

面向21世纪

高等学校信息工程类专业系列教材

电视原理与系统

Television's Principles and Systems

赵坚勇 编 著

裴昌幸 主 审



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材

电视原理与系统

Television's Principles and Systems

赵坚勇 编著

裴昌幸 主审

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

当今,电视技术正与其他高新技术互相结合不断创造出新的产品,电视正在走向数字化,这些趋势必将使电视迎来更大的发展和更广泛的应用。本书深入浅出地介绍了电视的基本原理和应用,介绍了正在发展中的数字电视。

本书共8章,主要内容有人眼的视觉特性和色度学、电视图像的传送原理、三种彩电制式的原理、地面广播、卫星广播、有线电视、单片式彩色 CCD 摄像机、监视器、录像技术的发展、图像信号的基带传送、图像信号的分配与切换、时间和其他信息的屏幕显示、电动云台和变焦镜头控制、串行通信与解码器、系统控制、视频信号的数字化和压缩、压缩标准、数码相机、VCD、DVD、多媒体技术、可视电话、会议电视、信道编码、调制技术、数字电视标准、机顶盒等。

本书可作为高等学校非电子类专业的“电视”课程教材,也可供从事电视技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电视原理与系统=Television's Principles and Systems/赵坚勇编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.1

(面向21世纪高等学校信息工程类专业系列教材)

ISBN 7-5606-1327-6

I. 电… II. 赵… III. 电视-高等学校-教材 IV. TN94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 112977 号

策 划 马晓娟

责任编辑 杨宗周 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.25

字 数 359千字

印 数 1~4 000册

定 价 16.00元

ISBN 7-5606-1327-6/TN·0248(课)

XDUP 1598001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入 21 世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电学院、吉林大学、杭州电子工业学院、桂林电子工业学院、北京信息工程学院、深圳大学、解放军电子工程学院等 10 余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类的教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。这套教材预计在 2004 年春季全部出齐。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映 21 世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会
2002 年 8 月

高等学校计算机、信息工程类专业

系列教材编审专家委员会

主 任：杨 震（南京邮电学院副院长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电学院通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑、教授）

计算机组

组 长：韩俊刚（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）

王小华（杭州电子工业学院计算机分院副院长、副教授）

孙力娟（南京邮电学院计算机系副主任、副教授）

李秉智（重庆邮电学院计算机学院院长、教授）

孟庆昌（北京信息工程学院教授）

周 娅（桂林电子工业学院计算机系副主任、副教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

信息工程组

组 长：张德民（兼）

成 员：（按姓氏笔画排列）

方 强（西安邮电学院电信系主任、教授）

王 晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、副教授）

胡建萍（杭州电子工业学院电子信息分院副院长、副教授）

徐 伟（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）

唐 宁（桂林电子工业学院通信与信息工程系副主任、副教授）

章坚武（杭州电子工业学院通信工程分院副院长、教授）

康 健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

蒋国平（南京邮电学院电子工程系副主任、副教授）

总 策 划：梁家新

策 划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

随着现代科学技术的发展,电视的使用范围越来越广,广播电视已经深入到千家万户,已成为人们日常生活中不可缺少的必需品。应用电视也已被银行、超市、商场、宾馆、交通管理、工矿、学校、医院等行业广泛使用。

由于现代科学的交叉与互通,电视技术与其他高新技术互相渗透、结合创造出的新技术、新产品不断涌现,因此,非电子类本科生也必须了解电视技术,了解电视的概况,了解电视的基本概念和基本原理。编写本书的目的是想深入浅出地介绍电视的基本原理和应用,介绍正在发展的数字电视。

本书共8章。第1章介绍光的性质、人眼的视觉特性和色度学。第2章介绍电视图像的传送原理,包括扫描、同步、黑白电视信号的组成。第3章介绍彩色电视信号的传送,包括NTSC、PAL、SECAM三种制式的原理、编解码方法和性能。第4章介绍广播电视,包括地面广播、卫星广播和有线电视的原理和有关设备。第5章介绍应用电视,包括摄像机与监视器、电视信号的基带传送、信号的分配与切换、字符的产生与叠加、录像技术的发展、串行通信与解码器、系统控制器。第6章介绍图像信号数字化和压缩的基本原理,包括静止图像压缩标准JPEG和JPEG2000及活动图像压缩标准H.261、H.263、MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4、H.264和标准在VCD与DVD中的应用。第7章介绍多媒体技术及其应用,包括在LAN网上组建视听系统的H.323系列建议,在ISDN网组建视听系统的H.320系列建议。在PSTN网上进行视听通信的H.324系列建议。介绍了在可视电话、会议电视、远程医疗和多媒体电视监控报警系统中的应用。第8章介绍数字电视,包括BCH码、级连编码、能量扩散、RS编码、交织、卷积编码等信道编码技术。还介绍了正交幅度调制(QAM)、四相相移键控(QPSK)、格形编码调制(TCM)等技术。最后介绍了欧洲的DVB、美国的ATSC、日本的ISDB三种数字电视标准的特点,数字电视的接收、数字电视机顶盒等。

