



高等学校电子与通信类专业“十二五”规划教材

电视原理

主编 宋占伟
主审 余兆明



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十二五”规划教材

电 视 原 理

主编 宋占伟

主审 余兆明

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统、全面地介绍了模拟信号 CRT 电视和数字信号 LCD/PDP 电视的主要原理, 从一个全新的角度概括并讲解了电视的基础知识、电视的典型架构和模拟/数字电视机的单元电路, 并就数字电视的标准、数字电视信号的处理方法、数字电视的工作流程和单元工作过程、数字电视设计过程进行了较详尽的表述。本书力求从电视信号的接收、处理和显示输出这一角度诠释电视的原理, 使电视原理的学习与理解达到完整、系统、适用的目标。

本书作为以面向新型人才培养为目标而规划出版的教材, 可供高等学校电子信息科学、电子信息工程、通信工程、广播电视工程、计算机等专业的教师、本科学生与研究生作为教学、自学与培训的教材使用。同时本书也可在广播电视行业从事数字电视、有线电视、卫星电视、地面电视等研发工作的工程技术人员提供参考和帮助。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电视原理/宋占伟主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.1

高等学校电子与通信类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2502 - 7

I. ① 电… II. ① 宋… III. ① 电视—理论—高等学校—教材 IV. ① TN94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 212645 号

策 划 曹 晔

责任编辑 张 玮 曹 晔

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 16.5

字 数 385 千字

印 数 1~3000 册

定 价 24.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2502 - 7/TN · 0581

XDUP 2794001-1

*** 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。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十二五”规划教材
编审专家委员会名单

主 任：杨 震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授）

秦会斌（杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授）

通信工程组

组 长：张德民（兼）

成 员：（成员按姓氏笔画排列）

王 晖（深圳大学信息工程学院副院长、教授）

巨永锋（长安大学信息工程学院副院长、教授）

成际镇（南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授）

刘顺兰（杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授）

李白萍（西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授）

张邦宁（解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授）

张瑞林（浙江理工大学信息电子学院院长、教授）

张常年（北方工业大学信息工程学院院长、教授）

范九伦（西安邮电学院信息与控制系系主任、教授）

姜 兴（桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授）

姚远程（西南科技大学信息工程学院副院长、教授）

康 健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

葛利嘉（中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授）

电子信息工程组

组 长：秦会斌（兼）

成 员：（成员按姓氏笔画排列）

王 荣（解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授）

朱宁一（解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师）

李国民（西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授）

李邓化（北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授）

吴 谨（武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授）

杨马英（浙江工业大学信息工程学院副院长、教授）

杨瑞霞（河北工业大学信息工程学院院长、教授）

张雪英（太原理工大学信息工程学院副院长、教授）

张 彤（吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授）

张焕君（沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授）

陈鹤鸣（南京邮电大学光电学院院长、教授）

周 杰（南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授）

欧阳征标（深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授）

雷 加（桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授）

项目策划：毛红兵

策 划：曹 昉 寇向宏 杨 英 郭 景

前 言

电视技术发展到今天,已经成为一个巨大的系统工程。电视技术涉及节目采编、后期制作、编码压缩、信号合成、调制发射、信道传输、条件控制、接收解调、信号分离、信源解码、同步控制、显示输出等诸多环节,成为广播电视行业的支柱业务和社会信息传媒的重要手段。

用于视频、音频信号接收与图像、声音恢复重现的电视,已经深入到城市、乡村的家家户户,成为人们生活、娱乐、了解社会信息的必备电器和现代家居生活的组成部分。

随着科技的进步,电视的功能不断增加,电视的视觉和听觉感观效果不断增强,电视的结构和传输方式也发生着重大的转变。从最早的黑白电视发展到彩色电视,从模拟电视信号传输发展到数字电视信号传输,从直角平面 CRT 显示发展到大平面 LCD/PDP 显示,从标准清晰度模拟显示输出发展到高清晰度数字显示输出,从单声道伴音输出发展到多声道环绕声输出,从简单的视听信息接受发展到高品质的视听感官享受,从固定电视接收发展到移动电视接收,从单向广播方式向双向互动点播方式转变,这都依靠电视技术的发展与电视产业的做大做强。

本书包含四大部分:电视基础、CRT 彩色电视接收机电路及原理、数字电视接收机电路及原理、数字电视的开发及设计。本书的读者对象主要是针对高等院校电子工程、通信工程、信息工程、广播电视工程、计算机等专业的教师和学生。同时本书也可为在广播电视行业从事数字电视、有线电视、卫星电视、地面电视等开发工作的工程技术人员提供参考和帮助。

本书是编者几年来从事电视原理科目教学的经验总结,由宋占伟、李秀英、郑传涛分工合作编写而成,并且在编写过程中参阅了大量的书籍和相关文献资料。在此,编者向所参阅书籍的有关作者表示由衷的谢意,同时也感谢西安电子科技大学出版社的大力支持。

