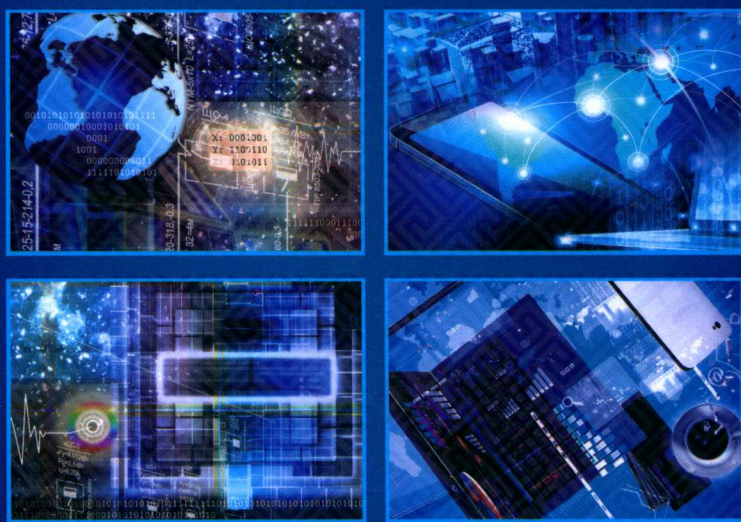


高等院校通信与信息专业规划教材
“十三五”普通高等教育规划教材

数字视频技术

DIGITAL VIDEO TECHNOLOGY



卢官明 秦雷 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

 教学资源下载网址
<http://www.cmpedu.com>



高等院校通信与信息专业规划教材
“十三五”普通高等教育规划教材

数字视频技术

卢官明 秦 雷 编著



机械工业出版社

本书从数字视频处理的基本理论出发,以“视频信号数字化→压缩编码→数字传输→显示重现”为主线,系统地介绍了数字视频基础知识、视频信号的数字化、数字视频编码原理、数字视频编码标准、数字视频传输技术、数字视频传输系统、视频显示器及接口等内容。为适合教学需要,各章末尾均配有小结和习题,以指导读者加深对本书主要内容的理解。

本书内容丰富,层次分明,注重理论与实际应用相结合。在加强基本概念、基本原理的同时,着重讲述了最新的技术成果,反映了本学科的发展前沿和趋势。

本书可作为高等院校数字媒体技术、广播电视工程、电子信息工程、通信工程和计算机应用等相关专业的教材,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。

本书配套授课用电子课件等教学资源,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 6142415, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

数字视频技术/卢官明,秦雷编著. —北京:机械工业出版社,2017.6

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-56958-9

I. ①数… II. ①卢… ②秦… III. ①数字视频系统-高等学校-教材
IV. ①TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 116932 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李馨馨 责任校对:张艳霞

责任印制:常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2017 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.25 印张·441 千字

0001-2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-56958-9

定价:49.80 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

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

眼睛是人类最重要的感觉器官，人类从外界获取的各种信息中80%以上是通过视觉获得的。视频是指使用摄像机等视觉传感器采集获取的动态影像，如电影、电视。视频技术泛指将自然景象以电信号的方式加以捕捉、记录、处理、存储、传输与重现的各种技术。在计算机网络上传输的视频信息已不再是一个连续的随时间变化的模拟电信号，而是一个由离散数字“0”和“1”编码的比特流，即数字视频码流。计算机互联网和视听娱乐的普及，大大促进了数字视频技术的应用和发展。

本书从数字视频处理的基本理论出发，以“视频信号数字化→压缩编码→数字传输→显示重现”为主线，系统地介绍了数字视频基础知识、视频信号的数字化、数字视频的压缩编码原理和相关标准、数字视频传输技术和典型的传输系统、视频显示器及接口等内容，充分吸收相关领域的新理论、新技术、新标准和新成果，注重理论与实际应用相结合。为适应教学需要，各章末尾均配有小结和习题，以指导读者加深对本书主要内容的理解。本书可作为高等院校数字媒体技术、广播电视工程、电子信息工程、通信工程和计算机应用等相关专业的教材，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。

