

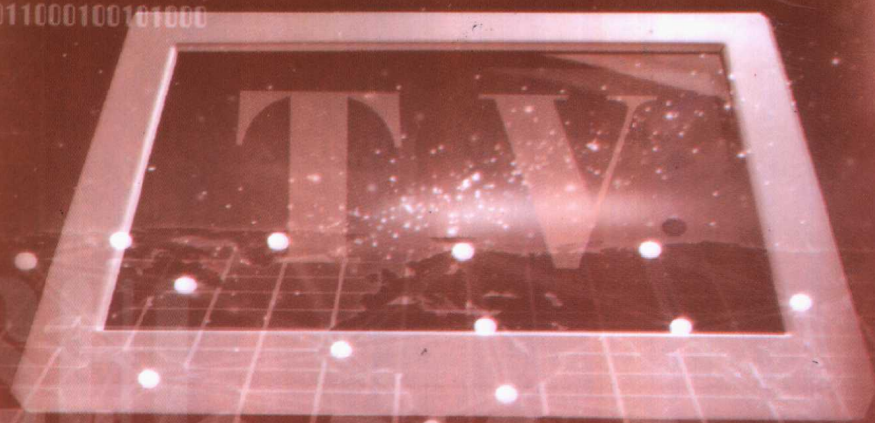
电子信息工程专业本科系列教材

DIANZI XINXI GONGCHENG ZHUANYE BENKE XILIE JIAOCAI

电视原理

DIANSHI YUANLI

100110100100100101001011001010100001111010101001011000100101000
100110100100100101001011001010100001111010101001011000100101000
100110100100100101001011001010100001111010101001011000100101000
100110100100100101001011001010100001111010101001011000100101000
1001101001001010101001011000100101000



主 编 王卫东

重庆大学出版社

内 容 提 要

本教材共7章,其中第1、第2章介绍彩色电视的基础理论知识与电视传像基本原理;第3章讲述3种基本彩色电视传输制式的原理、编解码方法和主要性能;第4章是广播电视信号传输、广播电视系统,包括卫星电视传输系统和有线电视系统。第5章是集成电路彩色电视接收机,包括高频调谐器、红外遥控技术、中频通道、伴音通道、亮度通道、彩色解码电路。第6章是彩色电视扫描、显像及多制式电视。第7章介绍数字电视系统的技术基础,包括高清晰度电视。每章均附有习题和思考题。

本教材内容新颖,以二片集成电路为例分析彩色电视接收机的组成原理,较好地处理了黑白电视与彩色电视、分立元件电路与集成电路、片内电路与外围电路三种关系。书中内容采用简化深层理论叙述与数学推导,保留经典知识,深入浅出。

本书可作为电子信息、通信、家电及仪器等专业的高等院校本、专科教材。对职业教育、自学考试、成人教育及科研工作者同样适用,亦可作为从事电视领域的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电视原理/王卫东主编. —重庆:重庆大学出版社,2003.7

(电子信息专业本科系列教材)

ISBN 7-5624-2823-9

I. 电... II. 王... III. 电视—理论—高等学校—教材 IV. TN94

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第043648号

电 视 原 理

主编 王卫东

责任编辑:彭 宁 黄才信 版式设计:彭 宁

责任校对:蓝安梅 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:368千 插页:8开3页 16开1页

2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-2823-9/TN·72 定价:18.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

本课程的参考学时数为 72 学时。

本教材可作为非广播电视专业的工科电子信息类本科或大专学生的教学用书。教材力求讲清彩色电视系统的基本原理,使学生全面掌握电视技术的基本应用。在此基础上,本教材对模拟电视接收机部分进行了精简,增加了数字电视、高清晰度电视等电视应用的新技术。

本教材共 7 章,其中第 1、第 2 章介绍彩色电视的基础理论知识与电视传像基本原理,包括视觉特性与三基色原理、色度学,电视系统的组成、扫描与同步以及电视图像的基本参量等;第 3 章讲述三种基本彩色电视传输制式的原理、编解码方法和主要性能;第 4 章是广播电视信号传输、广播电视系统,包括卫星电视传输系统和电缆电视系统。第 5 章是集成电路彩色电视接收机,包括高频调谐器、红外遥控技术、中频通道、伴音通道、亮度通道、彩色解码电路。第 6 章是彩色电视扫描、显像及多制式电视。第 7 章介绍数字电视系统的技术基础,包括高清晰度电视。每章均附有习题和思考题。

本教材以彩色电视为主线安排各章内容,这样既包括了黑白电视的全部内容,又指明了黑白电视与彩色电视的区别和内在联系。围绕电视系统把主要精力放在描述电视机工作原理的功能方框图上和对电视信号进行处理的核心单元电路上,而不是把注意力放在集成块内部电路工作过程的叙述上。在电路分析过程中以二片集成电路为例分析彩色电视接收机的组成原理,较好地处理了分立元件电路与集成电路、片内电路与外围电路的关系。

本教材由王卫东编写第 1、2、3、5、6、7 章,蔡忠见编写第 4 章,聂雄编写了第 7 章的部分内容。全书由王卫东统稿并绘制插图。在本书的编写过程中,作者从所列参考文献中吸取了宝贵的成果和资料。本书作者谨向各参考文献的著、编、译者表示感谢。