由于编者水平有限,而且数字电视技术也在不断的发展和进步,本书不可避免地存在一些不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年8月于吉林大学

目 录

第1章 电视基础1	2.1.3 色差信号的波形与频谱.....32
1.1 视频图像原理.....1	2.1.4 色度信号.....34
1.1.1 人眼的视觉分辨力.....1	2.2 视频信号的频谱.....45
1.1.2 人眼的视觉暂留特性.....1	2.2.1 色同步信号.....45
1.1.3 图像的分辨率.....2	2.2.2 PAL制彩色全电视信号.....49
1.2 色彩原理.....4	2.3 高频调谐器的结构.....50
1.2.1 光与彩色.....4	2.3.1 高频调谐器的性能指标.....50
1.2.2 三基色原理.....5	2.3.2 全频道高频调谐器的组成框图 (双高放式).....52
1.3 电视信号的特征.....9	2.4 输入回路原理.....54
1.3.1 射频电视信号的频段与频道特征.....10	2.5 放大调谐电路原理.....55
1.3.2 中频电视信号的特性.....11	2.5.1 TECC7989VA24A型高频调谐器 (三高放式).....55
1.3.3 视频信号的特征.....13	2.5.2 TDQ-3B型高频调谐器(双高放式).....57
1.4 黑白电视的基本原理.....14	2.5.3 UHF调谐器的调谐回路.....59
1.4.1 黑白电视接收机的组成.....15	2.6 混频变换电路原理.....61
1.4.2 黑白全电视信号的构成.....17	2.6.1 混频变换的基本过程.....61
1.4.3 黑白显像管的构造.....19	2.6.2 AFC的作用及组成框图.....62
1.5 彩色电视的基本原理.....21	2.7 中频滤波电路原理.....63
1.5.1 彩色电视机的组成框图.....21	2.7.1 声表面波滤波器(SAWF)及预中放.....63
1.5.2 彩色电视机的工作流程.....22	2.7.2 螺旋滤波器.....64
1.5.3 彩色显像管的结构与特点.....23	复习题.....65
1.5.4 彩色电视信号的编码与解码流程.....24	第3章 CRT彩色电视的信号 处理电路66
1.5.5 频谱间置原理.....25	3.1 电视接收机的公共通道.....66
1.6 数字电视的基本原理.....26	3.1.1 公共通道的主要作用及基本要求.....66
1.6.1 数字电视的定义.....26	3.1.2 电视接收机公共通道的组成框图.....67
1.6.2 数字电视的特点.....27	3.1.3 视频检波器的作用以及性能要求.....68
1.6.3 数字电视系统的组成.....27	3.1.4 抗干扰电路与自动增益控制电路.....70
1.6.4 数字电视的图像格式.....28	3.2 亮度通道与基色矩阵.....72
1.6.5 数字电视的主要分类.....29	3.2.1 亮度通道的主要作用.....72
复习题.....29	3.2.2 亮度通道及解码电路的基本组成.....73
第2章 CRT彩色电视的信号 接收电路30	3.2.3 亮度/色度信号的分离.....73
2.1 标准彩条电视信号.....30	3.2.4 水平清晰度提高电路.....75
2.1.1 标准彩条图像的三基色信号.....30	3.2.5 黑电平扩展原理及直流恢复电路.....80
2.1.2 标准彩条图像的亮度信号 波形与频谱.....31	