本书内容丰富,资料新颖,深入浅出,部分章节可由学生自学,不必讲授。本书可作为高等学校非电子类专业“电视”课程教材,也可作为成人教育和培训班教材。第6、7、8章有关电视数字化的内容,难度较大,可以根据教学计划等具体情况决定取舍。

在本书的编写、审定和出版过程中,得到了西安电子科技大学出版社的大力支持与帮助。西安电子科技大学裴昌幸教授认真审阅了本书,提出了很多宝贵的意见,在此表示深切的谢意。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

2003年10月

目 录

第 1 章 彩色与视觉特性	1	3.2.1 正交平衡调幅	28
1.1 光的性质	1	3.2.2 彩条信号及色度信号	30
1.1.1 可见光谱	1	3.2.3 色度信号幅度压缩	31
1.1.2 物体的颜色	1	3.2.4 副载波的半行频间置	33
1.1.3 标准光源	2	3.2.5 色同步信号	34
1.1.4 光的度量单位	2	3.2.6 I 、 Q 信号	35
1.2 人眼的视觉特性	3	3.3 PAL 制	37
1.2.1 视觉灵敏度	3	3.3.1 逐行倒相	37
1.2.2 彩色视觉	3	3.3.2 相位失真的互补	38
1.2.3 分辨力	4	3.3.3 副载波频率的选择	38
1.2.4 视觉惰性	5	3.3.4 色同步信号	40
1.3 色度学	5	3.3.5 PAL 编码器	41
1.3.1 彩色三要素	5	3.3.6 PAL 解码器	42
1.3.2 三基色原理	6	3.3.7 PAL 制彩色电视的性能	45
1.3.3 颜色的度量	7	3.4 SECAM 制	46
1.3.4 显像三基色和亮度公式	9	思考题和习题	47
思考题和习题	9	第 4 章 广播电视	49
第 2 章 电视图像的传送原理	12	4.1 地面广播	49
2.1 电视传像原理	12	4.1.1 射频电视信号	50
2.1.1 逐行扫描	12	4.1.2 电视频道的划分	51
2.1.2 隔行扫描	13	4.1.3 地面广播电视发射机	52
2.1.3 CCD 摄像机的光电转换	14	4.1.4 地面广播电视接收机	53
2.2 电视图像基本参数	18	4.1.5 地面广播接收天线	56
2.2.1 图像宽高比	18	4.2 卫星广播	59
2.2.2 场频	19	4.2.1 卫星电视广播系统的组成	60
2.2.3 行数	19	4.2.2 卫星数字电视接收机	62
2.3 黑白全电视信号的组成	20	4.3 有线电视广播	66
2.3.1 图像信号	20	4.3.1 有线电视系统的组成	66
2.3.2 消隐信号和同步信号	20	4.3.2 增补频道	68
2.3.3 开槽脉冲和均衡脉冲	21	思考题和习题	69
2.3.4 全电视信号	22	第 5 章 应用电视	71
思考题和习题	23	5.1 摄像机和监视器	71
第 3 章 彩色电视信号的传输	25	5.1.1 摄像机	71
3.1 彩色电视信号的兼容问题	25	5.1.2 摄像机的配套设备	75
3.1.1 信号选取	25	5.1.3 监视器	86
3.1.2 频带压缩	26	5.2 视频信号的传送和切换	93
3.1.3 频谱交错	27	5.2.1 视频信号的传送	93
3.2 NTSC 制	28	5.2.2 视频分配器和切换器	99