本书的编写得到江苏高校品牌专业建设工程项目、南京邮电大学“十三五”重点规划教材的立项资助。在编写过程中，作者参考和引用了一些学者的研究成果、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。

限于作者的学识和水平，加之数字视频技术涉及面广，相关技术发展迅速，书中难免存在疏漏之处，敬请同行专家和广大读者批评指正。

作 者
2017年2月

目 录

前言

第 1 章 数字视频基础知识	1
1.1 光的特性与光源	1
1.1.1 光的特性	1
1.1.2 标准白光源与色温	2
1.2 光的度量	3
1.2.1 光通量和发光强度	3
1.2.2 照度和亮度	4
1.3 色度学概要	5
1.3.1 光的颜色与彩色三要素	5
1.3.2 三基色原理及应用	6
1.3.3 配色方程与亮度公式	9
1.4 人眼的视觉特性	10
1.4.1 视觉光谱光视效率曲线	10
1.4.2 人眼的亮度感觉特性	11
1.4.3 人眼的分辨力与视觉惰性	13
1.5 电视图像的传送及基本参量	15
1.5.1 图像分解与顺序传送	15
1.5.2 电视扫描方式	16
1.5.3 电视图像的基本参量	18
1.5.4 图像显示格式及扫描方式表示方法	20
1.6 彩色电视制式	21
1.6.1 彩色电视与黑白电视兼容的基本措施	23
1.6.2 NTSC 制	26
1.6.3 PAL 制	27
1.6.4 SECAM 制	28
1.7 标准彩条信号	29
1.8 小结	30
1.9 习题	31
第 2 章 视频信号的数字化	32
2.1 信号的数字化	32
2.1.1 采样	32
2.1.2 量化	33

2.1.3 编码	35
2.2 视频信号的数字化	35
2.2.1 电视信号分量数字编码参数的确定	36
2.2.2 ITU-R BT.601 建议	39
2.2.3 ITU-R BT.709 建议	40
2.2.4 ITU-R BT.2020 建议	42
2.2.5 我国数字电视节目制作及交换用视频参数	43
2.3 数字电视演播室视频信号接口	46
2.3.1 ITU-R BT.656 建议	46
2.3.2 ITU-R BT.1120 建议	51
2.4 小结	59
2.5 习题	60
第3章 数字视频编码原理	61
3.1 数字视频编码概述	61
3.1.1 数字视频压缩的必要性和可能性	61
3.1.2 数字视频编码技术的进展	63
3.2 熵编码	65
3.2.1 哈夫曼编码	67
3.2.2 算术编码	68
3.2.3 游程编码	74
3.3 预测编码	74
3.3.1 帧内预测编码	75
3.3.2 帧间预测编码	76
3.4 变换编码	80
3.4.1 变换编码的基本原理	80
3.4.2 基于 DCT 的图像编码	80
3.5 小结	86
3.6 习题	87
第4章 数字视频编码标准	88
4.1 数字视频编码标准概述	88
4.1.1 H.26x 系列标准	89
4.1.2 MPEG-x 系列标准	91
4.1.3 AVS 和 AVS+ 标准	94
4.2 H.264/AVC 视频编码标准	96
4.2.1 H.264/AVC 视频编码器的分层结构	96
4.2.2 H.264/AVC 中的预测编码	97
4.2.3 整数变换与量化	102
4.2.4 基于上下文的自适应熵编码	105
4.2.5 H.264/AVC 中的 SI/SP 帧	107