3.2.6 基色矩阵及消隐电路	81	4.3.2 视放输出级的高频补偿	120
3.2.7 亮度通道组成实例	83	4.3.3 彩色电视接收机视放输出级 电路分析	121
3.3 色度通道	84	4.3.4 彩色电视接收机视放输出兼 基色矩阵的电路分析	124
3.3.1 色度通道的组成框图	85	4.4 彩色显像管	125
3.3.2 色度信号的选通与放大	85	4.4.1 单枪三束彩色显像管	126
3.3.3 梳状滤波器	86	4.4.2 自会聚彩色显像管	127
3.3.4 同步检波电路及 $G-Y$ 矩阵	88	4.4.3 自会聚彩色显像管的色纯与 静会聚调节	129
3.4 同步分离、放大电路	90	4.4.4 白平衡的调节	129
3.4.1 同步分离的作用及组成框图	91	4.4.5 消磁电路	130
3.4.2 幅度分离电路及同步放大电路	92	4.5 伴音通道	131
3.4.3 行场同步信号的分离	92	4.5.1 伴音通道的组成框图	131
3.5 副载波产生电路	95	4.5.2 鉴频电路	132
3.5.1 副载波产生电路的组成	95	4.5.3 大屏幕彩电伴音中放及伴音制式 转换电路实例	136
3.5.2 锁相环路	96	4.6 电源电路	137
3.5.3 色同步选通电路	96	4.6.1 开关电源的组成框图及原理	137
3.5.4 $\pm \cos \omega_{SC} t$ 副载波形成电路	98	4.6.2 大屏幕彩电开关电源实例	140
3.6 电视接收机遥控系统	100	复习题	142
3.6.1 红外遥控彩色电视接收机的 组成框图	100	第5章 数字电视的国际国内标准	143
3.6.2 控制过程及功能	101	5.1 数字电视的架构	143
3.6.3 红外遥控电视接收机的工作模式	103	5.1.1 数字电视信号的处理过程	143
3.6.4 电压合成式数字调谐的工作原理	103	5.1.2 数字电视的标准体系	145
3.6.5 脉冲宽度调制码调频	104	5.1.3 数字电视的结构特点	146
复习题	105	5.2 数字图像的格式与表示方法	149
第4章 CRT 彩色电视的显示 输出电路	107	5.2.1 数字图像色彩的表示格式	151
4.1 行输出级电路	107	5.2.2 数字视频图像的表示方法	151
4.1.1 行扫描电路的组成	107	5.3 数字电视信源编码解码标准	156
4.1.2 行输出级的工作原理	109	5.3.1 MPEG-2 标准概述	156
4.1.3 行逆程脉冲电压	111	5.3.2 MPEG-2 的特点	158
4.2 场输出级电路	112	5.3.3 MPEG-2 视频编码关键技术	158
4.2.1 场扫描电路的组成	113	5.4 数字电视系统的信道传输标准	161
4.2.2 场偏转电流、电压的波形	113	5.4.1 美国 ATSC 标准	161
4.2.3 OTL 场输出级电路	114	5.4.2 欧洲 DVB 标准	162
4.2.4 场扫描的非线性失真及其补偿	117	5.4.3 日本 ISDB 标准	163
4.2.5 场输出级泵电源供电电路	118	5.4.4 我国数字电视传输标准	164
4.2.6 场中心位置调节电路	118	5.5 数字电视信号调制解调标准	165
4.2.7 集成化场输出电路实例	118	5.5.1 残留边带(VSB)数字调制	165
4.3 末级视频放大电路	119		
4.3.1 视放输出级的性能指标	119		

5.5.2	8 电平残留边带(8-VSB)调制	166	7.5	图像的运动估计与补偿	201
5.5.3	正交相移键控(QPSK)调制	168	7.6	音频信号的压缩编码技术	207
5.5.4	正交幅度调制(QAM)	168	复习题		208
5.5.5	正交频分复用(OFDM)和编码		第 8 章 数字电视信号的输出单元		209
	正交频分复用(COFDM)	169	8.1	数字电视的显示输出方案	209
5.6	数字电视的音频编解码标准	170	8.1.1	LCD 液晶显示输出方案	209
5.6.1	数字电视音频信号特征分析	171	8.1.2	PDP 显示输出方案	212
5.6.2	数字电视音频编解码标准	172	8.2	数字电视的 LCD 显示单元	215
复习题		175	8.2.1	LCD 显示器的工作原理	215
第 6 章 数字电视信号的接收单元		176	8.2.2	LCD 显示器的主要特点	217
6.1	数字电视信号的有线广播接收单元	176	8.2.3	液晶显示板的结构	217
6.2	数字电视信号的地面广播接收单元	177	8.2.4	液晶电视显示系统的基本	
6.3	数字电视信号的卫星广播接收单元	179		工作原理	219
6.4	数字电视信号的条件接收	179	8.3	数字电视的 PDP 显示单元	219
6.4.1	数字电视条件接收的原理	180	8.3.1	PDP 显示器的主要特点	221
6.4.2	条件接收系统的组成	182	8.3.2	PDP 显示器的技术进展	221
6.4.3	条件接收系统的总体要求	183	8.3.3	PDP 显示器 ALIS 驱动技术	222
复习题		185	8.3.4	等离子体显示单元的	
第 7 章 数字电视信号的处理单元		186		内部结构和驱动电路	223
7.1	数字电视的视频编码	186	8.4	数字电视的 OLED 显示单元	224
7.1.1	数字电视的视频编码概述	186	8.4.1	OLED	224
7.1.2	数字电视视频编码的流程	190	8.4.2	OLED 显示器的工作原理	227
7.2	视频图像的 DCT 变换编码	191	8.5	HDTV 显示输出电路方案	228
7.3	视频图像的熵编码	194	8.6	杜比 AC-3 音频输出电路方案	232
7.3.1	游程编码	195	复习题		238
7.3.2	哈夫曼编码	197	第 9 章 数字电视的设计与开发		239
7.4	图像的差值与矢量预测	199	9.1	视频编解码器设计实例	239
7.4.1	图像的差值	200	9.2	完全高清 1080p 片上数字电视系统	249
7.4.2	图像的矢量预测	200	参考文献		253

第1章 电视基础

电视是利用无线电波、卫星信号或者有线信号传送声音和图像信息的一种技术。在了解彩色电视、数字电视的工作原理之前，很有必要对广播电视基础知识作一简单的介绍。

首先让我们了解一下人的视觉对图像的感知机理，然后看一下电视图像的基本组成原理与方法。

1.1 视频图像原理

电视图像的形成和重现过程的基础是人眼的视觉暂留效应。只要满足视觉暂留效应的要求，人眼感受到的就是完整的连续的图像信息。

图像可以看成是确定大小的像素点按照行和列规则排列形成的结果。像素点的大小与人眼的明暗感知灵敏度相关。行和列的大小决定了图像的尺寸，图像的尺寸大小又与人眼的视角相关。