编 者

2003 年 1 月

目 录

第 1 章 彩色电视色度学基础	1
1.1 光的特性	1
1.1.1 可见光谱	1
1.1.2 物体的颜色	2
1.2 视觉特性	3
1.2.1 人眼的亮度视觉	3
1.2.2 人眼的色度视觉	3
1.2.3 人眼的分辨力	4
1.2.4 视觉惰性与闪烁感觉	5
1.3 色度学基础	6
1.3.1 彩色三要素	6
1.3.2 三基色原理	7
1.3.3 颜色的度量与表示	8
1.3.4 彩色的重现	10
习题与思考题	12
第 2 章 电视传像基本原理	13
2.1 电视系统组成原理	13
2.1.1 图像顺序传送原理	13
2.1.2 光和电的转换原理	15
2.1.3 彩色图像的摄取与重现	16
2.2 电视扫描原理	17
2.2.1 逐行扫描	17
2.2.2 隔行扫描	19
2.2.3 扫描的同步	21
2.3 电视图像的基本参数	26
2.3.1 图像的尺寸与几何形状	26
2.3.2 场扫描频率的选择	28
2.3.3 扫描行数及有关参数的确定	28
习题与思考题	32
第 3 章 电视图像传输制式	33
3.1 黑白电视制式	33

3.2 兼容制彩色电视基础	34
3.2.1 概述	34
3.2.2 恒定亮度传输	37
3.2.3 高频混合原理	40
3.2.4 标准彩条信号	41
3.3 NTSC 制彩色电视系统	43
3.3.1 正交平衡调制和正交同步检波	43
3.3.2 压缩系数及 U, V 色差信号	45
3.3.3 彩条波形图和矢量图	46
3.3.4 Q, I 色差信号	47
3.3.5 副载波的选择	49
3.3.6 NTSC 编、解码方框图	51
3.3.7 NTSC 制主要性能	52
3.4 PAL 制彩色电视系统	53
3.4.1 彩色相序交变原理	53
3.4.2 PAL 制色度信号	54
3.4.3 PAL 制副载波的选择	57
3.4.4 PAL 制色度信号分离与梳状滤波器	59
3.4.5 PAL 制编码器	63
3.4.6 PAL 制的主要技术性能	64
3.5 SECAM 制简介	67
习题与思考题	70
第4章 广播电视信号传输	72
4.1 广播电视信号的发射	72
4.1.1 电视广播与传输系统的组成	72
4.1.2 广播电视信号的发射机特点	73
4.1.3 电视差转机的组成	78
4.1.4 电视的微波中继传输	79
4.2 卫星电视传输系统	80
4.2.1 概述	80
4.2.2 卫星广播电视的信号处理	81
4.2.3 地面接收站	82
4.2.4 模拟式彩色电视制式转换原理	83
4.3 有线电视系统	84
4.3.1 概述	84
4.3.2 有线电视系统的设计	86
习题与思考题	89
第5章 彩色电视接收机	91
5.1 概述	91
5.2 超外差单通道彩色电视接收机的组成	92

5.2.1	黑白和彩色电视接收机的基本框图	92
5.2.2	黑白图像信号流程	93
5.2.3	彩色电视信号处理电路	96
5.2.4	集成电路电视接收机的发展	100
5.3	彩色电视接收机的主要性能	103
5.3.1	灵敏度	103
5.3.2	选择性	103
5.3.3	AGC 特性	103
5.3.4	增益分配和幅频特性	104
5.4	高频调谐器和遥控电路	104
5.4.1	高频调谐器的组成、作用及要求	104
5.4.2	全频道电子调谐器	107
5.4.3	红外遥控数字调谐系统的功能及组成	113
5.5	图像中频通道与伴音通道	117
5.5.1	图像中频通道的组成和要求	117
5.5.2	声表面波滤波器	118
5.5.3	TA7680AP 的中频通道分析	119
5.5.4	伴音通道	124
5.6	色度信号处理系统	125
5.6.1	色度放大电路的作用与要求	126
5.6.2	延时线解码器(梳状滤波器)	128
5.6.3	U、V 同步解调	131
5.6.4	基准副载波形成电路	132
5.7	亮度通道	136
5.7.1	亮度通道的作用与要求	136
5.7.2	亮度通道中的几个电路	137
5.7.3	基色矩阵电路与黑白平衡调节电路	139
5.8	TA7698AP 色度解码电路分析	141
5.8.1	TA7698AP 集成电路介绍	141
5.8.2	TA7698AP 的色度通道分析	142
5.8.3	TA7698AP 色副载波恢复电路的分析	143
	习题与思考题	146
第 6 章	彩色电视扫描、显像及多制式电视	148
6.1	电子束扫描电路	148
6.1.1	行、场扫描电路的功能与组成	148
6.1.2	同步信号的分离	148
6.1.3	场扫描电路	151
6.1.4	行扫描电路	154
6.1.5	枕形失真校正电路	166
6.2	彩色显像管	169
6.2.1	概述	169

6.2.2	自会聚管的构造特点	169
6.2.3	自会聚管工作原理	170
6.2.4	开槽荫罩板和条状荧光屏	173
6.2.5	色纯调整	174
6.3	多制式电视	175
6.3.1	多制式接收电路	175
6.3.2	大屏幕、多制式彩电的新型电路	179
	习题与思考题	183
第7章	数字电视基础	184
7.1	数字电视概述	184
7.1.1	数字电视系统与数字电视设备	184
7.1.2	数字电视的主要优点	185
7.2	视频信号 PCM 编码	185
7.2.1	A/D 与 D/A 变换	185
7.2.2	全信号编码与分量编码	186
7.3	频带压缩编码	188
7.3.1	频带压缩的主要依据	188
7.3.2	预测编码	188
7.3.3	变换编码	190
7.3.4	亚奈奎斯特取样编码	191
7.4	数字视频信号处理	192
7.4.1	数字存储与延迟	192
7.4.2	数字亮色分离滤波器	193
7.4.3	数字色度解码	197
7.4.4	画中画视频处理	198
7.4.5	倍速扫描视频处理	199
7.4.6	数字时基校正	200
7.4.7	图文电视广播	200
7.5	数字电视接收机	202
7.5.1	数字电视接收机的基本组成	202
7.5.2	视频处理电路	203
7.5.3	同步扫描数字处理电路	204
7.6	高清晰度电视	205
7.6.1	概 述	205
7.6.2	MUSE 制的数字 HDTV	205
7.6.3	HD—MAC 制的 HDTV	207
7.6.4	ATSC 制的 HDTV	208
	习题与思考题	210
	附录	211
	参考文献	215