4.2.6	H.264/AVC 的其余特征	110
4.2.7	H.264/AVC 的类和 FRExt 增加的关键算法	114
4.3	H.265/HEVC 视频编码标准	116
4.3.1	H.265/HEVC 视频编码原理	116
4.3.2	基于四叉树结构的编码单元划分	117
4.3.3	帧内预测	121
4.3.4	帧间预测	123
4.3.5	变换与量化	126
4.3.6	环路滤波	127
4.3.7	上下文自适应的熵编码	129
4.3.8	并行化处理	130
4.3.9	HEVC 的语法和语义	131
4.3.10	HEVC 的类、级和层	132
4.4	AVS 与 AVS+ 视频编码标准	132
4.4.1	AVS1-P2	133
4.4.2	AVS1-P2 与 H.264 的比较	140
4.4.3	AVS+ 标准	141
4.5	小结	143
4.6	习题	144
第5章	数字视频传输技术	145
5.1	常用术语	145
5.2	信道编码技术	151
5.2.1	差错控制的基本原理和信道编码的分类	151
5.2.2	BCH 码	152
5.2.3	RS 码	156
5.2.4	卷积码和维特比译码	159
5.2.5	分组交织和卷积交织	165
5.2.6	串行级联码	168
5.2.7	低密度奇偶校验码	169
5.3	调制技术	172
5.3.1	数字调制的作用及调制方式	172
5.3.2	QPSK 调制	173
5.3.3	QAM 调制及其变形	174
5.3.4	OFDM 和 C-OFDM 技术	177
5.4	流式传输技术	182
5.4.1	流式传输技术概述	182
5.4.2	流式传输工作原理	183
5.4.3	流式传输协议	185
5.5	小结	188

5.6 习题	189
第6章 数字视频传输系统	190
6.1 DVB 传输系统概述	190
6.2 卫星数字电视传输系统	194
6.2.1 DVB-S 传输系统	194
6.2.2 DVB-S2 传输系统	198
6.2.3 ABS-S 传输系统	202
6.3 有线数字电视传输系统	203
6.3.1 DVB-C 传输系统	203
6.3.2 DVB-C2 传输系统	206
6.4 DVB-T 和 DVB-T2 传输系统	208
6.4.1 DVB-T 传输系统	208
6.4.2 DVB-T2 传输系统	212
6.5 DTMB 传输系统	219
6.5.1 DTMB 系统组成及关键技术	219
6.5.2 技术特点	229
6.6 DTMB-A 传输系统	230
6.6.1 DTMB-A 传输系统概述	230
6.6.2 DTMB-A 传输系统的关键技术	231
6.6.3 DTMB-A 与 DVB-T2 传输系统的比较	235
6.7 IPTV 系统	236
6.7.1 IPTV 系统概述	236
6.7.2 IPTV 系统结构及关键技术	236
6.8 小结	243
6.9 习题	244
第7章 视频显示器及接口	245
7.1 显示技术概述	245
7.1.1 显示器的分类	245
7.1.2 直视型显示器的发展	247
7.2 液晶显示器	248
7.2.1 液晶的物理特性	248
7.2.2 液晶显示器的发展	249
7.2.3 TN-LCD 的基本结构	250
7.2.4 TN-LCD 的工作原理	252
7.2.5 LCD 的驱动技术	253
7.2.6 LCD 的优缺点	257
7.3 有机发光显示器	257
7.3.1 OLED 概述	257
7.3.2 OLED 的发展简史	258

7.3.3 OLED 显示原理	259
7.3.4 OLED 的技术特点及面临的挑战	260
7.3.5 柔性 OLED	262
7.4 三维立体显示	262
7.4.1 立体视觉的感知机理	262
7.4.2 三维立体显示技术的种类	264
7.4.3 3D 显示的性能指标	268
7.5 数字视频接口	270
7.5.1 DVI	270
7.5.2 HDMI	272
7.6 小结	274
7.7 习题	275
附录 缩略语英汉对照	276
参考文献	282

第 1 章 数字视频基础知识

视频是指使用摄像机等视觉传感器采集获取的动态影像，如电影、电视。视频技术泛指将自然景象以电信号的方式加以捕捉、记录、处理、存储、传输与重现的各种技术。视频技术最早用于电视系统的开发，它与光、人眼的视觉特性以及色度学有着密切的关系。本章首先介绍光的特性与度量、色度学和人眼视觉特性的有关知识，然后讲述电视扫描方式、电视图像的基本参量、彩色电视制式、标准彩条信号等内容，因为它们是学习数字视频技术的基础。

本章学习目标：

- 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 NTSC、PAL 和 SECAM 三种兼容制彩色电视制式。

1.1 光的特性与光源

1.1.1 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。电磁波包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和宇宙射线等，它们分别占据的频率范围如图 1-1 所示。其中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 ~ 780 nm 之间。不同波长的光作用于人眼后引起的颜色感觉各不相同，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、紫色。

