

高等学校通用教材

电视原理与组网技术

徐宝强 左庆丰 吕联荣 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书详细讲述了电视图像与传输系统的基础知识、色度处理技术、信号产生与接收技术、数字电视技术、电视组网技术、图像记录与重放技术知识。尤其是对大屏幕彩电的新功能电路、有线电视增值、MMDS、DVB、VCD、DVD 等电视领域最新技术进行了介绍。特别是对电视组网技术,如有线电视系统的组成与指标,数字 MMDS 系统的组成与指标,组网技术的工程设计和多媒体进行了介绍,有益于工程的应用和研究。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。不少章节涉及了电视领域许多前沿技术。

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

电视原理与组网技术/徐宝强等编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,2001.10
ISBN 7-81077-083-7

I. 电… II. 徐… III. ①电视—基础理论②电视
组网—技术 IV. TN948.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 043648 号

电视原理与组网技术

徐宝强 左庆丰 吕联荣 等编著

责任编辑 金友泉

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:82317024 传真:82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

河北涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:525 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-083-7/TP·043 定价:27.00 元

前 言

21 世纪进入了信息化时代。随着信息技术的数字化、网络化、宽带化和综合化,使广播电视技术和有线电视技术得到了长足的发展。电视技术是掌握这些系统的最基础的知识。

本书内容含有:彩色电视基本知识;彩色电视色度处理;彩色电视信号的发射原理;彩色电视信号的接收原理,包括大屏幕、多制式电路、黑电平扩展电路、高质量伴音电路、立体声电路、多伴音电路、丽音电路、环绕声电路、卡拉 OK 电路、新水平清晰度电路、梳状滤波器型亮色分离电路、新对比度电路、人工智能(AI)电路、PLL 图像检波及单片集成电路电视机等;数字电视的信号编码、传输、解码等数字系统原理;电视组网技术和设计,包括有线电视系统及其扩展业务和增值业务、MMDS 系统、DVB 技术等;磁带录像机与激光视盘机 VCD,DVD 技术。

为了适应信息技术的发展,本书对电视接收新技术、数字电视、有线电视和网络技术等最新领域做了详细的介绍,尤其是对电视组网技术做了理论与实践性的叙述,为推动电视的联网提供了理论及实践依据。本书基础理论深入浅出,实践性强、配有一定量的思考题,适合于自学。

本书第一章、第二章由姜道连、左庆丰编写,第三章、第四章由吕联荣编写,第五章由左庆丰、田春苗编写,第六章由徐宝强、王德会、田春苗编写,第七章由姜道连、左庆丰编写。汪沧涌同志对本书的编写提出了许多宝贵建议,在此表示感谢。

全书由左庆丰负责审核,徐宝强负责定稿,吕联荣负责统稿。全书文字、图、表的计算机录入工作主要由吕联荣、姜道连、王德会完成。

编写过程中,参考了国内许多优秀的同类教材和书籍,并结合了编者的多年教学经验,但由于编者水平有限、时间仓促,难免存在缺点甚至错误,恳请读者不吝指正。

编 者

2001 年 8 月

于天津理工学院

目 录

第一章 彩色电视基础知识

1.1 光与色度学基础	1
1.1.1 光的特性	1
1.1.2 视敏度与彩色三要素	2
1.1.3 三基色原理	3
1.1.4 混色原理	4
1.1.5 彩色的度量和表示	5
1.1.6 彩色的重现	9
1.1.7 摄像光谱响应曲线	11
1.2 图像传送原理和电视扫描技术	12
1.2.1 电视系统顺序传像原理	12
1.2.2 电视扫描与同步	12
1.2.3 电视扫描原理	13
1.2.4 扫描与同步	17
1.3 电视图像的特征参数	21
1.3.1 几何特征	21
1.3.2 图像场频的确定	21
1.3.3 电视系统的分解力	21
1.3.4 图像信号的最高频率及通频带	23
1.3.5 扫描行数 Z 的确定	24
1.3.6 图像亮度与色度的非线性失真	25
1.4 视频图像信号	28
1.4.1 黑白图像信号的时域波形	28
1.4.2 黑白图像信号的频谱	29
1.4.3 彩色图像信号及其组成原理	31
1.4.4 标准彩条信号	34

第二章 模拟彩色电视制式

2.1 概 述	37
2.2 NTSC 制	38
2.2.1 正交平衡调幅与正交同步检波	38
2.2.2 色差信号的压缩	40
2.2.3 信号波形图与矢量图	41
2.2.4 Q 、 I 信号	42
2.2.5 副载频选择	43

