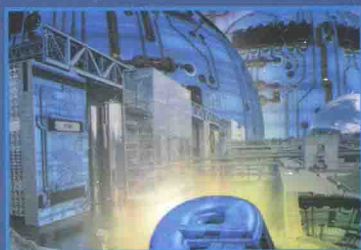


❖ 高等院校通信与信息专业规划教材 ❖

数字电视原理 学习指导及习题解答

STUDY GUIDE AND EXERCISE SOLUTIONS
FOR DIGITAL TELEVISION PRINCIPLES



卢官明 李欣 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校通信与信息专业规划教材

数字电视原理学习指导及习题解答

卢官明 李 欣 编著



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《数字电视原理》(第2版)的配套学习参考用书。全书按照主教材的章节进行编排,每章均由四个部分组成:第一部分为基本知识点,概括说明本章的主要概念、基本理论和分析方法;第二部分为基本要求,指出学生学习时应掌握的主要内容;第三部分为重点与难点梳理,指出学习本章内容时容易出现疑点和难点,帮助读者掌握重点,理解难点,系统深入地掌握教材内容;第四部分为习题及解答,在教材原有习题的基础上增加了一定数量的习题,并给出了习题的解答,以供师生参考。

全书概念清楚,通俗易懂,由浅入深,通过典型例题的剖析,帮助读者加深对“数字电视原理”课程所学知识的理解,熟练掌握数字电视系统的组成和基本工作原理,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等院校广播电视、电子信息和通信类专业的本科生教学参考用书,也可供从事相关领域的工程技术人员和技术管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理学习指导及习题解答/卢官明,李欣编著. —北京:机械工业出版社,2011.10

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-34368-4

I. ①数… II. ①卢…②李… III. ①数字电视-高等学校-教材
IV. ①TN949.197

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第160113号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨 版式设计:张世琴

责任校对:王欣 封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2011年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.5印张·354千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-34368-4

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

高等院校通信与信息专业教材

编委会名单

(按姓氏笔画排序)

编委会主任	乐光新	北京邮电大学
编委会副主任	王金龙	解放军理工大学
	刘 陈	南京邮电大学
	张文军	上海交通大学
	张思东	北京交通大学
	杨海平	解放军理工大学
	徐澄圻	南京邮电大学
	彭启琮	电子科技大学
	曾孝平	重庆大学
编委会委员	王成华	南京航空航天大学
	王建新	南京理工大学
	冯正和	清华大学
	卢官明	南京邮电大学
	刘富强	同济大学
	刘增基	西安电子科技大学
	余 翔	重庆邮电大学
	张邦宁	解放军理工大学
	张玲华	南京邮电大学
	李少洪	北京航空航天大学
	邹家禄	东南大学
	南利平	北京信息科技大学
	赵 力	南京邮电大学
	赵尔沅	北京邮电大学
	徐惠民	北京邮电大学
	舒 勤	四川大学
秘 书 长	胡毓坚	机械工业出版社
副 秘 书 长	许晔峰	解放军理工大学

出版说明

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才，为了配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设，机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校，组成阵容强大的编委会，组织长期从事教学的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的通信与信息专业系列教材，并且将陆续出版。

这套教材将力求做到：专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理，并注意与专业课教学的衔接；专业课教材覆盖面广、深度适中，不仅体现相关领域的最新进展，而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术日新月异地发展，我们将不断更新和补充选题，使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速，而且涉及领域非常宽，这套教材的选题和编审中难免有缺点和不足之处，诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见，以利于今后不断改进。

机械工业出版社
高等院校通信与信息专业规划教材编委会

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《数字电视原理》(第2版)的配套学习参考用书。全书按照主教材的章节进行编排,每章均由四个部分组成:第一部分为基本知识点,概括性地说明本章的主要概念、基本理论和分析方法;第二部分为基本要求,指出学生学习时应掌握的主要内容;第三部分为重点与难点梳理,指出学习本章内容时容易出现的疑点和难点,帮助读者掌握重点,理解难点,系统深入地掌握教材内容;第四部分为习题及解答,在教材原有习题的基础上增加了一定数量的习题,并给出了习题的解答,以供师生参考。

全书概念清楚,通俗易懂,由浅入深,通过典型例题的剖析,使读者能够加深对“数字电视原理”课程所学知识的理解,熟练掌握数字电视系统的组成和基本工作原理,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等院校广播电视、电子信息和通信类专业的本科生教学参考用书,也可供从事相关领域的工程技术人员和技术管理人员阅读参考。

在本教材的编著过程中,作者参考和引用了前人的一些研究成果、著作和论文,具体出处见参考文献。在此,作者向这些文献的著作者表示敬意和感谢!