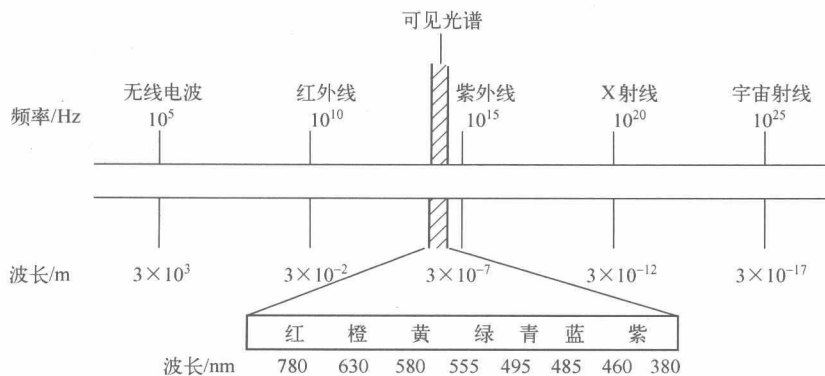


图 1-1 电磁辐射波谱

1.1.2 标准白光源与色温

通常所说的物体颜色，是指该物体在太阳白光照射下，因反射（或透射）了可见光谱中的不同光谱成分而吸收其余部分，从而引起人眼的不同彩色感觉。因此，为了逼真地传送彩色，在电视技术中，常以白色光作为标准光源。

1. 色温和相关色温

在近代照明技术中，统称为“白光”的光谱成分的分布并不相同。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。严格来说，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，在其上面开了一个极小的小孔，进入小孔的光辐射经内壁多次反射、吸收，已不能再逸出外面，这个小孔就相当于绝对黑体。

当绝对黑体被加热时，将辐射出连续光谱，而且其光谱功率分布仅由温度决定，而与环境照度无关。绝对黑体在不同温度下有不同的辐射功率波谱，如图1-2所示。由图可见，随着温度的升高，不仅能量增大，亮度增加，同时能量沿波长的分布发生变化，发光颜色也随之变化。在白光范围内，随着温度的升高，光的颜色由偏红变成偏蓝，即由“热白光”变成“冷白光”。

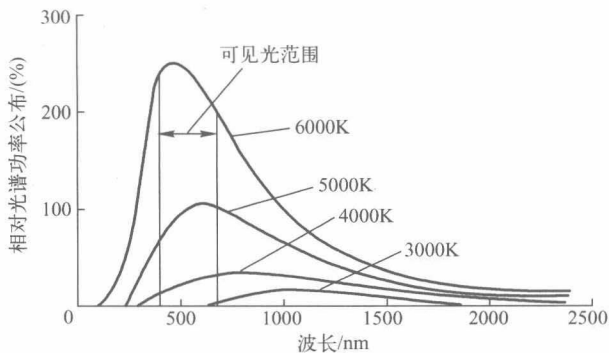


图1-2 绝对黑体在不同温度下的相对光谱功率分布

为了区分各种光源的不同光谱功率分布与颜色，可以用绝对黑体的温度来表征。将绝对黑体在不同温度下的辐射功率波谱作为标准，与各种光源的相对辐射功率波谱进行比较。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相一致时，则绝对黑体的这一特定热力学温度就是该光源的色温。由于绝对黑体的这一特定温度与颜色有关，故名色温。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。

当光源的相对光谱功率分布与绝对黑体的相对光谱功率分布相同或最接近时，绝对黑体的绝对温度称为分布温度。分布温度的单位为K，它也可用来定义光源的色温。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。

有了色温和相关色温的概念，表示光源的特性将非常方便。

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（Commission International de l'Éclairage, 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 2856 K 时发出的光。