模拟电视图像是由显像管内的电子束以行列循环扫描的方式轰击荧光屏上的荧光粉发光形成的，某一时刻电子束只打在一个荧光点上，发光的亮暗与电子束所包含的电子多少相关。而色彩是代表红、绿、蓝三基色的三束电子束分别轰击荧光点上对应的荧光粉发光合成的效果。

人眼所能分清的单个荧光点的大小就是人眼的视觉分辨率，而人眼所能感受到的由大量荧光点形成的屏幕范围就是人眼的视觉感知范围。在模拟电视中用电视线来表示视觉分辨率，而用线数表示视觉感知范围。

1.1.1 人眼的视觉分辨力

人眼分辨力的严格定义是以被观察物上两点之间能分辨的最小视角 θ 的倒数来表示，即

$$\text{分辨力} = \frac{1}{\theta}$$

对于正常视力的人，在中等亮度的条件下观看静止图像时，其 $\theta = 1' \sim 1.5'$ 。分辨力在很大程度上取决于景物细节亮度和对比度。

1.1.2 人眼的视觉暂留特性

当一个光脉冲作用于人眼时，人眼不能在瞬间形成稳定的亮度感觉，必须经过一个短

暂的升或降的过渡过程,即随时间增加,人眼主观亮度感觉由小至大,最后达到一稳定值,然后才以近似指数的规律逐渐减小。这一现象即称为视觉惰性,也称视觉暂留特性。这一特性可用图 1.1 来说明。

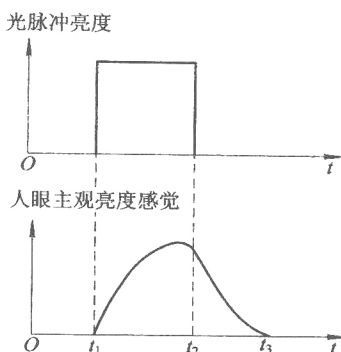


图 1.1 人眼的视觉惰性

视觉惰性在近代电影和电视中得到广泛应用。电影放映时,每秒传送 24 幅画面(放映时每幅画面曝光两次);电视中,每秒传送 25 幅画面(每幅画面扫描两次),虽然每个画面不连续,但由于人眼存在视觉暂留特性,因而主观感觉图像内容是连续运动的。

实验测试表明,人眼的临界闪烁频率约为 46 Hz。图像的变换频率如果超过这一值,人眼就不会感到闪烁。人眼的视觉暂留时间在 20 ms 以内,在此时间间隔内人眼将分立的各场图像感觉成连续的图像。

为了降低电路中电视信号的传输量并兼顾人眼的视觉效果,实际的电路系统是将一帧完整的图像分解成由奇数行和偶数行构成的两场,先传输显示奇数场,再传输显示偶数场,这样既满足了人的视觉要求,又减少了一半的数据传输量,使电路实现比较容易。这就是为什么在电视中采用 50 场或 60 场隔行扫描方式的原因。

人眼视觉最清楚的范围约为垂直夹角 15° 、水平夹角 20° 的一个矩形面积。因此,电视机屏幕的宽高比多为 4:3。为增强现场感与真实感,也可适当增加宽高比,例如高清晰度电视屏幕的宽高比一般采用 16:9。

显像管屏幕的大小常用 4:3 幅面对角线尺寸来表示,一般家用彩电有 21 英寸(54 cm)、25 英寸(64 cm)、29 英寸(74 cm)和最大尺寸 34 英寸(87 cm)。1 英寸 = 2.54 cm。

LCD 和 PDP 数字电视屏幕的大小通常采用 16:9 幅面对角线尺寸来表示,一般家用数字电视有 32 英寸、37 英寸、40 英寸、42 英寸、47 英寸和 50 英寸以上的大屏。

1.1.3 图像的分辨率

图像清晰度是人们主观感觉到的图像细节的清晰程度。它与电视系统传送图像细节的能力有关,这种能力称为电视图像的解像力,常用多少“线”来表示。普通 CRT 显像方式可以达到 450 线,标准清晰度电视水平解像力可以达到 720 线,而高清数字电视水平解像力目前可以达到 1080 线。

解像力又分为垂直解像力和水平解像力。

垂直解像力是指沿着图像的垂直方向能够分辨出像素的数目。显然它受屏幕显示

行数的限制。在最佳的情况下,垂直解像力 M 就等于显示行数。在一般情况下,物理屏幕上的每一行并不等同于垂直解像力意义上的一行,两者的关系取决于图像的状况以及图像与扫描线相对位置的各种情况。考虑到图像内容的随机性,有效垂直解像力 M 可由比例系数 K 和显示行数的乘积来确定, K 值通常取 $0.5 \sim 1$,若取 $K = 0.76$,则有效垂直解像力 $M = 0.76 \times 575 = 437$ 线。