第 1 章

彩色电视色度学基础

五光十色的自然界,通过光波的传递映入人眼产生视觉。彩色电视传送景物的过程,就是根据人眼的视觉特性把一幅幅光学景像转换成电信号进行传输,然后再把电信号恢复成正确的光学图像。因此在学习彩色电视原理之前,有必要了解一些有关光和色度学的基本知识。

1.1 光的特性

1.1.1 可见光谱

光是一种能够引起人眼视觉的客观存在。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,其本质是和无线电波相同的电磁波,通常称之为光波。电磁辐射的波长范围很广,它包括无线电波、红外线、紫外线、X射线和宇宙射线等。图 1.1 所示的电磁波按波长(或频率)的顺序排列,称作电磁波谱。

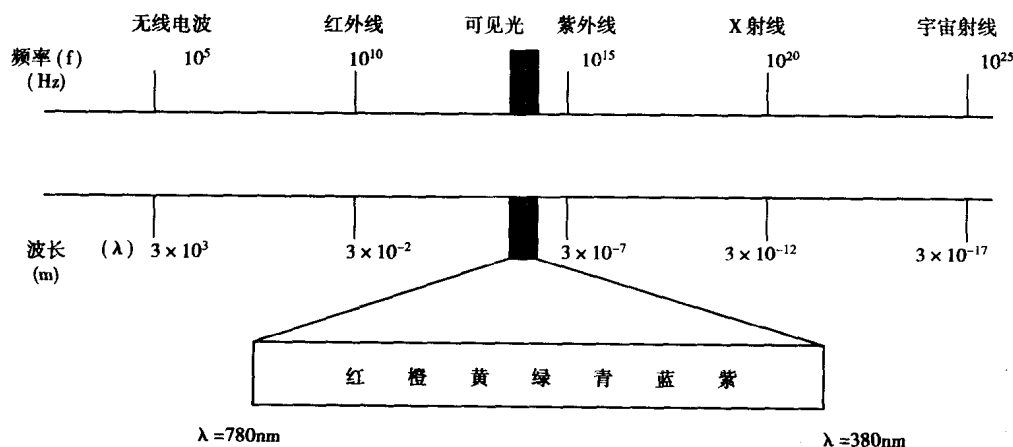


图 1.1 电磁辐射波谱

由图 1.1 可知,人眼能感觉到的可见光谱只集中在电磁波谱 5×10^{14} Hz 附近很窄的一段

频率范围内,其波长为 $380 \sim 780\text{nm}$ 。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 7 种色带。不同波长的光所呈现的颜色各不相同,只含有单一波长成分的光称为单色光;包含有两种或两种以上波长成分的光称为复合光。作为白光的太阳光,实质上并不是单色光,而是由不同波长的无数单色光所组成的复合光。假如把一束太阳光通过三棱镜后,由于不同波长折射率不同,便分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的彩带,这一实验表示太阳光是包含全色谱的复合光,给人眼以白光的综合感觉。

1.1.2 物体的颜色

所谓物体的颜色,是人眼受不同波长光波作用的综合感觉。一般物体可分为发光体与非发光体两大类。发光体的颜色由它所发出的光谱所确定,除了太阳有它的光谱色外,其他的发光体,如白炽灯、荧光灯、电视荧光屏等也都有其特定的光谱色。

不发光物体呈现的颜色与照射光的光谱和它对照射光的反射、透射特性有关。例如,红花能反射太阳光中的红色光而吸收其他颜色的光,因而呈红色;绿叶能反射绿色的光而吸收其他颜色的光,因而呈绿色;白云能反射全部太阳光,因而呈白色;黑炭能吸收全部太阳光,因而呈黑色。这种由照射光谱和物体反射或透射光谱特性确定的物体颜色叫物体色。由于自然界各种物体吸收和反射太阳光中波长各异的光,这样就构成五彩缤纷、绚丽多彩的彩色世界。

如果照射物体的不是太阳光,则物体的颜色就要变样。例如在太阳光下呈绿色的树叶,拿到红光下观察,就变成了黑色。这是因为红光源中没有绿色成分,树叶吸收了全部红光,因而呈黑色。

综上所述,光源不同,物体色各异。在彩色电视系统中,一般选用白光作为照明光源,但白光光源因照明条件差别而有不同的光谱特性,它们将会引起彩色视觉的差异。为了统一标准,为了便于描述不同光源的可见光谱的辐射情况,引入了绝对黑体和色温的概念。

绝对黑体被定义为能全部吸收入射光的理想黑体。一个绝对黑体所辐射的光谱,是与它的温度密切相关的。绝对黑体的温度越高,它所辐射的光谱中蓝色分量就越多,红色分量就越少。因此常把与某一光源光谱相当的绝对黑体的温度称为该光源的“色温”,单位以绝对温度开氏度(K)表示。