鉴于作者水平所限,加之数字电视系统涉及面广,相关技术发展迅速,书中难免存在不妥之处,敬请同行专家和广大读者批评指正。

作 者

2010年11月

目 录

出版说明	
前言	
第1章 彩色电视基础知识	1
1.1 基本知识点	1
1.1.1 光的特性与光源	1
1.1.2 光的度量	2
1.1.3 色度学概要	2
1.1.4 人眼的视觉特性	4
1.1.5 电视图像的传送及基本参量	6
1.2 基本要求	7
1.3 重点与难点梳理	8
1.4 习题及解答	10
第2章 数字电视概论	14
2.1 基本知识点	14
2.1.1 数字电视和高清晰度电视的概念	14
2.1.2 数字电视的主要优点	15
2.1.3 数字电视系统的组成	15
2.1.4 数字电视系统的关键技术	16
2.1.5 国外数字电视及其标准化状况	18
2.1.6 中国数字电视及其发展状况	19
2.2 基本要求	20
2.3 重点与难点梳理	20
2.4 习题及解答	26
第3章 电视信号的数字化	33
3.1 基本知识点	33
3.1.1 信号的数字化	33
3.1.2 音频信号的数字化	34
3.1.3 视频信号的数字化	35
3.1.4 数字电视演播室视频信号接口	37
3.1.5 常见数字摄录像机的信号格式	37
3.2 基本要求	37
3.3 重点与难点梳理	38
3.4 习题及解答	42
第4章 信源编码原理	47
4.1 基本知识点	47
4.1.1 数字音频编码的基本原理	47
4.1.2 数字视频编码概述	50
4.1.3 熵编码	51
4.1.4 预测编码	52
4.1.5 变换编码	54
4.2 基本要求	54
4.3 重点与难点梳理	54
4.3.1 数据压缩的基本概念	54
4.3.2 算术编码	55
4.3.3 预测编码	59
4.3.4 变换编码	60
4.4 习题及解答	61
第5章 信源编码标准	69
5.1 基本知识点	69
5.1.1 数字音视频编码标准概述	69
5.1.2 MPEG-1 音频编码标准	71
5.1.3 杜比 AC-3 音频编码算法	72
5.1.4 MPEG-2 音频编码标准	74
5.1.5 MPEG-1 和 MPEG-2 视频编码标准	75
5.1.6 MPEG-4 视频编码标准	79
5.1.7 H. 264/AVC 视频编码标准	81
5.1.8 AVS 视频编码标准	82
5.2 基本要求	83
5.3 重点与难点梳理	84
5.3.1 可分级视频编码	84
5.3.2 视频容错编码和差错掩盖技术	87
5.4 习题及解答	93
第6章 数字电视中的码流复用及业务信息	103
6.1 基本知识点	103
6.1.1 MPEG-2 码流复用	103
6.1.2 数字电视业务信息的类型	103
6.1.3 业务信息表的结构	107
6.2 基本要求	107
6.3 重点与难点梳理	107
6.3.1 节目流	107
6.3.2 传输流	109

6.3.3 节目复用、系统复用与解复用	112	8.3.4 我国有线数字电视传输标准的 主要内容	154
6.4 习题及解答	113	8.3.5 数字电视传输系统的净荷数据 传输速率	155
第7章 信道编码及调制技术	117	8.4 习题及解答	158
7.1 基本知识点	117	第9章 数字电视机顶盒与条件接收 系统	164
7.1.1 常用术语	117	9.1 基本知识点	164
7.1.2 信道编码技术	119	9.1.1 数字电视机顶盒	164
7.1.3 调制技术	123	9.1.2 条件接收系统的组成及工作 原理	166
7.2 基本要求	125	9.1.3 同密和多密模式	168
7.3 重点与难点梳理	126	9.2 基本要求	171
7.3.1 卷积码编码器的结构和工作 原理	126	9.3 重点与难点梳理	171
7.3.2 单载波调制与多载波调制	127	9.3.1 数字电视机顶盒的组成及工作 原理	171
7.3.3 正交频分复用	128	9.3.2 数字电视条件接收系统	174
7.4 习题及解答	132	9.4 习题及解答	178
第8章 数字电视传输标准	140	第10章 显示设备及接口	183
8.1 基本知识点	140	10.1 基本知识点	183
8.1.1 DVB 传输系统概述	140	10.1.1 显示器的种类	183
8.1.2 DVB-S 传输标准	141	10.1.2 显示器的主要性能指标	183
8.1.3 DVB-S2 传输标准	142	10.1.3 数字电视设备接口	189
8.1.4 DVB-C 传输标准	144	10.2 基本要求	190
8.1.5 DVB-T 传输标准	145	10.3 重点与难点梳理	190
8.1.6 DVB-H 传输标准	145	10.3.1 TFT-LCD 显示屏的结构及显示 原理	190
8.1.7 中国地面数字电视广播传输 标准	147	10.3.2 PDP 显示器灰度级和彩色显示 方法及驱动技术	194
8.1.8 几种地面数字电视传输系统的 比较	150	10.4 习题及解答	197
8.2 基本要求	151	附录 缩略语英汉对照	213
8.3 重点与难点梳理	151	参考文献	222
8.3.1 DVB 传输系统	152		
8.3.2 美国 ATSC 地面数字电视传输 标准	152		
8.3.3 日本 ISDB-T 地面数字电视传输 标准	154		