水平解像力是指电视系统沿图像水平方向能分辨的像素的数目,用 N 表示。水平解像力取决于图像信号通道的频带宽度以及电子束横截面的大小。也就是说,水平解像力与电子束直径相对于图像细节宽度的大小有关。实验证明,在同等长度条件下,当水平解像力等于垂直解像力时图像质量最佳。由于一般电视机屏幕的宽高比为 $4:3$,故有效水平解像力 N 可根据下式求出:

$$N = \left(\frac{4}{3}\right) M = \left(\frac{4}{3}\right) \times 0.76 \times 575 = 583 \text{ 线}$$

由扫描电子束存在一定的截面积而造成电视系统水平分解力下降的现象,称为孔阑效应。减小电子束直径可以提高水平分解力,但电子束直径的大小要适当。

为了获得图像的连续感、克服闪烁效应并不使图像信号的频带过宽,我国电视标准规定帧频为 25 Hz ,采用隔行扫描,场频为 50 Hz 。这样的场频恰好等于电网频率,还可以克服当电源滤波不良时的图像蠕动现象。由于扫描行数决定了电视系统的分解力,从而决定了图像的清晰度,因此在电视标准中确定的扫描行数是一个极为重要的指标。我国规定每帧扫描 625 行。

模拟电视图像由电子束的行、场扫描形成,中国和欧洲采用每幅 625 行,场频为 50 Hz ,美国和日本采用 525 行,场频为 60 Hz ,宽高比都为 $4:3$ 。由于普遍采取隔行扫描方式,实际上两场构成一帧完整的图像,即分别对应每秒显示 25 帧和 30 帧。

由于每场图像扫描到最后一行末尾时,电子束要返回到下一场第一行的起始点,因此应该去除 50 行的回扫线,这样一幅电视图像的实际大小分别为

$$(625 - 50) \times \frac{4}{3} \times (625 - 50) = 44.10 \times 10^4 \text{ 个有效像素点}$$

$$(525 - 60) \times \frac{4}{3} \times (525 - 60) = 28.83 \times 10^4 \text{ 个有效像素点}$$

一帧电视图像的大小如图 1.2 所示。

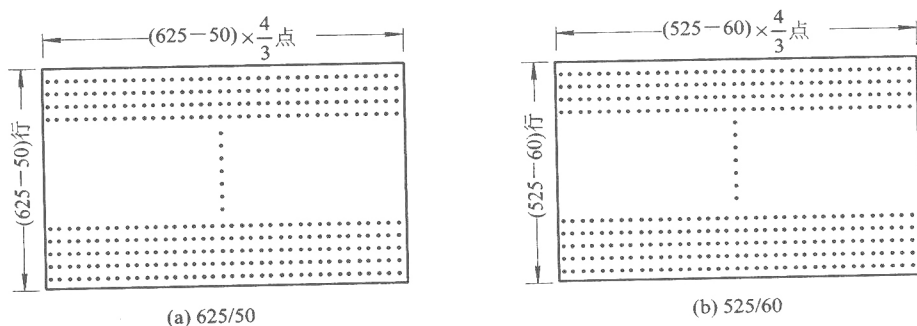


图 1.2 电视图像像素示意图

625/25 显示方式下,每秒钟传送的数据量为

$$44.10 \times 10^4 \times 25 = 11.03 \times 10^6 \text{ 个像素}$$

525/30 显示方式下, 每秒钟传送的数据量为

$$28.83 \times 10^4 \times 30 = 8.65 \times 10^6 \text{ 个像素}$$

1.2 色 彩 原 理

1.2.1 光与彩色

1. 光与色

光是一种物质, 是一种携带能量的电磁波, 其频率范围很宽, 就人眼感觉到的可见光而言, 其波长在 780~380 nm 的范围内(nm 为纳米, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)。

色源于光, 色(俗称颜色)也是光的一种形式, 它是一定波长的光作用于人的视觉神经而引起的结果。电视中, 红色光的波长约为 700 nm(780~630 nm); 绿色光的波长约为 546 nm(580~510 nm); 蓝色光的波长约为 435 nm(470~430 nm), 如图 1.3 所示。

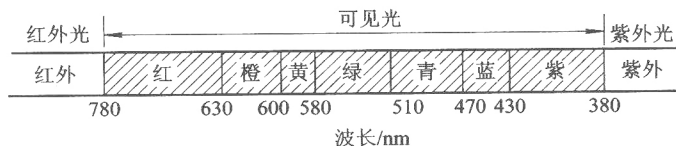


图 1.3 可见光中各色光的波长

可见光谱中, 各色光的波长都有一定范围, 其边界处的波长也不十分严格。很短或很长波长的光(紫外光和红外光)人眼是看不到的。所以, 色是人眼对不同光谱的主观反映, 没有光也就没有色, 在漆黑的夜晚, 是什么颜色也分辨不出来的。