因此光源的“色温”是这样定义的:在可见光谱内,光源的光谱与某温度下的绝对黑体辐射的光谱一样时,该绝对黑体的温度被称为该光源的色温。例如,白炽钨丝灯的温度为 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,则白光钨丝灯的色温为 2854K ,而不是 2800K 。因此色温并非光源本身的实际温度,而是用来表征光源光谱(分布)特性的一个参量。

为了使光源的比较和色度计算有一个标准,根据国际上的规定,电视中常用的标准白光源有 A、B、C、D₆₅ 和 E 五种光源,它们的光谱分布如图 1.2 所示。

各种光源的主要特性如下:

A 光源:色温为 2854K 的白光,光谱偏红,带些橙红色。光谱能量主要集中在红外线区域。相当于钨丝灯在 2800K 时所辐射出的光。

B 光源:色温为 4800K 的白光,近似中午直射的太阳光。

C 光源:色温为 6700K 的白光,相当于阴天天空散射光。是 NTSC 制彩色电视白光标准光源。

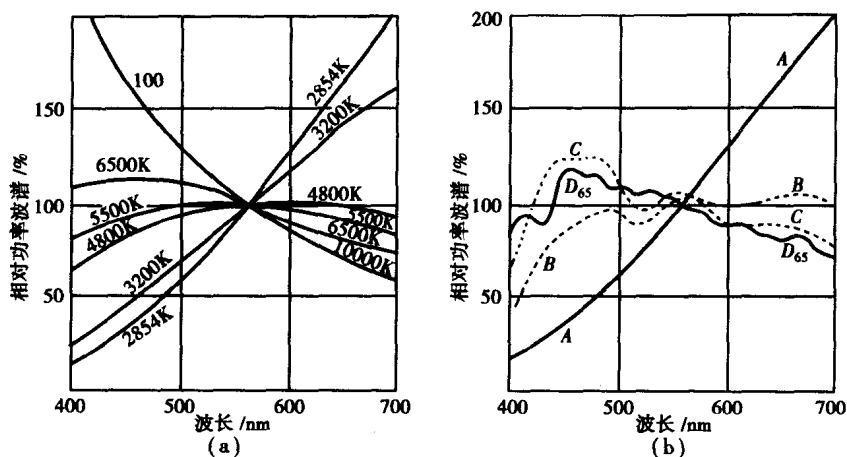


图 1.2 黑体和标准白光源的相对功率波谱

(a) 黑体; (b) 标准白光源

D_{65} 光源: 色温为 6 500K 的白光, 相当于白天的平均光照。是 PAL 制彩色电视白光标准光源。

E 光源: 色温近似为 5 500K, 这种光源实际上并不存在, 仅为了简化色度学中的计算而引入的一种假设光源, 也称为等能白光。

1.2 视觉特性

1.2.1 人眼的亮度视觉

在可见光的波长范围内, 人眼对不同波长的光不仅颜色感觉不同, 亮度感觉灵敏度也不相同, 而且还因人而异。经过对各种类型人的调查统计, 得出人眼对各种不同波长光感的相对灵敏度, 常用视敏度曲线表示。图 1.3 的曲线表示为国际通用的视敏度曲线, 也称相对视敏函数曲线。

曲线表明了具有相等的辐射能量的不同波长光作用于人眼时, 所引起的相对亮度感觉的变化规律。由曲线可知, 人眼对不同颜色光的亮度感觉不一样。人眼对绿色光比较敏感, 看起来省力, 不易疲劳。人眼最敏感的光波长为 555nm, 颜色是草绿色。在 555nm 处两侧, 随着波长的增加或减小, 亮度感觉逐渐降低。也就是说, 在可见光谱范围之外, 即使辐射能量再大, 人眼也是没有亮度感觉的。

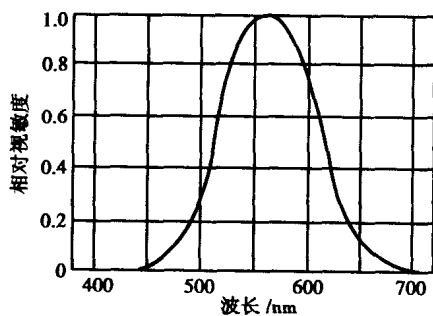


图 1.3 相对视敏函数曲线

1.2.2 人眼的色度视觉

人眼的视网膜由大量光敏细胞组成, 按其形状分为杆状细胞和锥状细胞, 前者只能感光, 后者不但能感光也能感色。在感光能力上, 杆状细胞对弱光的灵敏度比锥状细胞大得多, 对弱

光特别敏感,而对正常光照则失去作用。人在夜间光线暗到一定程度时,只有杆状细胞起作用,人眼分辨不出光谱中的各种颜色,结果整个光谱带反映为明暗程度不同的灰色带。因此,在暗处只能看到黑白形象而无法辨别颜色。反之,锥状细胞要在正常光照的作用下才能引起视觉,并产生色感。

关于彩色视觉,俄国科学家罗蒙洛索夫于 1756 年首先提出三基色的假设,从而奠定了认识色觉的基础。这个假设后来得到许多科学家的实验证明。罗蒙洛索夫认为,人眼的锥状细胞是由红、绿、蓝三种感光细胞组成的。它们相应的光谱响应曲线分别用 $V_R(\lambda)$ 、 $V_G(\lambda)$ 、 $V_B(\lambda)$ 表示,如图 1.4 所示。