第 1 章 彩色电视基础知识

1.1 基本知识点

1.1.1 光的特性与光源

1. 光的特性

光是一种电磁波，它具有波粒二象性——波动特性和微粒特性。人眼能看见的可见光谱只集中在 $(3.85 \sim 7.89) \times 10^{14}$ Hz 的频段内，其波长范围在 380 ~ 780nm 之间。此范围内的不同波长的光作用于人眼后引起的颜色感觉不同，按波长从长到短的顺序依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。

2. 标准白光源与色温

(1) 色温和相关色温

为了说明各种白光因光谱成分不同而存在的光色差异，通常采用与绝对黑体的辐射温度有关的“色温”来表征各种光源的具体光色。

所谓绝对黑体（也称完全辐射体），是指既不反射也不透射而完全吸收入射光的物体，它对所有波长的光的吸收系数均为 1。

当某一光源的相对辐射功率波谱及相应颜色与绝对黑体在某一特定热力学温度下的辐射功率波谱及颜色一致时，绝对黑体的这一特定热力学温度就是该光源的色温。色温的单位是开[尔文](K)。

若某光源的相对辐射功率波谱及相应光色只能与某一温度下绝对黑体的辐射功率波谱及相应光色相近，无论怎样调整绝对黑体的温度都不能使两者精确等效，则使两者相近的绝对黑体的温度称为该光源的相关色温。

相关色温与色温相比，只是表征光源相对辐射功率波谱、光色的精确度稍差而已。

(2) 标准照明体和标准光源

照明体是指入射在物体上的一个特定的相对光谱功率分布，而光源则是指发光的物体。为规范照明体的光谱特性，国际照明委员会（CIE）定义了以下的标准照明体：

标准照明体 A：绝对黑体在绝对温度为 2856K 时发出的光。

标准照明体 C：相关色温约为 6774K 的平均昼光，又称 C_白。

标准照明体 D₆₅：相关色温约为 6504K 的平均昼光。

标准照明体 D₅₅：相关色温约为 5503K 的昼光。

标准照明体 D₇₅：相关色温约为 7504K 的昼光。

为实现上述的标准照明体，CIE 又规定了以下相应的标准光源：

标准光源 A：分布温度为 2856K 的透明玻壳充气钨丝灯。

标准光源 C：分布温度为 6774K 的光源，它可由标准光源 A 和特制的滤光器组合实现。

对实现标准照明体 D_{65} 、标准照明体 D_{55} 和标准照明体 D_{75} 的人工光源，CIE 尚未做规定。

1.1.2 光的度量

1. 光通量和发光强度

在光度学中，光通量 (Φ_v) 定义为能够被人的视觉系统感受到的那部分辐射功率的大小的度量，单位是流 [明] (lm)。光通量的物理表达式为

$$\Phi_v = K \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1-1)$$

式中， $V(\lambda)$ 是明视觉光谱光视效率函数； $\Phi_e(\lambda)$ 是光源的辐射功率波谱； K 是一个转换常数，过去也曾称为光功当量，现在称为最大光谱效能，它的数值是一个国际协议值，规定 $K = 683 \text{ lm/W}$ ，即表示在人眼视觉系统最敏感的波长 (555nm) 上，辐射功率为 1W 相对应的光通量，有时称这个数为 1 光瓦。

一个光源，例如一个电灯泡，在它发光的时候，可以向四面八方照射，但它向各个方向所发出的光通量可能是不一样的，于是定义发光强度来描述在某指定方向上发出光通量的能力。发光强度的单位是坎 [德拉] (cd)。

2. 照度和亮度

当有一定数量的光通量到达一个接收面上时，我们说这个面被照明了，被照明的程度可以用照度来描述。照度的单位是勒 [克斯] (lx)，其定义为：1lx 等于 1lm 的光通量均匀地分布在 1m^2 面积上的光照度，即 $1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$ 。光照度常用 E_v 表示。