2.2.6 NTSC 制编码器与解码器	45
2.2.7 色度信号相位失真对重现色调的影响	46
2.3 PAL 制	47
2.3.1 彩色相序交变原理	47
2.3.2 PAL 制色度信号与色同步信号	47
2.3.3 频谱交错与副载频选择	49
2.3.4 PAL 制编码器与解码器	51
2.3.5 行顺序效应	57
2.4 SECAM 制	57
2.4.1 顺序—同时制的主要特征	57
2.4.2 色度信号的形成与处理	58
2.4.3 色同步信号	59
2.4.4 副载波处理	60
2.4.5 SECAM 制编、解码器	61
2.4.6 行顺序效应	62

第三章 彩色电视发射原理

3.1 概 述	64
3.1.1 电视系统	64
3.1.2 电视中心	65
3.2 图像信号的产生	65
3.2.1 摄像机的组成	65
3.2.2 彩色摄像机的光学系统	66
3.2.3 氧化铅光电导摄像管	67
3.2.4 电荷耦合摄像器件	68
3.3 图像信号的处理	70
3.3.1 预放器	70
3.3.2 图像信号直流分量的恢复	70
3.3.3 电缆校正	71
3.3.4 黑斑校正	71
3.3.5 γ 校正	71
3.3.6 孔阑校正	72
3.3.7 彩色校正	72
3.3.8 PAL 编码器	73
3.3.9 同步机	74
3.4 视频信号的切换与特技效果	75
3.4.1 视频信号的快切换	76
3.4.2 视频信号的慢切换	76
3.4.3 视频信号的划变	77

3.4.4 视频信号的键控	78
3.5 射频电视信号的形成	78
3.5.1 图像信号的调制	78
3.5.2 伴音信号的调制	80
3.5.3 电视发射机	80
3.6 电视的微波中继与差转	80
3.6.1 电视的微波中继传输	80
3.6.2 电视差转	82

第四章 彩色电视接收原理

4.1 概 述	83
4.2 电视接收机的组成	83
4.2.1 黑白电视接收机的组成	83
4.2.2 彩色电视接收机的组成	84
4.3 电视接收机的主要性能	86
4.3.1 灵敏度	86
4.3.2 选择性	86
4.3.3 AGC 特性	86
4.4 高频调谐器	87
4.4.1 高频调谐器的组成及要求	87
4.4.2 全频道高频调谐器	88
4.4.3 电子调谐器	88
4.5 图像中频电路	90
4.5.1 图像中频电路的作用与要求	90
4.5.2 声表面波滤波器(SAWF)	91
4.5.3 图像中频放大器	92
4.5.4 视频检波器	92
4.5.5 AGC 电路	93
4.5.6 AFT 电路	93
4.6 伴音电路	94
4.7 视频处理电路	95
4.7.1 亮度信号处理电路	95
4.7.2 色度信号处理电路	96
4.7.3 解码基色矩阵和视放输出电路	103
4.8 电子束扫描电路	104
4.8.1 行、场扫描电路的功能与组成	104
4.8.2 同步信号的分离	104
4.8.3 场扫描电路	107
4.8.4 行扫描电路	109

4.9	显像管及电源电路	111
4.9.1	显像管及其附属电路	111
4.9.2	电源电路	116
4.10	电视机的红外遥控技术	118
4.10.1	红外遥控基本原理	118
4.10.2	彩色电视机的红外遥控	121
4.11	电视机的新功能电路	127
4.11.1	多制式接收电路	127
4.11.2	高质量伴音、立体声、多伴音、丽音、环绕声、卡拉 OK 电路	131
4.11.3	梳状滤波器型亮色(Y/C)分离电路	138
4.11.4	新水平清晰度电路	138
4.11.5	新对比度电路	142
4.11.6	AI(人工智能)电路	145
4.11.7	PLL(锁相环)图像检波	146
4.12	单片集成电路 A3-CA 机芯电路分析	148
4.12.1	高频调谐电路	148
4.12.2	图像中放与视频检波电路	149
4.12.3	伴音中频切换与鉴频电路	150
4.12.4	AV/TV 切换控制电路	151
4.12.5	亮度通道	152
4.12.6	色度通道	154
4.12.7	PAL/NTSC 制式切换电路	156
4.12.8	视放末级电路	157
4.12.9	音频功放电路	158
4.12.10	高路华 TC-2528/2818 型机的音频功放与卡拉 OK 电路	159
4.12.11	扫描电路	161
4.12.12	电源电路	164
4.12.13	A3-CA 单片机芯的功能扩充电路	167
4.12.14	A3-CA 机芯的遥控系统	172
4.13	液晶电视简介	182
4.13.1	液晶及其电光效应	182
4.13.2	液晶显示器	183
4.13.3	彩色液晶显示器	183
4.13.4	液晶显示器的驱动	184
4.13.5	彩色液晶电视接收机	185
4.13.6	大屏幕液晶投影电视	187