5.3 视频附加信息的产生与叠加	104	6.3.8 ITU-T H.264	169
5.3.1 字符和图形的显示原理	104	6.3.9 VCD 和 DVD	170
5.3.2 画中画电视机	109	6.4 音频压缩的原理和标准	174
5.3.3 图文电视	111	6.4.1 音频信号压缩的可能性	174
5.4 录像技术的发展	113	6.4.2 语音数字编码标准	177
5.4.1 录像机原理	113	6.4.3 MUSICAM 和 AC-3	177
5.4.2 家用录像机的 LP、EP 方式	117	思考题和习题	180
5.4.3 时滞录像机	118	第 7 章 多媒体技术及其应用	183
5.4.4 多画面处理器	118	7.1 多媒体信号和多媒体技术	183
5.4.5 硬盘录像机	120	7.2 多媒体信号的传输	183
5.5 串行传送控制信号	123	7.2.1 PSTN	184
5.5.1 串行通信基本概念	124	7.2.2 ISDN 和 STM	184
5.5.2 串行通信标准接口	125	7.2.3 B-ISDN 和 ATM	185
5.5.3 解码器	126	7.2.4 IP 网络	186
5.5.4 控制器和解码器的连接	128	7.3 多媒体技术的应用	186
5.5.5 接口电路的保护	129	7.3.1 会议电视	186
5.6 系统控制	130	7.3.2 可视电话	190
5.6.1 树型结构	130	7.3.3 远程医疗	192
5.6.2 星型结构	132	7.3.4 多媒体电视监控报警系统	193
5.6.3 总线型结构	134	思考题和习题	195
思考题和习题	135	第 8 章 数字电视	196
第 6 章 视频压缩技术	138	8.1 概述	196
6.1 视频压缩的基本原理	138	8.1.1 数字电视系统结构	196
6.1.1 视频信号压缩的可能性	138	8.1.2 信道编码	197
6.1.2 视频信号的数字化和压缩	139	8.1.3 调制	210
6.1.3 ITU-R BT.601 分量 数字系统	140	8.2 现有的数字电视标准	216
6.1.4 熵编码	141	8.2.1 ATSC 标准	216
6.1.5 预测编码和变换编码	143	8.2.2 DVB 标准	219
6.2 静止图像压缩	146	8.2.3 ISDB-T 标准	224
6.2.1 JPEG 标准	147	8.3 数字电视的接收	225
6.2.2 JPEG2000 标准	149	8.3.1 数字卫星电视的接收	226
6.2.3 数字照相机	151	8.3.2 数字有线电视的接收	226
6.3 活动图像编码	155	8.3.3 数字电视机顶盒	227
6.3.1 概述	155	8.4 数字电视的发展	228
6.3.2 帧间预测编码	156	8.4.1 数字电视发展概况	228
6.3.3 ITU-T H.261	157	8.4.2 我国数字电视发展情况	229
6.3.4 ITU-T H.263	160	思考题和习题	229
6.3.5 MPEG-1 标准	161	名词索引	232
6.3.6 MPEG-2 标准	164	参考文献	236
6.3.7 MPEG-4 标准	167		

第 1 章 彩色与视觉特性

电视图像是一种光信号，在介绍彩色电视之前，应该了解光和色度学的基本知识。

1.1 光的性质

1.1.1 可见光谱

光是一种电磁辐射。电磁辐射的波长范围很宽，按波长从长到短的顺序排列，依次是无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和宇宙射线等。图 1-1 是电磁波按波长的顺序排列的电磁波谱。波长在 380~780 nm 范围内的电磁波能够使人眼产生颜色感觉，称为可见光。可见光在整个电磁波谱中只占极小的一段。可见光谱的波长由 780 nm 向 380 nm 变化时，人眼产生的颜色感觉依次是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫 7 色。一定波长的光谱呈现的颜色称为光谱色。太阳光包含全部可见光谱，给人以白色感觉。

光谱完全不同的光，人眼有时会有相同的色感。用波长 540 nm 的绿光和 700 nm 的红光按一定比例混合可以使人眼得到 580 nm 黄光的色感。这种由不同光谱混合出相同色光的现象叫同色异谱。

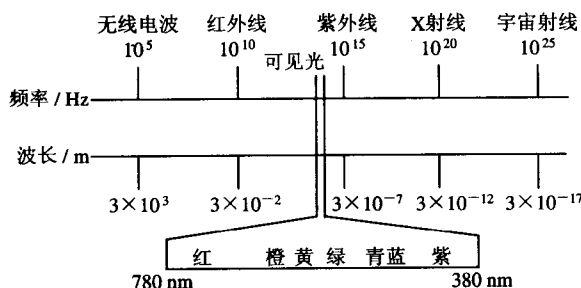


图 1-1 电磁辐射波谱

1.1.2 物体的颜色

物体分为发光体和不发光体。发光体的颜色由它本身发出的光谱所确定，如白炽灯发黄和荧光灯发白，各自有其特定的光谱色。

不发光体的颜色与照射光的光谱和不发光体对照射光的反射、透射特性有关。红旗反射太阳光中的红色光、吸收其他颜色的光而呈红色；绿叶反射绿色的光、吸收其他颜色的光而呈绿色；白纸反射全部太阳光而呈白色；黑板能吸收全部太阳光而呈黑色。绿叶拿到暗室的红光下观察成了黑色，这是因为红光源中没有绿光成分，树叶吸收了全部红光而呈黑色。