亮度表示单位面积上的发光强度，其单位是坎 [德拉] 每平方米 (cd/m^2)。

1.1.3 色度学概要

1. 光的颜色与彩色三要素

光的颜色取决于客观与主观两方面的因素。客观因素是它的功率波谱分布，光源的颜色直接取决于它的辐射功率波谱 $\Phi(\lambda)$ ，而彩色物体的颜色不仅取决于它的反射特性 $\rho(\lambda)$ 和透射特性 $\tau(\lambda)$ ，而且还与照射光源的功率波谱 $\Phi(\lambda)$ 有密切关系。主观因素是人眼的视觉特性，不同的人对于同一 $\Phi(\lambda)$ 的光的颜色感觉可能是不相同的。

在色度学中，任一彩色光可用亮度、色调和色饱和度这三个基本参量来表示，称为彩色三要素。

亮度是光作用于人眼时所引起的明亮程度的感觉。

色调是指颜色的类别，通常所说的红色、绿色、蓝色等，就是指色调。色调与光的波长有关，改变光的波谱成分，就会使光的色调发生变化。

饱和度是指彩色光所呈现色彩的深浅程度 (或浓度)。

色调与色饱和度合称为色度，它既说明彩色光的颜色类别，又说明颜色的深浅程度。

非彩色只有亮度的差别，而没有色调和饱和度这两种特性。

2. 三基色原理及应用

三基色原理是指自然界中常见的大部分彩色都可由三种相互独立的基色按不同的比例混合得到。三基色原理包括如下内容：

1) 选择三种相互独立的颜色基色,即不能以其中两种混合而得到的第三种颜色作为基色,将这三基色按不同比例进行组合,可获得自然界各种彩色感觉。如彩色电视技术中选用红(R)、绿(G)和蓝(B)作为基色,印染技术中选用黄(Y)、品红(M)、青(C)作为基色。

2) 任意两种非基色的彩色相混合也可以得到一种新的彩色,但它应该等于把两种彩色各自分解为三基色,然后将基色分量分别相加后再相混合而得到。

3) 三基色的大小决定了彩色光的亮度,混合色的亮度等于各基色分量亮度之和。

4) 三基色的比例决定了混合色的色调,当三基色混合比例相同时,色调相同。

利用三基色原理,将彩色分解和重现,最终实现在视觉上的各种不同彩色,是彩色图像显示和表达的基本方法。相加混色和相减混色是两种基本的颜色合成方法。

(1) 相加混色

相加混色不仅运用三基色原理,还进一步利用人眼的视觉特性,产生较相减混色更宽的彩色范围。常用的相加混色方法有以下三种:

- 时间混色法:将三基色按一定比例轮流投射到同一屏幕上。由于人眼的视觉惰性,只要交替速度足够快,产生的彩色视觉与三基色直接相混时一样。这是时序制彩色电视图像显示的基础。
- 空间混色法:将三基色同时投射到彼此距离很近的点上,利用人眼分辨力有限的特性而产生混色,或者使用空间坐标相同的三基色光同时投射产生合成光。这是彩色电视图像和计算机图像显示器的显示基础。
- 生理混色法:利用两只眼睛分别观看两个不同颜色的同一景象,也能获得混色效果。

(2) 相减混色

相减混色利用了滤光特性,即在白光中减去不需要的彩色,留下所需要的颜色,如印染、颜料等都是采用相减混色。

三基色原理是彩色电视的基础,人眼的彩色感觉和彩色光的光谱成分有密切关系,但不是决定性的,只要引起的彩色感觉相同,都可以认为颜色是相同的,而与它们的光谱成分无关。因此,在彩色视觉重现的过程中,并不一定要求重现原景象的光谱成分,而是应获得与原景象相同的彩色感觉。对于千变万化的彩色景象,无需按其光谱成分及强度的真实分布情况来传送,只要传送其中能合成它们的三种基色就可以完全等效,并能获得与原景象相同的彩色视觉。利用三基色原理就可以大大简化彩色电视信号的传输。

3. 配色方程与亮度公式

假定三个基色采用 NTSC 制显像三基色,则配出光通量为 1lm (流明) 的 $C_{\text{白}}$ 光时,需要红基色光 0.299lm,绿基色光 0.587lm,蓝基色光 0.114lm。若规定红、绿、蓝三个基色单位为 $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$,它们分别代表 0.299lm 红基色光、0.587lm 绿基色光、0.114lm 蓝基色光,则 1lm 的 $C_{\text{白}}$ 光可表示为

$$F_{\text{IC}} = 1[R] + 1[G] + 1[B] \quad (1-2)$$

对于任意给定的彩色光 F ,可表示为

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

上式称为配色方程, R 、 G 、 B 分别为红、绿、蓝基色单位数,称为色系数。三基色单

位数（三系数）的比例关系决定了所配彩色光的色度（三者相等时为 $C_{\text{白}}$ 光）；而它们的数值则决定了所配彩色光的光通量。根据三基色单位所代表的光通量，彩色光 F 的光通量可表示为