第五章 数字电视的原理

5.1	数字电视概述	188
-----	--------------	-----

5.1.1 数字电视系统与数字电视设备	188
5.1.2 数字电视的主要优点	189
5.2 视频信号 PCM 编码	189
5.2.1 A/D 与 D/A 变换	189
5.2.2 全信号编码与分量编码	190
5.3 频带压缩编码	192
5.3.1 频带压缩的主要依据	192
5.3.2 预测编码	192
5.3.3 变换编码	194
5.3.4 亚奈奎斯特取样编码	195
5.4 数字视频信号处理	196
5.4.1 数字存储与延迟	196
5.4.2 数字亮色分离滤波器	197
5.4.3 数字色度解码	200
5.4.4 画中画视频处理	202
5.4.5 倍速扫描视频处理	203
5.4.6 数字时基校正	203
5.4.7 数字视频特技	204
5.4.8 图文电视广播	209
5.5 数字电视接收机	211
5.5.1 数字电视接收机的基本组成	211
5.5.2 视频处理电路	212
5.5.3 同步扫描数字处理电路	212
5.6 高清晰度电视	213
5.6.1 概 述	213
5.6.2 MUSE 制的数字 HDTV	214
5.6.3 HD-MAC 制的 HDTV	216
5.6.4 ATSC 制的 HDTV	217

第六章 电视组网技术

6.1 有线电视系统主要技术指标	219
6.1.1 工作频段及频道	219
6.1.2 载噪比	220
6.1.3 非线性失真	221
6.1.4 信号电平	227
6.1.5 反 射	227
6.1.6 安全要求	228
6.2 有线电视系统的组成	229
6.2.1 接收信号源	229

6.2.2	前端设备	230
6.2.3	干线传输系统	230
6.2.4	用户分配网络	230
6.3	有线电视系统设备	230
6.3.1	信号源	230
6.3.2	前端设备	236
6.3.3	干线传输系统设备	244
6.4	系统的改造	255
6.4.1	用光纤改造同轴电缆网	255
6.4.2	DWDM 延深光纤架构	255
6.4.3	回传链路	257
6.5	有线电视网的扩展业务和增值业务	258
6.5.1	多媒体技术	259
6.5.2	有线电视双向传输网	259
6.5.3	高速 IP 数据的传输技术	260
6.5.4	双向传输的基本方式	262
6.5.5	电话业务	265
6.5.6	会议电视	266
6.5.7	图文电视	267
6.5.8	视频点播	267
6.5.9	远程教育、医疗和商业服务	268
6.6	数字 MMDS 系统	268
6.6.1	数字 MMDS 的系统组成	268
6.6.2	系统设计的几个问题	270
6.7	数字视频广播(DVB)系统	273
6.7.1	系统描述	273
6.7.2	音频信源的编码	276
6.7.3	多路节目的复接	277
6.7.4	信道编码	277
6.7.5	调制方式	278
6.7.6	上、下变频	279
6.7.7	解调器 IRD	279

第七章 录像机与视盘机

7.1	录像机的发展与分类	280
7.2	磁带录放的基本原理	281
7.2.1	磁化与剩磁	281
7.2.2	消磁与偏磁	282
7.2.3	磁头、磁带间的信号变换	283

7.3 磁带记录基本原理	285
7.3.1 两磁头螺旋扫描	285
7.3.2 方位角记录	286
7.3.3 磁迹格式	287
7.4 录像机的组成	289
7.4.1 走带系统的组成	289
7.4.2 电路系统的组成	290
7.5 记录与重放的信号处理	292
7.5.1 视频信号的基本处理方式	292
7.5.2 亮度信号调频	293
7.5.3 色度信号降频	294
7.6 激光光盘技术概述	296
7.7 VCD 信号的编、解码基本原理	298
7.8 VCD 播放机	302
7.8.1 VCD 基本电路组成	302
7.8.2 VCD 播放机整机组成	303
7.9 DVD 视盘机	307
7.9.1 DVD 基本知识	307
7.9.2 DVD 图像处理技术	308
7.9.3 DVD 中音频处理技术	310
7.9.4 DVD 播放机的组成	310

思考题与习题

参考文献

第一章

彩色电视基础知识

电视技术是根据人眼的视觉特性,将一具有光学特性的景物转换为电信号并通过信道实时传送出去,接收机则把电信号恢复成光学图像,利用显示设备重现原来景物的技术。因此,为了更好地理解彩色电视原理有必要从技术角度去了解光学、色度学以及彩色电视的基础知识。