太阳光是一种复式光, 它包括了所有频率成分的可见光, 通过三棱镜(分光镜)后就会分解出红、橙、黄、绿、青、蓝、紫 7 种颜色。

在电视技术中, 通常采用国际上规定的 A、B、C、D₆₅ 及 E 等几种光源作为标准光源, 其主要特性如下:

(1) A 光源, 其色温为 2854 K, 光谱能量主要集中在红外线区域, 与白炽灯在 2800 K 时辐射出的光等效。

(2) B 光源, 其色温近似为 4800 K, 相当于中午直射的太阳光。

(3) C 光源, 其色温近似为 6700 K, 相当于白天的自然光。

(4) D₆₅ 光源, 其色温近似为 6500 K, 相当于白天的平均光照。

(5) E 光源, 其色温近似为 5500 K, 这种光实际上不存在, 是仅为了简化色度学中的计算而引入的一种假设光源。

2. 彩色的三要素

光对人眼引起的视觉反应, 一般可用 3 个基本参量来描述, 这就是所谓的彩色三

要素。

(1) 亮度, 指光的明亮程度, 即彩色光作用于人眼引起的视觉明亮程度的感觉, 它由发光体的发光强度来确定。

(2) 色调, 指彩色光的种类或类别, 如红、黄、绿、蓝等不同的颜色。色调是由光的频率(或波长)高低来确定的, 这是决定彩色本质的一个基本参量。

(3) 色饱和度, 指彩色光的深浅程度, 如红、浅红、浅绿、深绿等不同程度的颜色。光的色饱和度与彩色中掺入的白色光成分有关, 即完全不掺入白色的彩色光, 其饱和度最高, 定为 100%; 若掺入一半的白光, 则饱和度为 50%。自然界中的彩色, 实际上都是非饱和色。

色调和色饱和度通常合称为色度。这个名词在彩色电视中会经常提到, 即色度为色调和色饱和度的总称, 它既表明了彩色的种类, 又表明了彩色的深浅。

1.2.2 三基色原理

1. 人眼的视觉特性

人眼的视觉神经细胞有两种, 即一种为杆状细胞, 另一种为锥状细胞。

杆状细胞对亮度敏感, 即细胞的感光灵敏度很高, 能感受弱光。夜晚人眼的视觉就是由杆状细胞来完成的。这类细胞多达 13 000 多万个, 主要分布在视网膜周围, 由于细胞多、视觉分辨力高, 因而需要传送黑白图像的细节。因此, 黑白图像信号的频带较宽。

锥状细胞(圆锥细胞)对彩色敏感, 对强光也能产生亮度感觉。锥状细胞约有 700 多万个, 比杆状细胞少得多, 主要分布在视网膜中部的黄斑区。由于锥状细胞少, 因而人眼对彩色的分辨力要比黑白亮度低, 故传送彩色图像时, 其细节并不重要。因此, 彩色图像信号的频带宽度较窄, 高频分量较少。

人眼的锥状细胞又有 3 种, 分别对红、绿、蓝三色光敏感, 在辐射强度相等、但色彩不同的光的刺激下, 3 种锥状细胞所产生的亮度感觉是不一样的。

如果一束彩色光只能引起人眼的一种锥状细胞(光敏细胞)的较强兴奋, 而另两种锥状细胞的兴奋很微弱, 则人眼的感觉就是某一种基色光, 如红色、绿色或蓝色。

如果一种彩色光能使人眼的两种锥状细胞都兴奋, 便会产生其他彩色感觉。若红敏、绿敏细胞都兴奋, 便产生黄色感觉; 若红敏、蓝敏细胞都兴奋, 便产生紫色感觉; 若绿敏、蓝敏细胞都兴奋, 便产生青色感觉等。随着 3 种锥状细胞所受光的刺激程度不同, 人眼便有各种各样的彩色感。

如果有一种光, 能使 3 种锥状细胞产生同等程度的兴奋, 则人眼所感觉到的便是白色光了; 若以相同比例同时改变红、绿、蓝 3 种基色光的强度, 则人眼会得到明亮不等的亮度(灰度)感觉。也就是说, 白色也可以用不同比例的红、绿、蓝三色混合得到。

图 1.4 表明了, 在相同辐射强度但彩色不同的光照激发下, 3 种锥状细胞对不同色光(即不同波长)的相对视敏函数曲线(光敏曲线)。3 条响应曲线的峰值分别在波长为 580 nm 的红光、540 nm 的绿光(黄绿光)及 440 nm 的蓝光处。图中的亮度曲线是红、绿、蓝 3 条曲线相加的结果。实验还表明, 复合光的亮度等于各色光分量的亮度之和。