1.1.3 标准光源

在彩色电视系统中,用标准白光作为照明光源。为了便于对标准白光进行比较和计算,用绝对黑体的辐射温度——色温表示光源的光谱性能。

绝对黑体也称全辐射体,是指不反射、不透射,完全吸收入射辐射的物体。它对所有波长辐射的吸收系数均为1。绝对黑体在自然界是不存在的,其实验模型是一个中空的、内壁涂黑的球体,在其上面开了一个小孔,进入小孔的光辐射经内壁多次反射、吸收,已不能再逸出到外面,这个小孔就相当于绝对黑体。

绝对黑体所辐射的光谱与它的温度密切相关。绝对黑体的温度越高,辐射的光谱中蓝色成分越多,红色成分越少。光源的色温是这样定义的:光源的可见光谱与某温度的绝对黑体辐射的可见光谱相同或相近时,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。

色温与光源的实际温度无关,彩色电视机荧光屏的实际温度为常温,而其白场色温是6500 K。

常用的标准白光有A、B、C、 D_{65} 和E光源5种,它们的光谱分布如图1-2所示。

(1) A光源 色温为2854 K的白光,光谱偏红,相当于充气钨丝白炽灯所产生的光。

(2) B光源 色温为4874 K的白光,近似中午直射的太阳光。

(3) C光源 色温为6774 K的白光,相当于白天的自然光。它是NTSC制彩色电视白光标准光源。

(4) D_{65} 光源 色温为6504 K的白光,相当于白天的平均光照。它是PAL制彩色电视的白光标准光源。

(5) E光源 色温为5500 K的等能量白光(E_H)。它是为简化色度学计算所采用的一种假想光源,实际并不存在。

电视演播室卤钨灯光源的色温为3200 K,有体积小、亮度高、寿命长、色温稳定等优点。

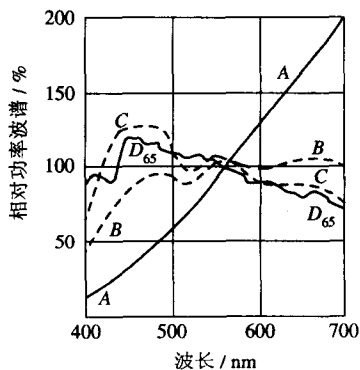


图1-2 标准光源的光谱分布

1.1.4 光的度量单位

1. 光通量

光通量是按人眼的光感觉来度量的辐射功率,用符号 ϕ 表示。其单位名称为流明(lm),当 $\lambda=555\text{ nm}$ 的单色光辐射功率为1 W时,产生的光通量为683 lm,或称1光瓦。在其他波长时,由于相对视敏度 $V(\lambda)$ 下降,相同辐射功率所产生的光通量随之下降。

40 W的钨丝灯泡输出的光通量为468 lm,发光效率为11.7 lm/W; 40 W的日光灯可以输出2100 lm的光通量,发光效率为52.5 lm/W; 电视演播室卤钨灯发光效率可达80~100 lm/W。

2. 光照度

光照度 E , 单位勒(克斯), 符号为 lx。勒(克斯)等于 1 流明的光通量均匀分布在 1 平方米面积上的光照度。

为了对光照度单位勒有个大概的印象, 下列数据可供参考: 室外晴天光照度约为 10 000 勒, 多云约为 500 勒, 傍晚约为 50 勒, 月光约为 10^{-1} 勒, 黄昏约为 10^{-2} 勒, 星光约为 10^{-4} 勒。

1.2 人眼的视觉特性

人能感觉到图像的颜色和亮度是眼睛的生理结构所决定的。电影和电视都是根据人眼的视觉特性发明的。电影每秒投射 24 幅静止画面, 每画面投射 2 次, 由于人眼的视觉惰性, 看起来就同活动景象一样。电视每秒扫描 50 幅画面, 每幅画面是由 312 根扫描线组成的, 由于人眼的视觉惰性和有限的细节分辨能力, 看起来就成了整幅的活动景象。人眼的视觉特性是电视技术发展的重要依据。