1.1 光与色度学基础

1.1.1 光的特性

由光学理论可知,光是属于一定波长范围内的一种电磁辐射。广播电视技术研究的是人眼能够看到的可见光范畴。可见光是电磁波谱中很小的一部分,它的波长范围为:380 nm~780 nm,给人眼的彩色感觉依次是:紫(品红)、蓝、青、绿、黄、橙、红,如图 1-1 所示。只包含单一波长成份的光称为单色光;包含两种或更多波长成份的光称为复合光。复合光给人眼的彩色感觉为混合色,最常见的太阳光就是一个波谱带,由无数的单色光组成,著名的三棱镜折射实验就可以验证这一点。由于不同波长折射率不同,白色的阳光便分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的彩带,所以白色的太阳光实际上是七彩的阳光在人眼形成的混合感觉。

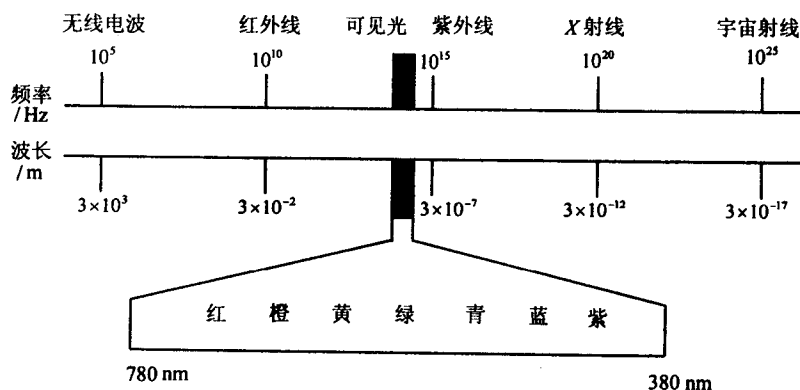


图 1-1 电磁辐射波谱

人眼的彩色感觉是主观(人眼的视觉功能)和客观(物体属性和光照条件的综合效果)相结合的系统中所发生的生物—物理过程。能自然发光的物体称为光源,太阳就是最大最常见的自然光源。自然界中,在太阳光的照射下,由于物体本身的属性,反射或透射了可见光谱中的不同成份而吸收其余成份,从而引起人眼不同的彩色感觉。如果光源照射条件变化了(即光谱成份变化了),景物所反射或透射光源光谱中的不同成份及吸收其余成份也会随之发生变化,

引起人眼的彩色感觉也随之发生变化。

能够被人眼感知的色源有两类:一类是本身不发光的物体,它反射或透射光源光谱中的不同成份而吸收其余成份,呈现一定颜色;另一类是本身发光的物体,它辐射的光谱成份引起人眼的彩色感觉。在第一类色源中的极端情况是物体全部吸收入射光的所有光谱成份,这种物体在色度学中被定义为“绝对黑体”。当绝对黑体被加热时,将以电磁波的形式向外辐射能量,其辐射谱成份仅由温度决定。反之,知道绝对黑体的温度也就能够知道其辐射谱成份,可推知其颜色。可见,绝对黑体的热力学温度与其颜色是相关的,所以被定义为“色温”。同样,可以定义光源的色温:若光源的光谱特性与某一特定热力学温度下绝对黑体辐射的光谱特性相同,则绝对黑体的这一特定温度就定义为该光源的色温,色温的单位是开[尔文](K)。例如:钨丝灯泡的温度保持在 2 800 K 时发出的白光,与温度保持在 2 854 K 的绝对黑体所辐射的波谱成份相同,于是称此时的灯泡光源的色温为 2 854 K。可见色温并非光源本身的实际温度,而是用来表征其光谱特性的参量。有些光源的光谱成份只与某一温度的绝对黑体所辐射的波谱成份相似,而不能精确等效,这时把与光源光谱最接近的绝对黑体的温度称为该光源的相关色温。

为了使光源的比较和色度计算有统一的标准,电视技术中通常采用国际规定的 A、B、C、D₆₅ 和 E 共 5 种主要标准光源(即标准白光)。

A 光源:相当于钨丝灯在 2 800 K 时发出的光,色温为 2 854 K,光谱能量主要集中在红外区。

B 光源:接近正午直射的阳光,色温为 4 800 K,可用特制的滤色镜从 A 光源得到。

C 光源:相当于白天的自然光,色温为 6 700 K,可用特制的滤色镜从 A 光源得到。

D₆₅ 光源:相关色温为 6 500 K,相当于白天的平均光照。

E 光源:是色度学中假想的一种等能白光。在可见光谱内,所有光谱成份都有相同的辐射功率,色温近似为 5 500 K,这种光源实际并不存在。

1.1.2 视敏度与彩色三要素

视觉效应是由可见光刺激人眼引起的。如果可见光的辐射功率相同而波长不同,不仅色感不同,而且亮度感觉也不相同。即要引起相同的亮度感觉,则不同波长的可见光辐射的功率是不同的,这就是视敏度的概念。为了得到相同的主观亮度感觉,在波长为 555 nm 时,①所需要光的辐射功率最小,随着波长在 555 nm 处逐渐增大或逐渐减小;②所需辐射功率都将增大,或者说视敏度不断下降。