上述的有关彩色视觉特性是俄国科学家罗蒙洛索夫于 1756 年首先提出的三基色假设中指出的, 这个假设后来得到许多科学家的实验证明, 从而成为色度学的基础。

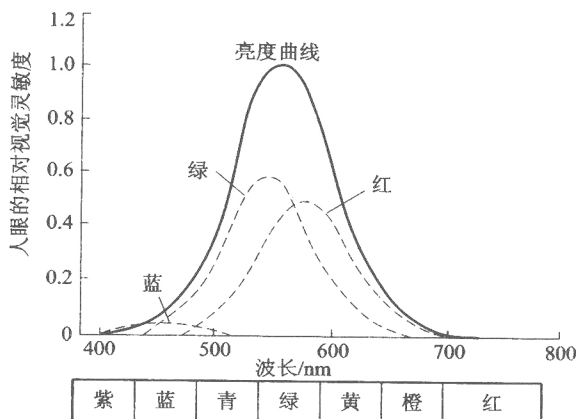


图 1.4 人眼的光敏特性

2. 人眼的色彩分辨力

实验表明,人眼对彩色的分辨能力比对亮度的分辨能力低,对不同色调的光,其分辨能力也各不相同。在同样照度下,人眼对绿色的分辨力最高,红色次之,蓝色最低。如果将人眼对黑白细节的分辨力定为 100%,则对黑红色的分辨力为 90%,对绿红色的分辨力为 40%,而对绿蓝色的分辨力只有 19%,具体情况如表 1.1 所示。

表 1.1 人眼对彩色的相对分辨力

不同色调	黑白	墨绿	黑红	绿红	黑蓝	红蓝	绿蓝
相对分辨率/%	100	94	90	40	26	23	19

表 1.1 中数据表明,人眼对彩色景物细节的分辨能力是很差的。举例来说,如果在一定距离内我们能分辨出电视机荧光屏白衬底上大小为 1 mm 的黑色细节,那么在同样距离内要能分辨出红色衬底的绿色细节,图像的尺寸则增加至 2.5 mm;要能分辨出蓝色衬底的绿色细节,图像的尺寸则增加至 5.3 mm。若荧光屏上出现的彩色图像小于上述尺寸,则人眼将不能分辨其彩色,只能感觉到亮度的不同,也可以认为人眼对于很小的物体的彩色是色盲。

电视对黑白图像的清晰度要求愈高,图像信号的频带即愈宽。电视标准规定亮度信号(图像信号)的频带宽度为 6 MHz。由于人眼的辨色能力低,对彩色电视图像的清晰度要求低,故彩色电视信号(如红、绿、蓝)的频带宽度只要有 1.3 MHz 就能满足要求了。

3. 三基色原理

通常认为,太阳光由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫 7 种颜色组成,但如果细分,则太阳光的色调可高达 120 多种。那么这么多颜色,可否由某几种色彩混合而成呢?就人眼的视觉特性而言,这是可行的。在彩色电视中,比较恰当的是选用红、绿、蓝 3 种色光,按照不同比例,就可混出白光和其他各色光,这样,就有了色彩产生的基础——三基色原理。这一原理包括下列几方面含义:

- (1) 三种基色本身是相互独立的,其中任何一种不能由其他两种混合而得。

(2) 大自然中几乎所有彩色都可以由这三种基色按不同比例相混而成。三基色的比例决定了色调(颜色)。当三基色混合比例相同时, 色调也相同。

(3) 相混基色的多少决定了彩色光的亮度, 混色后彩色光的亮度等于各基色光的亮度之和。混色的方法有两种, 即相加混色和相减混色。在彩色电视技术中, 采用相加混色方法(空间混色), 选用红(R)、绿(G)、蓝(B)作为3种基色; 在印染、印刷、颜料等行业中, 采用相减混色方法, 选用黄、紫(品红)、青作为三基色。相加混色的三基色与相减混色的三基色互为补色, 是密切相关的。

三基色原理是彩色电视的理论基础, 实验表明, 将红、绿、蓝3种色光投射到一个白色的屏幕上, 调节它们的比例, 就可得到不同的相加混色效果(空间混色), 其结果可简单地用图1.5的3个圆图及近似公式来说明, 即

红光 + 绿光 = 黄光(黄为蓝的补色)

绿光 + 蓝光 = 青光(青为红的补色)

蓝光 + 红光 = 紫光(品红)(紫为绿的补色)

红光 + 绿光 + 蓝光 = 白光

如果进行混合的各种彩色的相对强度(比例)发生变化, 则会产生不同的新色调(颜色)。图1.6就以三角形定性表明了各色相混的大致情况。

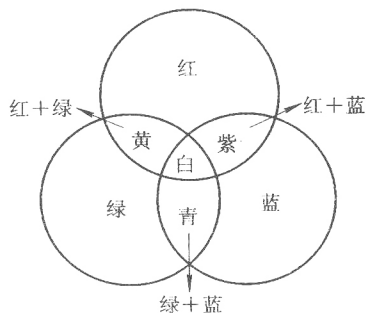


图 1.5 相加混色示意图

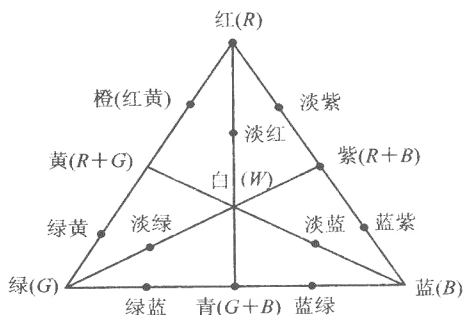


图 1.6 相加混色示意图

在相减混色中, 某物体的颜色是在白光中(白纸上或白布上)减去(滤去或被吸收)不需要的彩色而反射(留下)所需的彩色光。例如, 照射某衣物上的白光, 只有红色被反射时, 则人们看到的即为红色衣物。相减混色中的有关公式可简述为