1.2.1 视觉灵敏度

波长不同的可见光光波, 给人的颜色感觉不同, 亮度感觉也不同, 人眼对不同波长光的灵敏度是不同的。

人眼的灵敏度因人而异, 同一个人眼睛的灵敏度也随年龄和健康状况有所变化, 所以采用统计方法, 用许多正常视力的观察者来做实验, 取其平均值。

经过对各种类型人的实验进行统计, 国际照明委员会推荐标准视敏度曲线(也称相对视敏函数曲线)如图 1-3 中的 $V(\lambda)$ 曲线所示。图中曲线表明具有相等辐射能量、不同波长的光作用于人眼时, 引起的亮度感觉是不一样的。可以看出人眼最敏感的光波长为 555 nm, 颜色是草绿色, 这一区域颜色, 人眼看起来省力, 不易疲劳。在 555 nm 两侧, 随着波长的增加或减少, 亮度感觉逐渐降低。在可见光谱范围之外, 辐射能量再大, 人眼也是没有亮度感觉的。

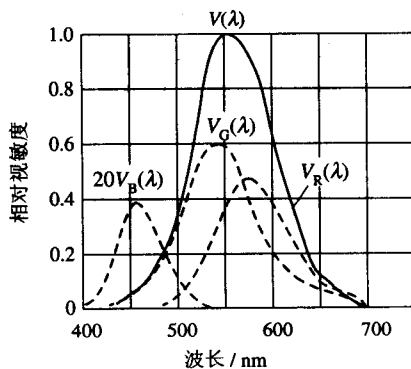


图 1-3 标准视敏度曲线

1.2.2 彩色视觉

人眼视网膜上有大量的光敏细胞, 按形状分为杆状细胞和锥状细胞, 杆状细胞灵敏度很高, 但对彩色不敏感, 人的夜间视觉主要靠它起作用, 因此, 在暗处只能看到黑白形象而无法辨别颜色。锥状细胞既可辨别光的强弱, 又可辨别颜色, 白天视觉主要由它来完成。关于彩色视觉, 科学家曾做过大量实验并提出视觉三色原理的假设, 认为锥状细胞又可分成三类, 分别称为红敏细胞、绿敏细胞、蓝敏细胞。它们各自的相对视敏函数曲线分别为

图 1-3 所示的 $V_R(\lambda)$ 、 $V_G(\lambda)$ 、 $V_B(\lambda)$ ，其峰值分别在 580 nm、540 nm、440 nm 处。图中 $V_B(\lambda)$ 曲线幅度很低，已将其放大了 20 倍。三条曲线的总和等于相对视敏函数曲线 $V(\lambda)$ 。三条曲线是部分交叉重叠的，很多单色光同时处于两条曲线之下，例如 600 nm 的单色黄光就处在 $V_R(\lambda)$ 、 $V_G(\lambda)$ 曲线之下，所以 600 nm 的单色黄光既激励了红敏细胞，又激励了绿敏细胞，可引起混合的感觉。当混合红绿光同时作用于视网膜时，分别使红敏细胞、绿敏细胞同时受激励，只要混合光的比例适当，所引起的彩色感觉，可以与单色黄光引起的彩色感觉完全相同。

不同波长的光对三种细胞的刺激量是不同的，产生的彩色视觉各异，人眼因此能分辨出五光十色的颜色。电视技术利用了这一原理，在图像重现时，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，在色感上得到了相同的效果。

1.2.3 分辨力

分辨力是指人眼在观看景物时对细节的分辨能力。对人眼进行分辨力测试的方法如图 1-4 所示，在眼睛的正前方放一块白色的屏幕，屏幕上面有两个相距很近的小黑点，逐渐增加画面与眼睛之间的距离，当距离增加到一定长度时，人眼就分辨不出有两个黑点存在，感觉只有一个黑点，这说明眼睛分辨景色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人眼的分辨力或视觉锐度。分辨力的定义是：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

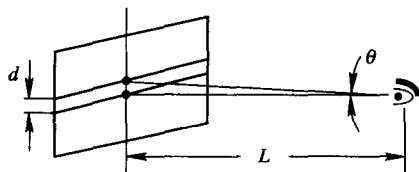


图 1-4 人眼的分辨力

$$\text{分辨力} = \frac{1}{\theta} \quad (1-1)$$

如图 1-4 所示，用 L 表示眼睛与图像之间的距离， d 表示能分辨的两点间最小距离，则有：

$$\begin{aligned} \frac{d}{\theta} &= \frac{2\pi L}{360 \times 60} \\ \theta &= 3438 \frac{d}{L} (') \end{aligned} \quad (1-2)$$

人眼的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，会造成分辨力降低。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对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。实验还证明，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义为 100%，则实验测得人眼对各种颜色细节的相对分辨力用百分数表示如表 1-1 所示。

因为人眼对彩色细节的分辨力较差,所以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,这样做可减少色信号的带宽,这就是大面积着色原理的依据。