视敏度在不同光照条件下的表现不尽相同。例如,在白天正常光照条件下,人眼既能产生明暗感觉,又能产生彩色感觉。而在夜晚或微弱光线下,视敏曲线左移,如图 1-2 所示,光线暗到一定程度时人眼将分辨不出彩色,而只有明暗感觉,这就是在夜晚看到的暗处景物是灰色,分辨不出正常彩色的原因。所以彩色感觉是一种明视觉。

平均亮度在适当情况下,亮度慢变化时,人眼能感知的亮度最大与最小值之比可以达到 1 000:1。主观亮度不仅与视敏度有关,还与环境亮度有关。在某种亮度环境 B 中,人眼能感知的最小亮度变化 $\Delta B_{\min}$ 是不同的,但是 $\Delta B_{\min}/B$ 却基本是一个常数 ξ 。

在色度学中,为了确切表示某一彩色光,采用亮度、色调和色饱和度三个基本参量。彩色视觉是人眼对这三个参量的总体感觉。

亮度是光作用于人眼所引起的明亮程度的感觉。彩色光辐射的功率越大则亮度越大,反

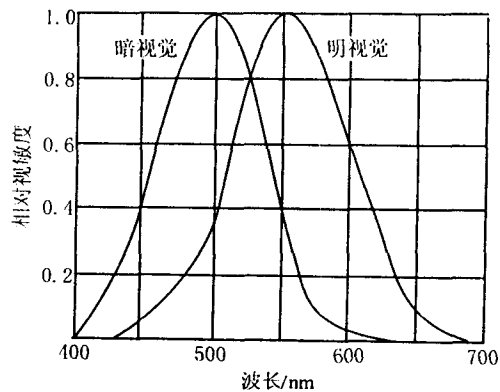


图 1-2 明视觉与暗视觉的光谱光效率

之,亮度越小。光源的亮度取决于其辐射的光功率,而不发光物体的亮度,则取决于物体反射或透射系数和照明光源亮度。黑白图像的内容体现在亮度差别上,因此亮度作为能表达图像基本差别的参量,在图像传输系统中(包括黑白电视系统和彩色电视系统)是必须传送的。

色调反映了彩色的类别。通常所说的红、绿、蓝指的就是色调。彩色光的色调取决于它的光谱成份。色调是决定彩色本质的基本参量,是彩色的基本属性之一。彩色物体所反映的色调不仅与它反射或透射的光谱分量有关,还与光照条件有关。

色饱和度是指彩色光所呈现彩色的深浅程度(或浓度)。对于同一色调的彩色光,彩色越浓越纯,其饱和度越高,颜色也就越深;饱和度越低颜色越浅。也可以说,饱和度表示某一彩色光掺进白光多少的程度,或者说纯净的单色光被白光冲淡的程度。

亮度、色调和色饱和度构成彩色光的三个要素,这也是彩色电视系统为什么传送三个参量的本质原因所在。色调和色饱和度又合称色度,它既说明彩色的颜色类别,又说明颜色的深浅程度。

应该强调指出的是,虽然不同波长的单色光会引起不同的彩色感觉,但相同的彩色感觉却可以来源于不同的光谱成份组合。例如:适当比例的红色光和绿色光混合,可以产生与黄色光相同的彩色感觉。又如,呈现白色的日光是一种连续光谱,但也可以由红、绿、蓝三种不同波长的单色光以适当比例混合成白光。事实上,几乎自然界中所有的彩色都能由三种基本彩色光混合配出,这就是对彩色电视有重要意义的三基色原理。

1.1.3 三基色原理

根据色度学的介绍可知,不同波长的单色光会引起不同的彩色感觉,但相同的彩色感觉却可以来源于不同的光谱成份组合,而人眼只能体会彩色感觉却不能分辨光谱成份。电视技术正是利用了人眼的这个特性,在彩色复现过程中,并不要求恢复原景物辐射的光谱成份,重要的是重现景物应与原景物有相同的彩色感觉。几乎自然界中所有的色彩的彩色感觉都能由三种基本彩色光混合配出,如果适当地选取三种基色光,将它们按不同比例进行合成,就可以引起各种不同的彩色感觉。

三基色选取的原则:首先,三者必须相互独立,也就是说其中任意一个基色不能由其它两基色混合配出,这样可以配出较多的彩色。其次,自然界中绝大多数彩色都必须能按照三种基

色分解。再次,人眼应对三基色有较高的敏感度。在彩色电视技术中根据三基色的选取原则,选择红色、绿色和蓝色作为三基色,将它们按不同比例进行混合,合成彩色的亮度由三基色亮度之和决定,而色度(即色调和色饱和度)则由三基色分量的比例决定,这就是三基色原理的主要内容。