$$F = 0.299R + 0.587G + 0.114B \tag{1-4}$$

在色度学中，通常把由配色方程式配出的彩色光 F 的亮度用光通量来表示，即

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \tag{1-5}$$

这就是常用的亮度公式。

1.1.4 人眼的视觉特性

1. 视觉光谱光视效率曲线

为了确定人眼对不同波长光的敏感程度，可在相同亮度感觉的情况下，测出各种波长光的辐射功率 $\Phi_v(\lambda)$ 。显然， $\Phi_v(\lambda)$ 越大，说明该波长的光越不容易被人眼所感觉； $\Phi_v(\lambda)$ 越小，则人眼对该波长的光越敏感。因此， $\Phi_v(\lambda)$ 的倒数可用来衡量视觉对波长为 λ 的光的敏感程度，称为光谱光视效能，用 $K(\lambda)$ 表示。

实验表明，对 $\lambda = 555\text{nm}$ 的黄绿光，有最大的光谱光视效能 $K_m = K(555)$ 。于是，把任意波长光的光谱光视效能 $K(\lambda)$ 与 K_m 之比称为光谱光视效率，并用函数 $V(\lambda)$ 表示为

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K(555)} = \frac{K(\lambda)}{K_m} \tag{1-6}$$

如果用得到相同主观亮度感觉时所需各波长光的辐射功率 $\Phi_v(\lambda)$ 表示，则有

$$V(\lambda) = \frac{\Phi_v(555)}{\Phi_v(\lambda)} \tag{1-7}$$

图 1-1 给出了明视觉与暗视觉的光谱光视效率 $V(\lambda)$ 曲线。这两条曲线也称为相对视敏度（或光谱灵敏度）曲线。

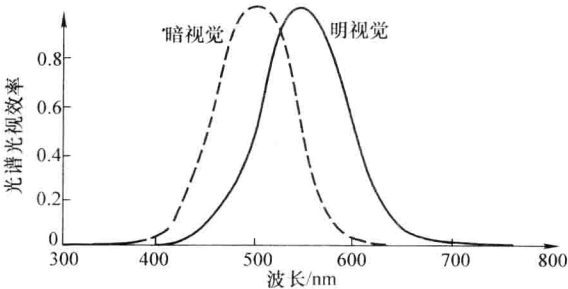


图 1-1 明视觉与暗视觉的光谱光视效率曲线

2. 人眼的亮度感觉特性

人眼在观察景物时所得到的亮度感觉却并不直接由景物的亮度所决定，而是还与周围环境的背景亮度有关。

由于人眼的感光作用可以随外界光的强弱而自动调节，所以，人眼的视觉范围极宽，从千分之几直到几百万坎〔德拉〕每平方米（ cd/m^2 ）。但人眼不能同时感受这么宽的亮度范围，当人眼适应了某一环境的平均亮度之后，所能感觉的亮度范围将变小。

在不同的亮度环境下，人眼对于同一实际亮度所产生的相对亮度感觉是不相同的。例如对同一电灯，在白天和黑夜它对人眼产生的相对亮度感觉是不相同的。

人眼的这种视觉特性具有很重要的实际意义。只要重现图像与原景象对人眼主观感觉具有相同的对比度和亮度层次，就能给人以真实的感觉。正因为如此，电影和电视中的景物实际上并不反映实景亮度，却能给人以真实的亮度感觉。

3. 人眼的分辨力与视觉惰性

(1) 人眼的分辨力

人眼的分辨力是指人在观看景物时人眼对景物细节的分辨能力。

人眼对被观察物体上刚能分辨的最紧邻两黑点或两白点的视角 θ 的倒数称为人眼的分辨力或视觉锐度。在图 1-2 中， L 表示人眼与图像之间的距离， d 表示能分辨的最紧邻两黑点之间的距离， θ 表示人眼对该两点的视角（也称分辨角）。若 θ 以分为单位，则根据图示几何关系，得到

$$\frac{d}{2\pi L} = \frac{\theta}{360 \times 60}$$

或

$$\theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{L} = 3438 \frac{d}{L} \quad (1-8)$$

人眼的分辨力（视觉锐度）等于 $1/\theta$ 。另外，人眼的分辨力还与照明强度、被观察物体的运动速度、景物的相对对比度等因素有关。

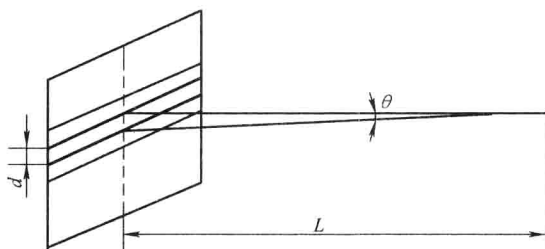


图 1-2 人眼的分辨力

实验表明，人眼对彩色细节的分辨力要低于对黑白细节的分辨力。由于人眼对彩色细节的分辨力低，所以在彩色电视系统传输彩色图像时，对于图像的细节，可只传输黑白的亮度信号，而不传输彩色信息。这就是所谓的彩色电视大面积着色原理。利用这个原理可以节省传输频带。