标准照明体 C：相关色温约为 6774 K 的平均昼光，又称 $C_{\text{白}}$ 。

标准照明体 D_{65} ：相关色温约为 6504 K 的平均昼光。

标准照明体 D_{55} ：相关色温约为 5503 K 的昼光。

标准照明体 D_{75} ：相关色温约为 7504 K 的昼光。

为实现上述的标准照明体，CIE 又规定了相应的标准光源。

标准光源 A：分布温度为 2856 K 的透明玻壳充气钨丝灯。由于其光谱功率分布在红外区域较大，所以钨丝灯光看起来不如太阳光白，而总是带些橙红色。

标准光源 C：分布温度为 6774 K 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。

另外，在色度学的计算中还应用着一种假想的等能白光 ($E_{\text{白}}$)，当光谱范围内的所有波长的光都具有相同的辐射功率时所形成的白光即为 $E_{\text{白}}$ ，它的相关色温为 5500 K。这种光源实际上并不存在，但采用它可简化色度学的计算。

1.2 光的度量

光度学是 1760 年由朗伯建立的，它定义了光通量、发光强度、照度、亮度等主要光度学参量，并用数学方法阐明了它们之间的关系和光度学的几个重要定律，实践已证明这些定律是正确的。

1.2.1 光通量和发光强度

光通量这个术语在光辐射领域是常用的。光源辐射通量就是指其辐射功率，而光源对某面积的辐射通量是指单位时间内通过该面积的辐射能量；光源总的辐射功率（或总辐射通量）是指单位时间内通过包含光源的任一球面的辐射能量。通量与功率的意义是相同的，其单位是瓦 (W) 或焦 [耳] /秒 (J/s)。

通常光源发出的光是由各种波长组成的，每种波长都具有各自的辐射通量。光源总的辐射通量应该是各个波长辐射通量之和。

由于在相同的亮度环境条件下，辐射功率相同、波长不同的光所引起的亮度感觉不同；

辐射功率不同、波长也不相同的光可能引起相同的亮度感觉。为了按人眼的光感觉去度量辐射功率，特引入光通量的概念。

在光度学中，光通量（Luminous Flux）明确地定义为能够被人的视觉系统所感受到的那部分辐射功率的大小的度量，单位是流[明]（lm）。

因此，只要用到光通量这个术语，首先想到它把看不见的红外线和紫外线排除在外了，而且在数量上也并不等于看得见的那部分光辐射功率值。那么，光通量的大小是怎样度量的呢？按照国际上最新的概念，它表示用标准眼来评价的光辐射通量，可用下式表示：

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

式中， $V(\lambda)$ 是明视觉光谱光视效率函数（见1.4.1节），人眼的视觉特性，就是从这里开始被引入到对光的定量评价中来的； $\Phi_e(\lambda)$ 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（555 nm）上，辐射功率为1 W相对应的光通量，有时称这个数为1光瓦。

因为人眼只对380~780 nm的波长成分有光感觉，因此式中的积分限与此二数值相对应。由此可见，光通量的大小反映了一个光源所发出的光辐射能量所引起的人眼光亮感觉的能力。

一个40 W的钨丝灯泡所能输出的光通量为468 lm，一个40 W荧光灯可以输出的光通量为2100 lm。通常用每瓦流明(lm/W)数来表示一个光源或一个显示器的发光效率，如钨丝灯泡的发光效率为11.7 lm/W；荧光灯的发光效率为52.5 lm/W；用于电视照明的金属卤化物灯，发光效率可达80~100 lm/W。目前许多国家都在努力研制新型人工光源，并已取得不少成果，不仅提高了发光效率，而且延长了光源的使用寿命。

对于一个光源，可以说这个光源发出的光通量是多少；对于一个接收面，可以说它接收到的光通量有多少；对于一束光，可以说这束光传播的光通量是多少。从时间上讲，光通量可以是变化的，也可以是恒定的；从空间上来分析，可以导出光度学中其他几个常用的量。

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（Luminous Intensity）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）。1979年第十六届国际计量大会决定：坎德拉是一光源在指定方向上的发光强度，该光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单体辐射，而且在此方向上的辐射强度为 $1/683 \text{ W} \cdot \text{Sr}^{-1}$ （瓦[特]每球面度）。

1.2.2 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，照明程度的大小可以用照度（Illuminance）来描述。照度是物体单位面积上所得到的光通量，其单位是勒[克斯]（lx）。1 lx等于1 lm的光通量均匀地分布在 1 m^2 面积上的光照度，即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。