三基色原理对彩色电视技术很重要,它把传送具有成千上万、瞬息万变彩色波谱的这一任务简化为传送三个基色光(信号)。

1.1.4 混色原理

电视技术中所采用的,将三种基色光按不同的比例相加而获得不同彩色光的方法,称为相加或加法混色,如图 1-3 所示。某两种或三种基色光相加作用于人眼所引起的彩色感觉与某种彩色光作用于人眼所引起的彩色感觉相同,通常就说这些基色光相加得出这种彩色光。

自然界中绝大多数彩色光都可以由红色、绿色、蓝色三种相互独立的基本色光混配而成。混配的规律如下:

红光+绿光=黄光; 红光+蓝光=品光; 绿光+蓝光=青光; 红光+绿光+蓝光=白光。

在电视技术中采用的相加混色方法主要有以下几种:

(1) 时间混色法:将三种基色光按一定顺序投射到同一全反射白色表面,只要轮换的速度足够快,利用人眼的视觉惰性,人眼的彩色感觉将与三种基色光直接同时混合时相同,这种方法称为时间混色法。它是顺序制彩色电视制式的基础。

(2) 空间混色法:将三种基色分别投射到同一全反射白色表面上邻近的三个点上,只要这些点之间相距足够近,由于人眼的分辨力有一定限度,因此人眼的彩色感觉将是混合色,这种方法称为空间混色法。它是同时制彩色电视制式的基础。

(3) 生理混色法:利用两只眼睛同时分别观看不同颜色的同一幅图像,也可以获得混色效果,这就是生理混色。

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。相减混色是利用颜料、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黄色。在相减混色法中用黄色、品色、青色作为三基色,它们分别吸收各自的补色,即蓝色、绿色和红色,如图 1-4 所示。

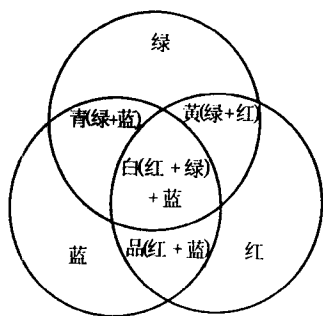


图 1-3 相加混色

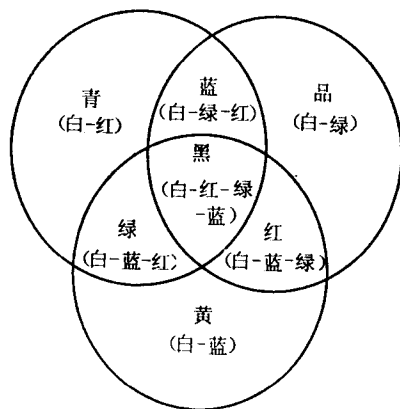


图 1-4 相减混色

1.1.5 彩色的度量和表示

根据三基色原理,选择红色、绿色和蓝色作为三基色,将它们按不同比例进行混合,则合成彩色的亮度由三基色亮度之和决定,而色度(即色调和色饱和度)由三基色分量的比例决定。这样对于任意给定的彩色光 F ,有下述关系:

$$F = R[R] + G[G] + B[B] \quad (1-1)$$

式中 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 称为三个基色单位; R 、 G 、 B 代表三基色单位的数量,称为色系数,其比例关系将决定 F 的色度,量值大小决定 F 的亮度。

式(1-1)称为配色方程,式中的三色系数是通过经典的配色实验得到的,配色实验的简化模型如图 1-5 所示。

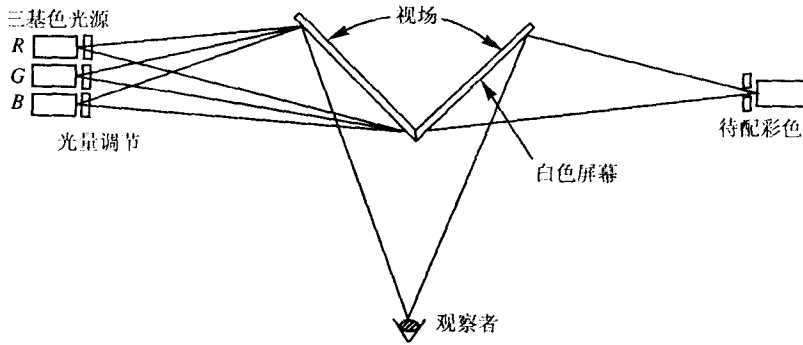


图 1-5 配色实验原理图

在实验中用两块互相垂直的白色屏幕,它们对任何波长的光波几乎全部反射。这样的正交屏幕将人眼视场分成两等份,在左半视场投射红、绿、蓝三基色光,右半视场投射待配彩色光。调节光亮调节器即调节方程式(1-1)中的 R 、 G 、 B 三色系数,直到由三基色光混合得到的彩色与待配彩色光完全相同,此时整个视场都呈现待配彩色光,记录光亮调节器的刻度就得到 R 、 G 、 B 三色系数,即三基色的混合比例。