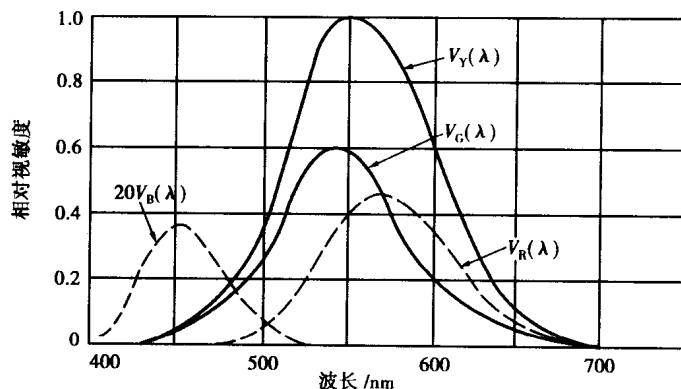


图 1.4 三种锥状细胞的相对视敏函数曲线

由图可知,曲线 V_R 、 V_G 、 V_B 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细胞的刺激量是不同的,产生的彩色视觉各异,从而使人眼能分辨出五光十色的颜色。电视技术正是利用了这一原理,在视觉图像复现过程中,不是重现原来景物的光谱分布,而是利用三种相似于红、绿、蓝锥状细胞特性曲线的三种光源进行配色,使在色感上得到相同的效果,即同色异谱的彩色视觉效果。

1.2.3 人眼的分辨力

眼睛分辨景像细节的能力称为分辨力。在眼睛的正前方放一块白色的屏幕,上面有两个相距很近的小黑点。逐渐增加屏幕与眼睛之间的距离,当距离增加到一定长度时,人眼就分辨不出两个黑点距离,这说明眼睛分辨景像细节的能力是有限的。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。

分辨力的定义是:眼睛对被观察物上两点之间能分辨的最小视角 θ 的倒数,即

$$\text{分辨力} = \frac{1}{\theta}$$

由图 1.5 所示几何关系可得

$$\theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{L} = 3438 \frac{d}{L}$$

图中 d 表示能分辨的相邻最近的两点之间的距离。 θ 是以分为单位的最小视角,这与医

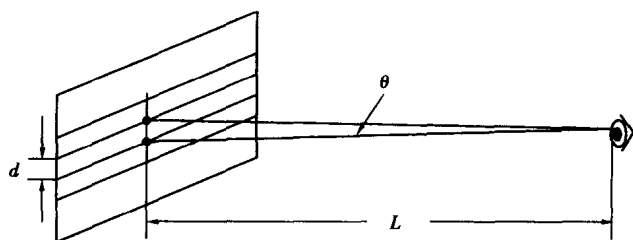


图 1.5 人眼的分辨力

学中所定义的视力是一致的。若眼睛的最小视角为 $1'$ ，则视力为 1.0；若眼睛的最小视角为 $2'$ ，则视力为 0.5。

最小视角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像时， θ 为 $1' \sim 1.5'$ 。分辨力在很大程度上取决于景物细节的亮度和对比度，当亮度很低时，视力很差，这是因为亮度低时锥状细胞不起作用。但是亮度过大时，视力不再增加，甚至由于眩目现象，视力反而有所降低。此外，细节对比度愈小，也愈不易分辨，造成分辨力降低。在观看运动物体时，分辨力更低。人眼对彩色细节的分辨力比黑白细节的分辨力要低。例如，黑白相间的等宽条子，相隔一定距离观看时，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，分辨力也各不相同。如果眼睛对黑白细节的分辨力定为 100%，则实验测得人眼对各种颜色细节的分辨力如表 1.1 中所列数值。

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

因此在彩色电视系统中传送彩色图像时，只传送黑白图像细节，而不传送彩色细节，可减少色信号的带宽，这就是大面积着色原理的依据。

1.2.4 视觉惰性与闪烁感觉

当一定强度的光突然作用于视网膜时，不能在瞬间形成稳定的主观亮度感觉，而有一个短暂的过渡过程。随着作用时间的增长，主观亮度感觉由小变大，达到正常值。实验还证明，当光消失后，亮度感觉也并不瞬时消失，而是按近似指数函数的规律逐渐减小。这叫做视觉暂留特性，也称视觉惰性。这一特性可用图 1.6 进一步说明。

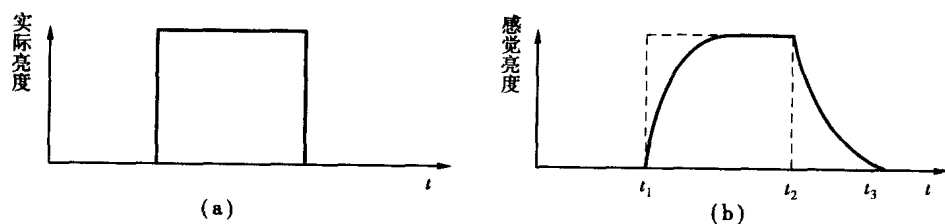


图 1.6 视觉惰性

图 1.6(a) 表示作用于人眼的光脉冲, 图 1.6(b) 表示相应的主观亮度感觉, 它滞后于实际光信号。光脉冲消失后, 亮度感觉还要一段时间才能消失。图 1.6(b) 中 t_2-t_3 就是视觉残留时间。对于在中等亮度的光刺激下, 视力正常的人眼视觉残留时间约为 0.1s。