表 1-1 人眼对各种颜色细节的相对分辨力

细节颜色	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

1.2.4 视觉惰性

实验证明,人眼的主观亮度感觉与客观光的亮度是不同步的。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,而是按近似指数规律上升;当亮度突然消失后,人眼的亮度感觉并不立即消失,而是按近似指数规律下降。人眼的亮度感觉总是滞后于实际亮度的,这一特性称为视觉惰性或视觉暂留。

图 1-5(a)表示作用于人眼的光脉冲,图 1-5(b)表示该光脉冲造成的主观亮度感觉,它滞后于实际的光脉冲。光脉冲消失后,亮度感觉还要一段时间才能消失。图 1-5(b)中 $t_1 \sim t_2$ 就是视觉暂留时间。在中等亮度的光刺激下,视力正常的人视觉暂留时间约为 0.1 s。

人眼受到频率较低的周期性的光脉冲刺激时,会感到一亮一暗的闪烁现象,如果将重复频率提高到某个定值以上,由于视觉惰性,眼睛就感觉不到闪烁了。不引起闪烁感觉的最低重复频率,称为临界闪烁频率。临界闪烁频率与很多因素有关,其中最重要的是光脉冲亮度,随着光脉冲亮度的提高,临界闪烁频率也会提高。临界闪烁频率还与亮度变化幅度有关。亮度变化幅度越大,临界闪烁频率越高。人眼的临界闪烁频率约为 46 Hz。对于重复频率在临界闪烁频率以上的光脉冲,人眼不再感觉到闪烁,这时主观感觉的亮度等于光脉冲亮度的平均值。

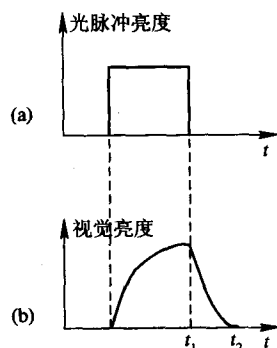


图 1-5 人眼的视觉惰性
(a) 作用于人眼的光脉冲亮度;
(b) 主观亮度感觉

1.3 色 度 学

1.3.1 彩色三要素

描述一种色彩需要用亮度、色调和饱和度三个基本参量,这三个参量称为彩色三要素。

亮度反映光的明亮程度。彩色光辐射的功率越大,亮度越高,反之亮度越低。不发光物体的亮度取决于它反射光功率的大小。若照射物体的光强度不变,物体的反射性能越好,物体越明亮,反之越暗。对于一定的物体,照射光越强,物体越明亮,反之越暗。

色调反映彩色的类别,例如红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等不同颜色。发光物体的色调由光的波长决定,不同波长的光呈现不同的色调,不发光物体的色调由照明光源和该物体的吸收、反射或透射特性共同决定。

色饱和度反映彩色光的深浅程度。同一色调的彩色光,会给人以深浅不同的感觉,深红、粉红是两种不同饱和度的红色,深红色饱和度高,粉红色饱和度低。饱和度与彩色光中的白光比例有关,白光比例越大,饱和度越低。高饱和度的彩色光可加白光来冲淡成低饱和度的彩色光。饱和度最高称为纯色或饱和色。谱色光就是纯色光,其饱和度为100%。饱和度低于100%的彩色称为非饱和色,日常生活中所见到的大多数彩色是非饱和色。白光的饱和度为0。

色饱和度和色调合称为色度,它表示彩色的种类和彩色的深浅程度。

1.3.2 三基色原理

根据人眼的视觉特性,在电视机中重现图像时并不要求完全重现原景物反射或透射光的光谱成分,而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,三种基色必须是相互独立的,任一种基色都不能由其他两种基色混合得到,将它们按不同比例进行组合,可得到自然界中绝大多数的彩色。具有这种特性的三个单色光叫基色光,这三种颜色叫三基色。并总结出三基色原理:自然界中绝大多数的彩色可以分解为三基色,三基色按一定比例混合,可得到自然界中绝大多数彩色。混合色的色调和饱和度由三基色的混合比例决定,混合色的亮度等于三种基色亮度之和。

因为人眼的三种锥状细胞对红光、绿光和蓝光最敏感,所以在红色、绿色和蓝色光谱区中选择三个基色按适当比例混色可得到较多的彩色。在彩色电视中,选用了红、绿、蓝作为三基色,分别用 R 、 G 、 B 来表示。国际照明委员会(CIE)选定了红基色的波长为700 nm,绿基色的波长为546.1 nm,蓝基色的波长为435.8 nm。