要混配出 E_w 需要红、绿、蓝三色光通量之比为 $1 : 4.5907 : 0.0601$,于是规定三基色单位 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ 光通量分别为 1 , 4.5907 , 0.0601 ,使配出 E_w 时 $R=G=B$, E_w 为标准白色光。

在实验中光亮调节器调节的是光通量。光通量是按人眼的亮度感觉来度量光的辐射功率的物理量,它在电视屏幕(散射面)上与亮度之间呈正比关系,因此在电视技术中常用光通量来表示亮度。

在配色实验中发现,要配出某些高饱和度的谱色光(即单色光),要将三基色中某一基色移到待配色一边才能获得。例如:要配出黄色光时,需将少量蓝基色光移到待配黄色光一侧,另一侧用红色光和绿色光相混合,才能得到满意的效果,即:

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

或

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

式中“ $-$ ”表示该项需加到欲配光一侧。在归一化的式(1-1)配色方程中, B 为负值。

混配出单位辐射功率、波长为 λ 的单色光所需要的三个基色光的单位数,称为分布色系数,分别用 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$ 表示。单位辐射功率的单色光的配色方程为:

$$F(\lambda) = \bar{r}(\lambda)[R] + \bar{g}(\lambda)[G] + \bar{b}(\lambda)[B]$$

在只研究色度的情况下,将三色分布系数作归一化处理,即仅考虑它们之间的比例关系。设 $m=R+G+B$ (m 称为色模) 则 r 、 g 、 b 分别为:

$$r = R/m; \quad g = G/m; \quad b = B/m$$

式中 r 、 g 、 b 称为相对色系数。

显然 $r+g+b=1$ 。所以,只要知道其中的两个就可以得到色度。于是,各种彩色光可以采用二维表示法,通常称为色度图。在 R 、 G 、 B 计量方式中用 r - g 直角坐标系来表示,国际照明委员会(CIE)按“标准观察者”测定的配色实验结果绘制的 R 、 G 、 B 计色方式的色度图如图 1-6 所示。图中 E 为等能标准白光。

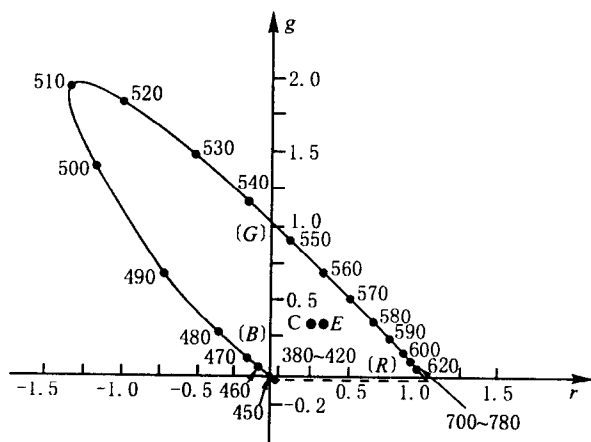


图 1-6 R 、 G 、 B 色度图

在色度图中,所有单色光都在舌形曲线上,既可以用它的波长来表示,又可以用色度坐标来表示,该曲线称为谱色曲线,这些光称为谱色光。

图 1-6 中舌形曲线本身并不是闭合的, $[R]$ 、 $[B]$ 两点直接相连后,把舌形曲线封闭, $[R]$ 、 $[B]$ 线上各点是由 $[R]$ 和 $[B]$ 按不同比例混配成的非谱色。在封闭曲线内部则都是混合色,即非谱色。非谱色只能用坐标表示,不能用一定的波长表示。封闭曲线的重心坐标为 $(1/3, 1/3)$, 表示等能标准为白光 E 。在封闭曲线内,坐标越靠近舌形曲线的颜色,其色饱和度越高。在封闭曲线内部任意选取三顶点构成三角形,则三角形及其内部各点都可由三顶点作为基色混配得到,而三角形以外各点都不能由该三基色配出。因此在选取显像三基色时,希望得到的三角形面积尽可能大,这样配出的颜色就更加丰富。