视觉惰性在近代电影和电视中得到应用, 它们都依靠快速更换固定的图像, 利用眼睛的视觉暂留特性而在大脑中形成图像内容连续运动的感觉。

眼睛在周期性的光脉冲刺激下, 如果它的频率不够高, 则会感到一明一暗的闪烁现象, 长期观看容易疲劳。如果将闪烁的频率增加到某一值时, 由于视觉惰性, 眼睛就将感觉不到闪烁了。不引起闪烁感觉的最低重复频率, 称为临界闪烁频率。临界闪烁频率与光脉冲亮度有关, 由经验公式可近似表示为

$$f_c = a \lg B_{m0} + b \quad (1.1)$$

式中, a 和 b 均为常数 $a = 9.6$, $b = 26.6$, B_{m0} 为电视屏幕的最大亮度。对电视屏幕来讲, 当 $B_{m0} = 100$ 尼特 (亮度单位 cd/m^2) 时, 人眼的临界闪烁频率约为 46Hz。另外可以看出, 当屏幕亮度增加时 f_c 也将增加。

1.3 色度学基础

色度学是一门研究彩色计量的科学, 是彩色电视的理论基础之一。运用色度学原理, 就能以比较简单而有效的技术手段来实现彩色电视。一方面可以逼真地传送丰富多彩的景像; 另一方面还可以提供人为调整的可能性, 使恢复的彩色比实际景物更加鲜艳, 达到更好的艺术效果。

1.3.1 彩色三要素

为了说明给定景像的彩色感觉, 色度学中采用亮度、色调和色饱和度三个彩色要素来确切地表示某一彩色光。因此彩色视觉就是人眼对亮度、色调和色饱和度的总效应。

亮度是反映光作用于人眼时引起的明亮程度, 一般来说, 彩色光辐射的功率越大, 亮度越高, 反之则亮度越低。对于不发光的物体, 其亮度取决于它反射光功率的大小。另外, 在相同的人射条件下, 波长不同的单色光, 使人眼产生的亮度感觉也不相同。

色调是反映彩色的类别, 也就是人眼视觉的色感。例如红色、绿色和蓝色等不同颜色。不同光谱的光呈现不同的色调, 彩色物体所反映出的色调不仅与它所反射或透射的光谱分量有关, 而且还与照射光源的光谱成分有关。

色饱和度是表示彩色光所呈现的深浅程度。对于同一色调的彩色光, 彩色越浓越纯, 其饱和度和越高。也可以说, 饱和度是表示某一彩色掺进白色的程度。或者说, 纯净的单色光被白光冲淡的程度。某彩色光饱和度为 100%, 表示该彩色光中没有混入白光。饱和度的下降反映了彩色光被白光所冲淡。

彩色光的亮度、色调和色饱和度是构成人眼对彩色光感觉的三个要素。色调和色饱和度统一说明了彩色的固有特点, 常把色调和色饱和度合称为色度, 它既表示了彩色光的彩色区别, 又反映了彩色光的深浅程度。

1.3.2 三基色原理

在前面所述人眼彩色视觉特性中已知,在彩色重现过程中并不要求完全重现原景物及反射光的光谱成分,而重要的是应获得与原景物相同的彩色感觉。因此仿效人眼三种锥状细胞,可以任选三种基色,将它们按不同比例进行组合,可引起各种不同的彩色感觉。但选择的三种基色必须是相互独立的,即在数学上是线性无关的。也就是说,其中任何一种基色都不可能由另外两种基色混合而得,否则实际上是两基色,使重现彩色的色域比三基色的狭小。另外,三基色的光谱特性可以是谱色,也可非谱色。因此所谓三基色原理,是指选择三种独立的基色,将它们按不同的比例混合,就可以引起各种不同的颜色感觉,反之,任何彩色,也能分解为三种基色。

在彩色电视中,比较恰当的是在红色、绿色和蓝色光谱区域内选择三个基色。这是因为人眼的三种锥状细胞分别对红光、绿光和蓝光最敏感,它们配得的颜色范围也较广,几乎自然界中所能观察到的各种彩色都能由它混合配出。三基色原理对彩色电视极为重要,它把需要传送景物丰富多彩颜色的任务简化为只需传送三个基色信号。

由三基色光相混合所得彩色光的亮度等于三种基色亮度之和。这种色光的混色又称为相加混色,其混合规律如图 1.7 所示。

其中,红、绿、蓝为投射到一个白色屏幕上的三束单色光,当三者比例合适时,有如下混色规律:

红光 + 绿光 = 黄光

红光 + 蓝光 = 品红光

绿光 + 蓝光 = 青光

红光 + 绿光 + 蓝光 = 白光

适当改变混色比例时,几乎可以得到自然界中常见的所有彩色光。从图中还可以看到:

红光 + 青光 = 白光

绿光 + 品红光 = 白光

蓝光 + 黄光 = 白光

当两种色光按适当比例混合时得到白光,这两种色称为互补色。例如,上述红、绿、蓝分别是青、品红、黄三色的补色,反之亦然。

利用三基色原理,在彩色电视系统摄像端利用三基色光谱特性将景色分解成三个基色信号传送,在接收端产生相应的红、绿、蓝光、配出原景物的彩色。这样,利用人眼的彩色视觉特性就可以大大简化彩色电视系统的实现。

在电视技术中,常用的相加混色方法有两种:

时间混色法:将三种基色光按一定的顺序轮流投射到某一表面,只要轮换速度足够快,利用人眼的视觉惰性,就能得到相加混色的效果。它是顺序制彩色电视基础。

空间混色法:将三种基色光分别投射到同一表面邻近的三个点上,利用人眼空间分辨力有限的特性,只要发光点彼此相距很近,就会产生三基色光相混合的彩色感觉。它是同时制彩色电视的基础。