三基色原理是彩色电视技术的基础,摄像机把图像分解成三基色信号,电视机又用三基色信号还原出原图像的色彩。三基色光相混合得到的彩色光的亮度等于三种基色亮度之和,这种混合色称为相加混色。将三束等强度的红、绿、蓝圆形单色光同时投射到白色屏幕上,会出现三基色的圆图,其混合规律如图1-6所示。

红色+绿色=黄色

绿色+蓝色=青色

蓝色+红色=紫色

红色+绿色+蓝色=白色

适当改变三束光的强度,可以得到自然界中常见的彩色光。

红色+青色=白色

绿色+紫色=白色

蓝色+黄色=白色

当两种颜色混合得到白色时,这两种颜色称为互补色。红与青互为补色,绿与紫互为补色,蓝与黄互为补色。

在彩色电视技术中,常用两种相加混色法。

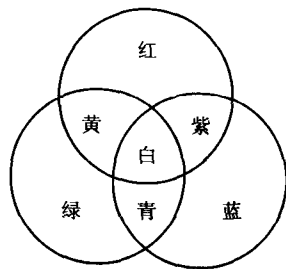


图1-6 相加混色

空间混色法是同时将三种基色光分别投射到同一表面上彼此相距很近的三个点上,由于人眼的分辨力有限,能产生三种基色光混合的色彩感觉。空间混色法是同时制彩色电视的基础。

时间混色法是将三种基色光轮流投射到同一表面上,只要轮换速度足够快,加之视觉惰性,就能得到相加混色的效果。时间混色法是顺序制彩色电视的基础。

1.3.3 颜色的度量

1. 配色实验

给定一种彩色光,可通过配色实验来确定其所含三基色的比例,配色实验装置如图1-7所示。实验装置是由两块互成直角的理想白板将观察者的视场一分为二,在一块白板上投射待配色,另一块白板上投射三基色。调节三基色光的强度,直至两块白板上彩色光引起的视觉效果完全相同。记下三基色调节器上的光通量读数,便可写出配色方程

$$F = R(R) + G(G) + B(B) \quad (1-3)$$

式中, F 为任意一个彩色光, (R) 、 (G) 、 (B) 为三基色单位量, R 、 G 、 B 为三色分布系数。要配出彩色量 F , 必须将 R 单位的红基色、 G 单位的绿基色和 B 单位的蓝基色加以混合。 R 、 G 、 B 的比例关系确定了所配彩色光的色度(含色调和饱和度), R 、 G 、 B 数值确定了所配彩色光的光通量(亮度)。 $R(R)$ 、 $G(G)$ 、 $B(B)$ 分别代表彩色量 F 中所含三基色的光通量成分, 又称为彩色分量。

配成标准白光 $E_{\text{白}}$ 所需红、绿、蓝三基色的光通量比为 $1 : 4.5907 : 0.0601$, 为了简化计算, 规定红基色光单位量的光通量为 1 lm , 绿基色光和蓝基色光单位量的光通量分别为 4.5907 lm 和 0.0601 lm 。

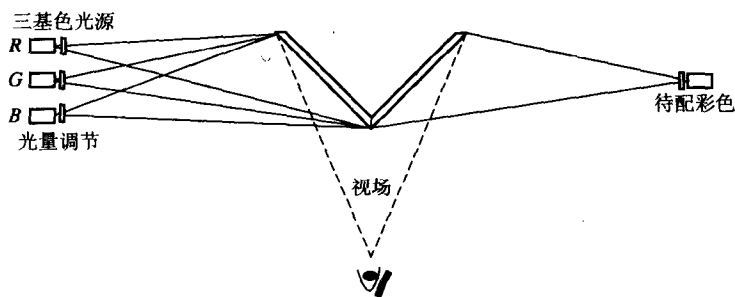


图 1-7 配色实验

2. XYZ 制色度图

配色实验的物理意义明确,但进行定量计算却比较复杂,实际使用很不方便,为此进行了坐标变换:

$$\begin{aligned} (X) &= 0.4185(R) - 0.0912(G) + 0.0009(B) \\ (Y) &= -0.1587(R) + 0.2524(G) + 0.0025(B) \\ (Z) &= -0.0828(R) + 0.0157(G) + 0.1786(B) \end{aligned} \quad (1-4)$$

在 XYZ 计色制中,任何一种彩色的配色方程式可表示为

$$F = X(X) + Y(Y) + Z(Z) \quad (1-5)$$

式中, X 、 Y 、 Z 为标准三系数, (X) 、 (Y) 、 (Z) 为标准三基色单位。在 XYZ 计色制中标准三系数均为正数, 系数 Y 的数值等于合成彩色光的全部亮度, 系数 X 、 Z 不包含亮度, 合成彩色光色度仍由 X 、 Y 、 Z 的比值决定。当 $X=Y=Z$ 时, 配出等能白光 $E_{\text{白}}$ 。