(2) 视觉惰性与临界闪烁频率

人眼亮度感觉变化滞后于实际亮度变化，以及视觉暂留特性，总称为视觉惰性。电视中利用人眼的视觉惰性和荧光粉的余辉作用以及电子束高速反复运动，使屏幕上原本不连续的光亮，产生整个屏幕同时发光的效果。

当人眼受周期性的光脉冲照射时，如果光脉冲频率不高，则会产生一明一暗的闪烁感觉。如果将光脉冲频率提高到某一定值以上，由于视觉惰性，眼睛便感觉不到闪烁，感到是一种均匀的连续的光刺激。刚好不引起闪烁感觉的最低频率，称为临界闪烁频率，它主要与光脉冲的亮度有关。

1.1.5 电视图像的传送及基本参量

1. 图像分解与顺序传送

为了传输一幅图像，通常的办法是将整个画面分解成许多小的单元，这些组成图像的基本单元称为像素。

图像的顺序传送就是在发送端把被传送图像上各像素的亮度、色度按一定顺序逐一地转变为相应的电信号，并依次经过一个通道传送；在接收端再按相同的顺序将各像素的电信号在电视机屏幕相应位置上转变为不同亮度、色度的光点。只要这种顺序传送的速度足够快，那么由于人眼的视觉惰性和发光材料的余辉特性，就会感到整幅图像在同时发光。这种按顺序传送图像像素的电视系统，称为顺序传送制。

2. 电视扫描方式

电视扫描分为隔行扫描和逐行扫描两种方式。

(1) 隔行扫描

隔行扫描是将一帧电视图像分成两场进行交错扫描。第一场对图像的 1、3、5、7……奇数行扫描，称为奇数场；第二场对图像的 2、4、6、8……偶数行扫描，称为偶数场。奇、偶两场光栅均匀相嵌，构成一帧完整的画面。经过两场扫描可完成一幅图像的全部像素。

隔行扫描的关键是要使两场光栅均匀相嵌，否则屏幕上扫描光栅不均匀，甚至产生并行现象，就会严重影响图像清晰度。

(2) 逐行扫描

电子束从屏幕左上端开始，按照从左到右、从上到下的顺序以匀速一行接一行地扫描，一次连续扫描完成一帧电视画面的方式称为逐行扫描。

3. 电视图像的基本参量

(1) 宽高比（幅型比）

生理和心理测试表明，图像宽高比达 16:9 以上的宽幅图像利于建立视觉临场感。为此，高清晰度电视的图像宽高比确定为 16:9，而原来的模拟电视图像宽高比为 4:3。这样就形成了 4:3 和 16:9 两种图像宽高比电视节目和显示器件（屏）并存的局面。

(2) 亮度

亮度是表征发光物体的明亮程度的物理量，是人眼对发光器件的主观感受。在电视机或显示器中，亮度用于表征图像亮暗的程度，是指在正常显示图像质量的条件下，重显大面积明亮图像的能力。亮度的单位是 cd/m^2 。

对于电视机或显示器的亮度，因对电视机调整状态和测试信号不同，表征屏幕亮度的参数指标也不同，主要有以下 4 种：有用峰值亮度、有用平均亮度、最大峰值亮度、最大平均亮度。

在我国的有关标准中，对于平板电视机只规定它的有用平均亮度值。对于 CRT（Cathode Ray Tube，阴极射线管）电视机，有用平均亮度和有用峰值亮度、最大峰值亮度和最大平均亮度的值都不一样，因此在 CRT 电视机的有关标准中，对 4 种亮度都规定了相应的参数值。但对于正常观看电视图像节目而言，只有有用平均亮度才有实际意义。