与彩色电视不同,在彩色印刷、彩色胶片和绘画中采用的是相减混色法。它们是利用颜

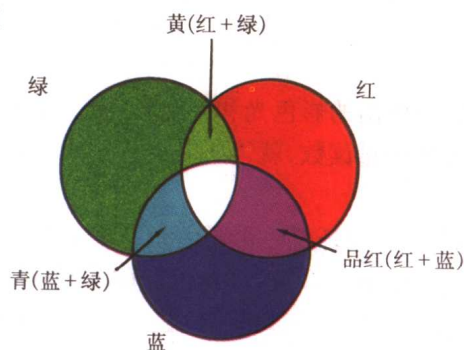


图 1.7 相加混色

料、染料的吸色性质来实现的。例如,黄色颜料吸收蓝色(黄色的补色)光,于是在白光照射下,反射光中因缺蓝光而呈现黄色。在减色法中用黄、品红、青作为三基色,它们分别吸收各自的补色,即蓝、绿和红光。因此在减色法中,将三基色按不同比例混合时,在白光照射下,蓝、绿、红光也将按相应的比例被吸收,从而呈现各种不同彩色。

1.3.3 颜色的度量与表示

(1) 配色实验

由三基色原理知道,按不同比例混合相互独立的三基色,可以获得与已知色相同的颜色。

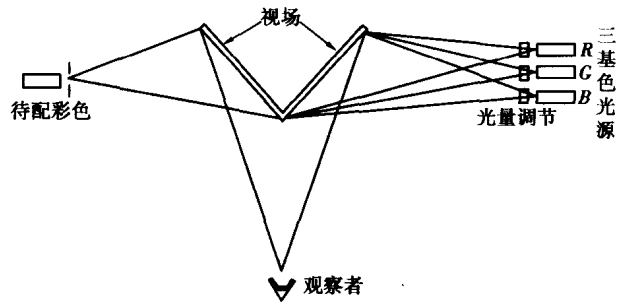


图 1.8 配色实验原理图

对于选定的三基色进行配色实验时,可用比色计进行,如图 1.8 所示。

比色计中有两块互成直角的白板(屏幕),它们对任何波长的光几乎全部反射。两块白屏将人眼的视场分成二等分,在左半视场的白屏上投射待配彩色光,在右半视场白屏上投射红、绿、蓝三基色光。使红、绿、蓝三基色光和待配的已知色光同时作用到人眼,进行颜色比较。调节三基色光通量的比例,直至由

它们配出的彩色光和待配彩色光,在人的视觉效果上完全一致。这时记下的三基色调节器上的光通量读数,就得所需三基色的混合比例。由此可得到配色方程的数学表达式为

$$F = R[R] + G[G] + B[B] \tag{1.2}$$

式中, F 为任意一个彩色光, $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 为三基色单位量,即比色计调节器的刻度。 R 、 G 、 B 为三色分布系数(即比色计调节器刻度数),它表示配出已给彩色时,各需多少单位的红 $[R]$ 、绿 $[G]$ 、蓝 $[B]$ 基色单位数。 R 、 G 、 B 的比例确定了所配彩色光的色度(包含色调和色饱和度),其数值确定了所配彩色光的光通量。 $R[R]$ 、 $G[G]$ 、 $B[B]$ 分别代表彩色量 F 中所含三基色的光通量成分,又称彩色分量。

由于不同的观察者对同一色感所需的 R 、 G 、 B 的系数数值有差异,加上色感与可见光谱波长之间又非单值,因此,国际照明委员会规定了配色实验的基色光波长。基色光采用水银光谱,选用红基色光波长为700nm,绿基色光波长为546.1nm,蓝基色光波长为435.8nm。

用这个标准三基色混合相加,当配得等能标准 $E_{\text{白}}$ 光时,三个基色光通量的比例为1.000 0:4.590 7:0.060 1,即通常把光通量为1lm的红基色光作为一个红基色光的单位 $[R]$;光通量为4.590 7lm的绿基色光作为一个绿基色光的单位 $[G]$;光通量为0.060 1lm的蓝基色光作为一个蓝基色光的单位 $[B]$ 。相加配色可得到光通量为5.650 8lm的 $E_{\text{白}}$ 光。

在配色实验中还发现,如果要配出某些高饱和度的单色光谱色,需将某一基色放到要配的光谱色一边,并用其余两基色去配色才能获得。例如,配光谱中的黄单色光时,要把少量的蓝基色光加到欲配的黄单色光一侧,另一侧用红与绿基色光相混后,才能得到满意的结果。这种情况可用数学式表示如下:

$$F + B[B] = R[R] + G[G]$$

$$F = R[R] + G[G] - B[B] \quad (1.3)$$

式中“-”号表示蓝基色光加到欲配光的一侧。

配色实验的过程,物理意义比较明确,但进行定量计算时比较复杂,三色分布系数中,有正,负值,计算时易搞错,作图又比较复杂。另外用坐标图表示的色度图不能直接表示出亮度,需要经过换算,用起来不方便。基于上述原因,国际上又补充了另一套计色制,即XYZ计色制(或称CIE制)。

(2) XYZ计色制

在XYZ计色制中,用人为假想的X、Y、Z三个计算三基色代替R、G、B三个物理三基色,建立起新的计算系统和色度图。用该系统构成任意彩色光的配色方程为

$$F = X[X] + Y[Y] + Z[Z] \quad (1.4)$$

式中,X、Y、Z称为标准三系数,[X]、[Y]、[Z]为标准三基色单位。

为克服RGB计色系统的缺点,XYZ计色制中,作如下规定:

