	52.5

量 $d\Phi$ ，与该小角锥立体角 $d\omega$ 的比值，称为该光源在该方向上的发光强度。符号为 I ，单位为cd（坎德拉）。它与光通量的关系为

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{d\Phi}{d\omega} \quad \text{cd} \\ \Phi &= \int I d\omega \quad \text{lm} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.2)$$

所谓小角锥立体角 $d\omega$ 就是从球心射向球面面积 ds 上的锥体角。若半径为 r ，则该立体角为 $d\omega = ds/r^2$ 。

当点光源向周围空间作均匀辐射，且总的光通量为 Φ 时，由于球面积等于 $4\pi r^2$ ，整个立体空间的立体角为 4π ，因此该光源在各个方向上的发光强度相等，并为

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

一般说来，光源在不同方向上的发光强度是不同的。多数面光源只向半球空间辐射。对于漫散射面（或称余弦散射面）光源，其发光强度按余弦规律分布，即与光源面 (S) 的法线成 α 夹角的光强 I_α 为

$$I_\alpha = I_n \cos \alpha \quad (1.1.3)$$

这种光源的发光强度分布示意图如图1.1.8所示。式(1.1.3)与图1.1.8中的 I_n 为光源面法线方向的发光强度。不难看出，当 α 角增大时， I_α 减小； $\alpha = \frac{\pi}{2}$ 时， $I_\alpha = 0$ 。

四、亮度

在发光面上取一无限小面积 ds ，如图1.1.9所示。设发光面 ds 在与其法线 n 成 α 角的方向上的立体角 $d\omega$ 内发出的光通量为 $d\Phi$ ，则 α 方向的发光强度（ $I_\alpha = d\Phi/d\omega$ ）与 ds 在垂直于 α 方向的平面上的投影面积 $ds \cos \alpha$ 之比，称为发光面 ds 在 α 方向的亮度，符号为 L ，即有

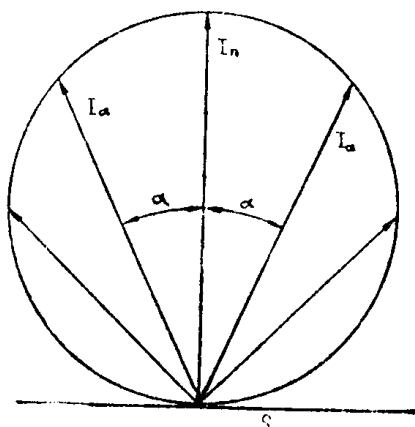


图 1.1.8 漫散射面光源的发光强度分布

$$L = \frac{I_a}{ds \cos \alpha} \quad (1.1.4)$$

把 $I_a = d\Phi/d\omega$ 代入上式, 得

$$L = \frac{d\Phi}{\cos \alpha ds d\omega} \quad (1.1.5)$$

式 (1.1.4) 表明, α 方向的亮度 L 就是投影到 α 方向的单位面积上的发光强度。按式 (1.1.5), α 方向的亮度也即投影到 α 方向的单位面积、单位立体角内的光通量。

对于漫散射面光源, 其发光强度按式 (1.1.3) 所示的余弦规律分布, 那么, 由式 (1.1.4) 得发光面的亮度为

$$L = \frac{I_n \cos \alpha}{ds \cos \alpha} = \frac{I_n}{ds}$$

由该式可知, 漫散射面的亮度与方向无关。我们看电视时, 由于显象管荧光屏面是漫散射面, 所以从不同角度看, 亮度都一样, 但是其发光强度则随角度的改变而变化。

亮度的单位为 cd/m^2 (坎德拉每平方米)。它与采用的其它亮度单位的换算关系如表 1.1.3 所示。

黑白电视接收机和彩色电视接收机显象管荧光屏的亮度分别约为 $200 \text{cd}/\text{m}^2$ 和 $120 \text{cd}/\text{m}^2$ 。

五、照度

单位面积上所接受的光通量的大小称为照度。设受照面积为 ds , 射到该面积上的光通量为 $d\Phi$, 则该面积的照度 E 为

$$E = \frac{d\Phi}{ds} \quad (1.1.6)$$

照度的单位为 lx (勒克斯) 1lx 等于 $1 \text{lm}/\text{m}^2$ (流明每平方米), 与采用的其它照度单位间的换算关系见表 1.1.3。物体的照度可以直接用照度计测量。