(3) 对比度

对比度是表征在一定的环境光照射下，物体最亮部分的亮度与最暗部分的亮度之比。电

视机或显示器的对比度（ C ）是指在同一幅图像中，显示图像最亮部分的亮度（ $B_{\max}$ ）和最暗部分的亮度（ $B_{\min}$ ）之比，即 $C = B_{\max}/B_{\min}$ 。当计及环境亮度 B_{ϕ} 时的对比度为

$$C = \frac{B_{\max} + B_{\phi}}{B_{\min} + B_{\phi}} \quad (1-9)$$

（4）图像分辨力

对数字电视系统而言，图像分辨力指的是相关标准规定的整个数字电视系统生成、处理、传输和重现图像细节的能力。对各种摄像和显像器件（屏）而言，CRT 常用中心节距（两个相邻的相同色点间的距离）表示，CCD（Charge Coupled Device，电荷耦合器件）、LCD（Liquid Crystal Display，液晶显示器）、PDP（Plasma Display Panel，等离子体显示器）、LCoS（Liquid Crystal on Silicon，硅基液晶）和 OLED（Organic Light Emitting Display，有机发光显示器）等固有分辨力摄像或显像器件，用水平和垂直方向的有效像素数（即组成一幅图像的像素点阵数）衡量。对信号处理和传输，图像分辨力通常反映为被处理图像信号的格式，通常用水平和垂直方向的有效像素数表示，与信号处理能力和信道带宽相联系。

数字电视图像分辨力是数字电视系统、图像信号源、信号处理过程或显示器件（屏）等客观上转换、处理、传输或重现图像细节的能力，是数字电视系统、设备或器件的物理性能指标。我国的 SDTV（Standard Definition Television，标准清晰度电视）和 HDTV（High Definition Television，高清晰度电视）的图像分辨力分别为 720×576 像素和 1920×1080 像素。

（5）图像清晰度

电视图像清晰度是人眼能察觉到的电视图像细节的清晰程度，是数字电视接收机和数字电视显示器的重要质量指标。按图像和视觉的特点，图像清晰度一般可从水平和垂直两个方向描述，有时还会增加斜向清晰度指标。图像清晰度用“电视线”作单位。

图像清晰度既与电视系统本身的图像分辨力有关，也与观察者的视力状况有关。在评价图像清晰度时，应由一批视力正常的观众或专家来进行。

4. 图像显示格式及扫描方式表示方法

数字电视画面的图像显示格式一般是指图像水平方向和垂直方向的有效像素数。有效像素是电视图像行和场扫描正程期间的像素。图像显示格式描述了组成一幅图像的像素点阵数。

在图像显示格式及扫描方式的表示方法上，目前国际上并没有统一，因此在各种文献中可以见到不同的表示法。例如，1080/60i 表示有效扫描行数为 1080 行，场频为 60Hz 的隔行扫描；720/60p 表示有效扫描行数为 720 行，帧频为 60Hz 的逐行扫描。有时还会用 @ 代替 /，如 1080@ 50i、720@ 60p 等。还有用总扫描行数代替有效扫描行数的，如 1125/60i、750/60p 等。

1.2 基本要求

- 掌握光的特性与度量的基本知识，包括色温和相关色温的概念、常用的标准白光源，以及光通量、发光强度、照度、亮度等主要光度学参量。
- 掌握彩色三要素、三基色原理及混色方法等色度学知识。

- 掌握人眼视觉特性的知识，包括亮度感觉特性以及人眼的分辨力与视觉惰性。
- 掌握电视扫描与同步原理，以及宽高比（幅型比）、亮度、对比度、图像分辨力、图像清晰度等电视图像基本参量的概念。
- 了解图像的显示格式及扫描方式的表示方法。

1.3 重点与难点梳理

1. 绝对黑体、色温、相关色温的概念

为了说明各种白光因光谱成分不同而存在的光色差异，通常采用与绝对黑体的辐射温度有关的“色温”来表征各种光源的具体光色。

所谓绝对黑体（也称完全辐射体），是指既不反射也不透射而完全吸收入射光的物体，它对所有波长的光的吸收系数均为 1。严格上讲，自然界并不存在绝对黑体，其实验模型是一个中空的、内壁涂黑的球体，在上面有一个极小的小孔，进入小孔的光辐射经过球内壁多次反射、吸收后，已不能从小孔出去，这个小孔就相当于绝对黑体。

当绝对黑体被加热到一定的温度时，便开始发出带不同颜色的白光，随着温度的升高，其偏色大致按暗红、橘红、浅黄、纯白、浅蓝、亮蓝的顺序变化着。其光谱功率分布仅与温度有关。

当某一光源的相对辐射功率波谱及发光颜色与绝对黑体在某一特定温度下的辐射功率波谱及发光颜色相一致时，则绝对黑体的这一特定温度就是该光源的色温。色温的单位是开[尔文]（K）。例如，一个钨丝灯泡的温度保持在 2800K 时所发出的白光，与温度保持为 2854K 的绝对黑体所辐射的白光颜色相一致，于是就称该白光的色温为 2854K。显然，光源的色温并非光源本身的实际温度，而是与光源的相对辐射功率波谱、光色相同的绝对黑体的温度，是用来表征光源相对辐射功率波谱与光色的参量。

当某光源的相对辐射功率波谱及相应光色只能与某一温度下绝对黑体的辐射功率波谱及相应光色相近，无论怎样调整绝对黑体的温度都不能使两者精确等效时，则使两者相近的绝对黑体的温度称为该光源的相关色温。