1) 标准三系数均为正值。

2) 用Y惟一的表示亮度,而X、Z不包含亮度。色度仍由X、Y、Z的相对比例关系确定。当X=Y=Z时,仍代表等能E白光。

必须指出的是,这个坐标系统是为了数学上计算方便而引入的,它没有实际的物理意义。因此[X]、[Y]、[Z]不能用光学方法获得,三系数X、Y、Z也无法直接测定,要通过RGB计色制得到的数值进行换算。这两种计色制的转换是线性相关的,在数学上表现为线性矩阵变换,如果知道这两种系数间的转换关系,就可以在XYZ标准三系数和RGB三系数之间转换。对于某一实际色光,可首先通过配色实验确定其物理三系数R、G、B,然后转换成X、Y、Z标准三系数,这样该彩色光的亮度和色度(X、Y、Z的比例)均为已知,也就是说,可以写出XYZ计色制中的配色方程(1.4)。

色度是由三系数X、Y、Z的相对值确定,与X、Y、Z的绝对值无关。如果不计亮度大小,仅考虑色度值时,可以用三系数的相对值表示。

设

$$\begin{aligned} m &= X + Y + Z \\ x &= \frac{X}{m} = \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{m} = \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{m} = \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned} \quad (1.5)$$

式中,m为色模,表示某彩色光所含标准三基色单位数的总量,它与光通量有关,对颜色不发生影响。x、y、z为相对色度系数,又叫色度坐标。

由式(1.5)可知,

$$x + y + z = 1 \quad (1.6)$$

式(1.6)表明,当某一彩色量F的相对色度系数x、y已知时,则z也为已知,即z是一个非独立的参量。这样就可将由配色实验得到的数据,换算成x、y坐标值,并画出其平面图形,即x-y标准色度图,如图1.9所示。

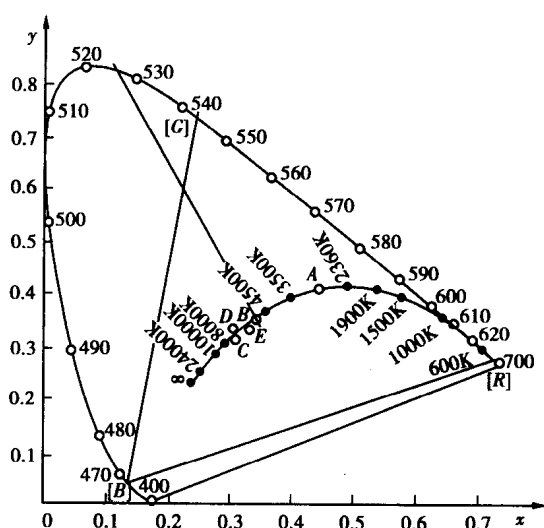


图 1.9 XYZ 制色度图

$[x]$ 、 $[y]$ 、 $[z]$ 标准基色量三角形的重心。

从谱色曲线上某一点与 E 点用直线相连,此直线称为“等色调波长线”。在色度图中,任意选取三个指定基色,如 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 三点作为三角形顶点,则由 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 混合出的颜色都在这三点包围的三角形内。在三角形外的颜色不能由 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 相加混合得到。因此在选取电视显像三基色时,希望色范围大,则三角形面积应尽可能大,这样配出的颜色就丰富。

1.3.4 彩色的重现

彩色图像的重现,在理想情况下,希望复制出彩色图像的光谱与景物每一点的亮度、光谱色分布一一对应。实际上,由于彩色图像的光谱成分很丰富,如按光谱对应关系复制彩色,就太阳光的白色而言,至少有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色感,而每种色感又有一定的光谱范围,这种光谱重现法,实际上是不能实现的。所幸的是,人对颜色色感能用三种固定的基色混合出来,即三基色原理。按一定的光谱响应,把景物三基色的色度值摄取下来,重现时,按被摄色度值的比例关系进行相加混色,就能重现出在人们视觉上和景物一致的彩色图像。这种色再现的方法叫色度还原(即同色异谱),又叫色度与亮度重现。这种色度还原的准确性,与整个彩色电视系统有关,它受光源、被摄物体、摄像的光学系统、光电变换器件、信号传输系统、终端显示、人的视觉等多种因素影响,但在这个过程中,起支配作用并作为色还原基础的是显像基色。

(1) 显像基色

显像基色由彩色荧光粉决定。彩色电视的显像基色,不仅要求色范围大,而且要求显像基色的发光亮度高。这是因为只有在一定亮度下,锥状细胞才会起作用,产生色感。在暗视场情况下,只有无色感的杆状细胞起作用。因此要求选择亮度高的荧光粉作为显像三基色。

荧光粉的选择是从复现范围大、发光亮度高出发的。但由于高亮度与重现彩色范围大是矛盾的,因此往往在一定的复现范围下,尽量设法提高显像三基色的亮度。一般当荧光粉研制

在 x - y 色度图中,所有可见光波长作用于人眼引起色感的光谱色都在舌形曲线上。也就是说曲线上各点的单色光可用一定的波长来标记,也可用色度坐标表示,该曲线亦称为光谱色曲线。

舌形曲线下面 $[R]$ 、 $[B]$ 两点间是不闭合的,用直线连接 $[R]$ 、 $[B]$,则自然界中所有实际彩色都包含在这封闭的曲线之内。由于视觉色感有一定的波长范围,因此在图中舌形曲线内标出的颜色都对应于一定波长的范围,不是纯谱色,是几种光谱的混合色。而在 $[R]$ 、 $[B]$ 直线上的各种颜色并非谱色而是混合色,是由 $[R]$ 和 $[B]$ 按不同比例混合而得,它们不能用一定波长来代表,只能用色度坐标 x 、 y 来表示。等能 $E_{\text{白}}$ 光的坐标为 $x = y = 0.33$,是