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

$$m = X + Y + Z$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} = \frac{X}{m}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} = \frac{Y}{m}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = \frac{Z}{m} \quad (1-6)$$

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

由式(1-6)可知

$$x + y + z = 1 \quad (1-7)$$

式(1-7)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 1-8 所示。

在 x - y 色度图中所有光谱色都在所示的舌形曲线上。曲线上各点的单色光既可用一定的波长来标记, 也可用色度坐标来表示, 该曲线亦称为光谱色曲线。

舌形曲线下面不是闭合的, 用直线连接起来, 则自然界中所有实际彩色都包含在这封闭的曲线之内。

$E_{\text{白}}$ 点的坐标为 $x=1/3$ 、 $y=1/3$, 谱色曲线上任意一点与 $E_{\text{白}}$ 点的连线称为等色调线。该线上所有的点都对应同一色调的彩色, 线上的点离 $E_{\text{白}}$ 点越近, 该点对应的彩色的饱和度就越小。

谱色曲线内任意两点表示了两种不同的彩色, 这两种彩色的全部混色都在这两点的连线上。合成光的点离该两点的距离与这两种彩色在合成光中的强度成反比。

在谱色曲线内, 任取三点所对应的彩色作基色混合而成的所有彩色都包含在以这三点为顶点的三角形内。三角形外的彩色不能由此三基色混合得到。因此, 彩色电视选择的三基色应在色度图上有尽量大的三角形面积。

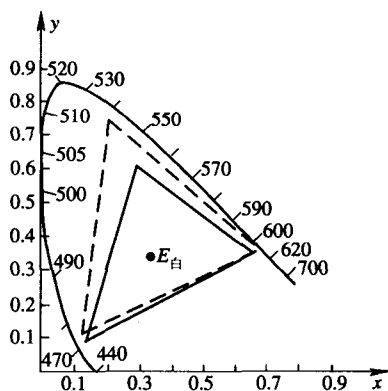


图 1-8 标准色度图和显像三基色

1.3.4 显像三基色和亮度公式

1. 显像三基色

彩色电视重现图像是靠彩色显像管屏幕上三种荧光粉在电子束轰击下发出红、绿、蓝三种基色光混合而得到的,这三种基色称为显像三基色。我们希望选出的显像三基色在色度图上的三角形面积尽可能大些,这会使混合出来的色彩更丰富,同时还要求荧光粉的发光效率尽可能高。

不同彩色电视制式所选用的显像三基色是不同的,选用标准白光也不一样。NTSC 制和 PAL 制采用的显像三基色和标准白光的色度坐标如表 1-2 所示,在色度图中的位置分别见图 1-8 中的虚线三角形和实线三角形。

表 1-2 显像三基色和标准白光的色度坐标

制 式		NTSC 制				PAL 制			
基色和标准白光		R_{e1}	G_{e1}	B_{e1}	C_{E1}	R_{e2}	G_{e2}	B_{e2}	D_{65}
色度坐标	X	0.67	0.21	0.14	0.31	0.64	0.29	0.15	0.313
	Y	0.33	0.71	0.08	0.316	0.33	0.6	0.06	0.329

2. 亮度公式

由显像三基色和标准白光的色度坐标经线性矩阵变换可导出 NTSC 制中显像三基色 R_{e1} 、 G_{e1} 、 B_{e1} 和 X 、 Y 、 Z 之间的关系式为

$$\begin{aligned} X &= 0.607R_{e1} + 0.174G_{e1} + 0.200B_{e1} \\ Y &= 0.299R_{e1} + 0.587G_{e1} + 0.114B_{e1} \\ Z &= 0.000R_{e1} + 0.066G_{e1} + 1.116B_{e1} \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中, Y 代表彩色的亮度,由显像三基色配出的任意彩色光的亮度为

$$Y = 0.299R_{e1} + 0.587G_{e1} + 0.114B_{e1} \quad (1-9)$$

通常简化为

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (1-10)$$

式(1-10)称为亮度公式。

由表 1-2 可知在 PAL 制彩色电视中,选用的显像三基色和标准白光的色度坐标与 NTSC 制不一样,亮度公式中的系数有所不同,但是两者差别不大,所以在 PAL 制中也采用式(1-10)作为亮度公式。

思考题和习题

1. 填空题

- (1) 波长在 _____ nm 范围内的电磁波能够使人眼产生颜色感觉,称为 _____。
- (2) 由不同光谱混合出相同色光的现象叫 _____。
- (3) 发光体的颜色由它本身所发出的 _____ 确定。