相关色温与色温相比，只是表征光源相对辐射功率波谱、光色的精确度稍差而已。

2. 三基色原理及其在彩色电视中应用

在自然界中呈现的万紫千红的颜色，是人眼所感觉的颜色。在人眼的视觉理论研究中，眼睛视网膜的中心部分布满了锥体视觉细胞，这些细胞既有区别亮度的能力，又有区别颜色的能力。对人眼识别颜色的研究表明：人的视觉对于单色的红、绿、蓝三种颜色的刺激具有相加的混合能力，例如，用适当比例的红光和绿光相加混合后，可产生与单色黄相同的彩色视觉效果；同样，用适当比例的红光和蓝光相加混合后，可产生与单色紫（品红）相同的彩色视觉效果；用适当比例的蓝光和绿光相加混合后，可产生与单色青相同的彩色视觉效果。自然界中所有的颜色都可以近似地用红、绿、蓝这三种颜色以适当的比例相加混合而成。

目前的彩色电视系统实际上都是根据三基色原理实现彩色重现的。首先由彩色摄像机将景物的色光按一定的比例分成红、绿、蓝三路，分别经光电转换得到三个电信号，分别称为红色电信号、绿色电信号和蓝色电信号。它们经过适当的处理与传输，最后通过重现设备转

换成原比例的三种基色光，混配出与景物有相同感觉的彩色光。

彩色电视机从 20 世纪初到现在，经过几十年的研究和发展，从摄像、传输到显示技术都是利用红、绿、蓝三基色原理把自然界中的五颜六色的景物显示到电视机屏幕上，以供观众欣赏的。就目前而言，在世界范围内，无论是模拟彩色电视机还是数字电视接收机，无论是扫描型阴极射线管电视机还是固有分辨力电视机（例如液晶电视机、等离子体电视机），无论是直视型电视机还是投影型电视机，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，是选用红、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而成的；液晶电视机（包括直视型和投影型）、LCoS 投影机则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的。

3. 图像分辨力、图像分辨率和图像清晰度的区别

分辨力和分辨率都来源于英文“resolution”，它是表征图像细节的能力的物理量。只是由于翻译上的不同以及使用在不同的领域，才出现分辨力和分辨率两个不同的术语。在电视领域，包括现在的数字电视领域，一般都称为分辨力；而在计算机界则把它称为分辨率。

图像分辨力是数字电视系统、图像信号源、信号处理过程或显示器件（屏）等客观上转换、处理、传输或重现图像细节的能力，是数字电视系统、设备或器件的物理性能指标。

对数字电视系统而言，图像分辨力指的是相关标准规定的整个数字电视系统生成、处理、传输和重现图像细节的能力。

对图像信号而言，图像分辨力常称为信源分辨力，它主要体现了信源分解图像和提供图像细节信息的能力。信源的图像分辨力可用图像格式表示，通常用水平和垂直方向的有效像素数表示，如 $720 \times 576p$ 、 $1920 \times 1080i$ 等。

对信号处理和传输而言，图像分辨力通常反映为被处理图像信号的格式，通常用水平和垂直方向的有效像素数表示，与信号处理能力和信道带宽相联系。

对各种摄像和显像器件（屏）而言，阴极射线管（CRT）常用中心节距（相邻两相同色点间的距离）表示，电荷耦合器件（CCD）、液晶显示器（LCD）、等离子体显示器（PDP）、数字光学处理器（DLP）、硅基液晶显示器件（LCoS）和有机发光二极管显示器（OLED）等固有分辨力摄像或显像器件，用水平和垂直方向的像素数（即组成一幅图像的像素点阵数）表示，如 640×480 像素、 1280×768 像素等。

图像清晰度是指人眼能察觉到的电视图像细节的清晰程度，是数字电视接收机和数字电视显示器的重要质量指标。按图像和视觉的特点，图像清晰度一般从水平和垂直两个方向描述，有时还增加斜向清晰度指标。图像清晰度用“电视线”作单位。

图像清晰度与图像分辨力既有密切联系又有很大区别。图像分辨力（分辨率）与人眼的主观观察无关，能够用客观的手段进行测量；而图像清晰度既与电视系统本身的图像分辨力有关，也与人眼的主观观察有关，往往带有一定的主观性，随着人们的年龄、性别、经验等的不同，观察结果也会有所不同。另外，对于同一分辨力的图像，在数字电视演播室和在一般显示终端看到的图像清晰度可能相差很远。即使显示器件（屏）固有分辨力足够高，但由于工作状态不佳，图像清晰度很可能达不到信源提供的与该显示器（屏）固有分辨力相当的图像清晰度。