在 R 、 G 、 B 计色方式中两种彩色光进行复合时可以通过彩色合成得到,例如,两种彩色光分别为:

$$F_1 = R_1[R] + G_1[G] + B_1[B]$$

$$F_2 = R_2[R] + G_2[G] + B_2[B]$$

它们的合成彩色光为:

$$F_{1+2} = (R_1 + R_2)[R] + (G_1 + G_2)[G] + (B_1 + B_2)[B]$$

这表明合成彩色光各基色分量的色系数等于各种彩色光的相应基色分量色系数之和。

利用相对色系数,麦克斯韦(MAXWELL)首先创立了计色三角形,其特点是表示形式简单而直观。麦克斯韦计色三角形如图 1-7

所示,它是一个等边三角形,三个顶点分别代表单位红基色[R]、单位绿基色[G]和单位蓝基色[B],而且从顶点到对应边的垂线长度被规定为1。若令三角形内任意一点P到红、绿、蓝三顶点所对应的三边的距离分别为 r 、 g 、 b ,则不难证明 $r+g+b=1$ 。这就是计色三角形的色度坐标,一定的 r 、 g 、 b 表示一定的色度。显然,标准白光E色度坐标对应计色三角形的重心W点,因为该点坐标为 $r=1/3, g=1/3, b=1/3$ 。利用计色三角形可以直观地表示彩色合成时的色度关系。

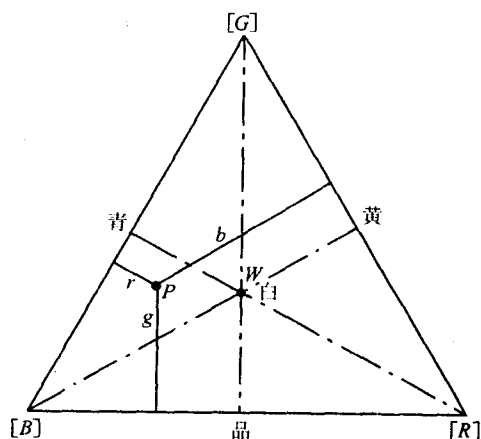


图 1-7 麦克斯韦计色三角形

例如,沿[R][G]边表示由红色和绿色合成的

彩色,此边的中点为黄色,其色度坐标为: $r=1/2, g=1/2, b=0$ 。同样,橙色在黄色与红色的中间,则橙色的色度坐标为: $r=3/4, g=1/4, b=0$ 。同样,品色在[R][G]边的中点,其坐标为: $r=1/2, g=0, b=1/2$;青色在[B][G]边的中点,坐标为: $r=0, g=1/2, b=1/2$ 。穿过W点的任一条直线连接三角形上的两个点,该两点所代表的彩色相加可得到白色。通常把相加后可形成白色的两种彩色称为互补色,例如,图中表示的红与青、绿与品、蓝与黄皆为互补色。由W点到计色三角形边上的任一线段上,均为同一色调,饱和度由0渐增至100%。

上述计色三角形中色度分布的依据是:三角形中任意两点彩色的合成色,其位置在这两点连线上,距两点的距离与这两点光的色模成反比。

配色实验及R、G、B计色方式中,采用汞光谱线中的三个单色光R、G、B作为三基色,亦称物理三基色。三基色物理意义比较明确,但在定量计算时比较复杂,三色分布系数中有正有负,容易出错;另外,谱色轨迹不全在第一象限内,作图不便;其次在R、G、B计色制中的色度图上不能表示亮度。为了克服这些缺点,国际照明委员会(CIE)规定了X、Y、Z计色制,即CIE计色制。

要克服R、G、B计色制的缺点,X、Y、Z计色制靠下列条件为前提作为保证:

- (1) 三色系数X、Y、Z均为正数;
- (2) 合成彩色的亮度仅由Y[Y]项决定,色度仍由三色系数X、Y、Z的比例确定;
- (3) 当 $X=Y=Z$ 时,混配出标准E白光。

由于在R、G、B计色制中,F的光通量为 $|F|=m\{r[R]+g[G]+b[B]\}=m\{r+4.5907g+0.0601b\}$,即三者光通量之和;在X、Y、Z计色制中,根据条件(2),[X]和[Z]的光通量应为0,X[X]和Z[Z]合成光通量也应为0,所以[X]和[Z]在R、G、B计色制中的连线应是光通量为0的轨迹,有 $r+4.5907g+0.0601b=0$,代入 $b=1-r-g$ 得:

$$0.9399r+4.5306g+0.0601=0 \quad (1-2)$$

为了充分利用第一象限的面积,[X]、[Y]的连线用波长为640nm~700nm的这一段近似直线的延长线作为[X][Y]边,而波长640nm点的R、G、B色度坐标为: $r=0.9797, g=0.0205, b=-0.0002$;波长700nm点的R、G、B色度坐标为: $r=1, g=0, b=0$,所以[X][Y]边的