各种工作场合需要不同的光照度值。各种情况下希望达到或所能达到的照度值见表 1.1.4。

表 1.1.3 (1) 照度、亮度单位换算表

	尼 特 nt	熙 提 sb	毫熙提 msb	阿熙提 asb	朗 伯 L	毫朗伯 mL	英尺-朗伯 fL	单位面积的 坎德拉数
尼特 $\text{nit}(\text{nt})$	1	10^{-4}	10^{-1}	π	$\pi \times 10^{-4}$	$\pi \times 10^{-1}$	2.919×10^{-1}	$1 \text{cd}/\text{m}^2$ (坎德拉每平方米)
熙提 sb	10^4	1	10^3	$\pi \times 10^4$	π	$\pi \times 10^3$	2.919×10^3	$1 \text{cd}/\text{cm}^2$
毫熙提 msb	10	10^{-3}	1	$\pi \times 10$	$\pi \times 10^{-3}$	π	2.919	$10^{-3} \text{cd}/\text{cm}^2$
阿熙提 asb	$\frac{1}{\pi}$	$\frac{1}{\pi} \times 10^{-4}$	$\frac{1}{\pi} \times 10^{-1}$	1	10^{-4}	10^{-1}	9.290×10^{-2}	$\frac{1}{\pi} \text{cd}/\text{m}^2$
朗伯 L	$\frac{1}{\pi} \times 10^4$	$\frac{1}{\pi}$	$\frac{1}{\pi} \times 10^3$	10^4	1	10^3	9.290×10^3	$\frac{1}{\pi} \text{cd}/\text{cm}^2$
毫朗伯 mL	$\frac{1}{\pi} \times 10$	$\frac{1}{\pi} \times 10^{-3}$	$\frac{1}{\pi}$	10	10^{-3}	1	9.290×10^{-1}	$\frac{1}{\pi} \times 10^{-3} \text{cd}/\text{cm}^2$
英尺-朗伯 fL	3.426	3.426×10^{-4}	3.426×10^{-1}	1.076×10	1.076×10^{-3}	1.076	1	$\frac{1}{\pi} \text{cd}/\text{ft}^2$

(2) 亮度换算因数表

	勒克司 lx	辐透 ph	毫辐透 mph	英尺-烛光 $ft \cdot cd$	单位面积流明数
勒克斯 lx	1	10^{-4}	10^{-1}	9.290×10^{-2}	lm/m^2 (1勒克斯)
辐透 ph	10^4	1	10^3	9.290×10^2	lm/cm^2
毫辐透 mph	10	10^{-3}	1	9.290×10^{-1}	$10^{-3} lm/cm^2$
英尺-烛光 $ft \cdot cd$	1.076×10	1.076×10^{-3}	1.076	1	lm/ft^2

表 1.1.4 各种环境下的照度值

场 合	光照度(lx)	场 合	光照度(lx)
观看仪器的示值	30~50	明朗夏日采光良好的室内	100~500
一般阅读及书写	50~75	太阳直照时的地面照度	10万
精细工作(修表等)	100~200	满月在天顶时的地面照度	0.2
摄影场内拍摄电影	1万	无月夜天光在地面产生的照度	3×10^{-4}
照相制版时的原稿	3万~4万	电视演播室	300~2000

1.2 视觉特性

1.2.1 明光与弱光的亮度视觉

在第1.1.5节中讨论了人眼的相对视敏函数,并绘出了如图1.1.7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1.2.1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。

从生理学的研究知道,明视觉与暗视觉是由于人眼内有锥状和杆状两种不同的感光细胞而引起的。锥状细胞对明光既有辨色能力又有亮度感应,但对弱光无感应。而杆状细胞对明光无感应,只在弱光下才具有明暗感觉。

1.2.2 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叫做白黑系列,如图1.2.2所示。它的一端是纯白,另一端是纯黑,中间有各种过渡的灰色。在白色光源的照射下,理想的完全反射的物体呈纯白色,对光的反射率为1。理想的全吸收的物体呈全黑色,对光的反射率为零。在现实生活中,并没有纯白和纯黑的物体。氧化镁接近纯白,黑绒接近纯黑。白黑系列的物体对光的反射率不同,反映到视觉上是明暗变化。越接近白色,亮度越高,反之,越接近黑色,亮度越低。

当物体在白光光源的照射下,对可见光谱所有波长的反射率都在80~90%以上时,该物体为白色;当其反射率均在4%以下时,该物体为黑色。白色、黑色和灰色物体对光谱各波长的反射没有选择性,所以,它们是中性色。

对于光源来说,非彩色的白黑变化相应于白光的亮度的变化。当光源的亮度高时,人眼就感到是白色的;当光源的亮度低时,就感到发暗或发灰;无光时是黑色的。