黄色 = 白色 - 蓝色; 红色 = 白色 - 蓝色 - 绿色

紫色 = 白色 - 绿色; 绿色 = 白色 - 蓝色 - 红色

青色 = 白色 - 红色; 蓝色 = 白色 - 绿色 - 红色

黑色 = 白色 - 蓝色 - 绿色 - 红色 = 黄色 + 紫色 + 青色

4. 亮度方程(亮度公式)

根据人眼的视觉特性, 在彩色电视技术中, 用强度相同的红、绿、蓝3种基色光合成亮度为100%的白色光时, 各基色光对亮度的贡献是各不相同的, 其关系可用如下方程表示:

对于 NTSC 制, 有

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

对于 PAL 制, 有

$$Y = 0.222R + 0.707G + 0.071B$$

上述方程即称为亮度方程。

尽管我国彩电制式为 PAL 制, 但在进行有关计算时, 一般都采用 NTSC 制的亮度方程, 因为 NTSC 制使用较早。这样做虽然存在一些误差, 但在主要特性上仍能满足视觉对亮度的要求。

亮度方程表示了由三基色信号合成亮度信号的数量关系, 即在 1 lm 的白色光通量中, 三基色红、绿、蓝所辐射的光通量分别为 0.30 lm、0.59 lm、0.11 lm。当三基色电压各为 1 V 时, 则亮度信号 Y 为

$$Y = 0.30 \times 1 \text{ V} + 0.59 \times 1 \text{ V} + 0.11 \times 1 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

请注意, 相混后的亮度信号 Y 是 1 V, 而不是 3 V。可见 3 个等强度(幅度)的基色光对亮度的影响是各不相同的。其中绿色影响(贡献)最大, 为 59%; 红色次之, 为 30%; 蓝色最弱, 为 11%。这说明在亮度方面人眼对绿光最灵敏, 对蓝光最不灵敏。

5. 电视中的色彩构成原理

彩色电视机利用人眼的视觉特性, 把自然界的五颜六色重现在屏幕上。对人眼识别颜色的研究表明: 人的视觉对于单色的红、绿、蓝三种形式的色刺激具有相加的混合能力。人眼对于红、绿、蓝的相加混合可分为三种情况:

红、绿、蓝三色同时进入人眼, 并投射在视网膜上同一区域的色刺激, 称为光谱混合法(如 LCD 投影机)。

红、绿、蓝三色相继进入人眼, 并投射在视网膜上同一区域的色刺激, 称为时间混合法(如单片 DLP 色轮技术)。

红、绿、蓝三色以人眼不能分辨的“镶嵌”方式进入人眼的色刺激, 称为空间混合法(如 CRT、PDP、LCD 电视机)。

目前, 各种类型的彩色电视机, 都是利用三基色原理工作的。阴极射线管电视机、等离子体电视机, 选用红、绿、蓝三色荧光粉作为三基色, 利用荧光粉发出的三基色光进行混合; 液晶电视机(包括直视型和投影型)、LCD 投影机都是通过光学系统滤光分色, 分出红、绿、蓝三基色信号后经信号调制再相加混合而形成彩色图像。

目前各种不同成像的原理成像器件中, 有的成像器件重现还原的色域范围较小, 限制了在电视中的应用, 液晶面板就是其中的一种。为了提升液晶电视的彩色重显范围, 生产液晶面板的一些公司采用了不同的方法, 以改进和提高彩色的还原能力。如采用 4 色、5 色或 6 色滤色器面板, 以提高液晶电视的彩色重现范围。

随着数字化处理技术的发展, 近几年对显示器的色度处理方法也越来越多, 可以根据显示器内部电子装置的需要, 将信号从一种形式变换成另一种形式, 以便完成各种处理任务。通过对电路的设计, 可以单独对红、绿、蓝和它们对应的补色分别进行修正, 获得更明亮、更鲜艳的彩色, 以符合某些观众对颜色的喜好。

无论采用哪种彩色的补偿修正方法, 目前按常规色域播出的数字电视节目以红、绿、蓝作为彩色电视的三基色方法仍未改变。彩色电视系统中在前端摄像机采集景物图像的颜色, 演播室的节目制作和中间的节目传输都是采用红、绿、蓝三基色; 只是有些企业为渲