下面举几个实际生活中的照度值。

教室中的标准照明是指在课桌面上的照度不低于50 lx；白天无阳光直射自然景物上的照度为 $(1 \sim 2) \times 10^4 \text{ lx}$ ；晴天室内的照度为100~1000 lx；阴天自然景物上的照度约为 10^3 lx ；阴天室内的照度为5~50 lx；夜间满月下为 10^{-1} lx 。

— 发光强度只描述了光源在某一方向上的发光能力，并未涉及光源的面积，采用单位面积

上的发光强度更能反映各种光源的“优劣”，这就要用到亮度这个概念。

亮度 (Luminance) 是一个表示发光面发光强弱的物理量，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)。

1.3 色度学概要

彩色电视是在黑白电视与色度学的基础上发展起来的。色度学是研究彩色计量的科学，它定性和定量地研究人眼的颜色视觉规律、颜色测量理论与技术。色度学是研究彩色电视的重要理论基础，正确运用色度学原理，就可以用比较简单而有效的技术手段实现高质量的彩色电视，使传送的图像更加逼真。

1.3.1 光的颜色与彩色三要素

光的种类繁多，下面仅从颜色、频率成分和发光方式等方面将其分类。

- 按颜色可分为彩色光和非彩色光。非彩色光包括白色光、各种深浅不一样的灰色光和黑色光。
- 按频率成分可分为单色光和复合光。单色光是指只含单一波长成分的光或者所占光谱宽度小于 5 nm 的光；包含有两种或两种以上波长成分的光称为复合光。
- 按频率和颜色综合考虑可分为谱色光和非谱色光。谱色光主要是指波长在 $780 \sim 380\text{ nm}$ 之间，颜色按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫顺序排列的各种光；把两个或者两个以上的单色光混合所得，但又不能作为谱色出现在光谱上的色光称为非谱色光。白光为非谱色光。

单色光一定是谱色光，非谱色光一定是复合光，而复合光也可能是谱色光。例如，红单色光和绿单色光合成的复合光为黄色，它属于谱色光。

- 按发光方式可分为直射光、反射光和透射光。发光体 (光源) 直接发出的光称为直射光；物体对光源发出的光，能够进行反射所形成的光称为反射光；能进行透射所形成的光称为透射光。若设光源的功率波谱为 $\Phi(\lambda)$ ，物体反射或透射特性分别为 $\rho(\lambda)$ 和 $\tau(\lambda)$ ，则直射光、反射光和透射光的功率波谱将分别为 $\Phi(\lambda)$ 、 $\Phi(\lambda)\rho(\lambda)$ 和 $\Phi(\lambda)\tau(\lambda)$ 。

无论是什么光，它的颜色都是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。因此，在色度学和彩色电视中，对标准光源的辐射功率波谱，必须做出明确而严格的规定。

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。例如，对于用红砖建造的房子，视觉正常的人看是红色，而有红色盲的人看是土黄色。

在色度学中，任一彩色光都可用亮度 (Lightness，也称为明度)、色调 (Hue) 和饱和度 (Saturation) 这三个基本参量来表示，称为彩色三要素。

1. 亮度 (明度)

亮度也称明度或明亮度，是光作用于人眼时所引起的明亮程度的感觉，用于表示颜色明

暗的程度。一般来说,彩色光的光功率大则感觉亮,反之则暗。就非发光物体而言,其亮度取决于由其反射(或透射)的光功率的大小。若照射物体的光功率为定值,则物体反射(或透射)系数越大,物体越明亮,反之,则越暗。对同一物体来说,照射光越强(即光功率越大),越明亮,反之则越暗。

亮度是非彩色的属性,用于描述亮还是暗,彩色图像中的亮度对应于黑白图像中的灰度。

2. 色调

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。色调是决定色彩本质的基本参量,是色彩的重要属性之一,彩色物体的色调由物体本身的属性——吸收特性和反射(或透射)特性所决定。但是,当人们观看物体色彩时,还与照明光源的特性——光谱分布有关。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。例如在日光照射下的蓝布因反射蓝光而吸收其他成分而呈现蓝色,而在绿光照射下的蓝布则因无反射光而呈现黑色。对于透光物体(例如玻璃),其色调由透射光的波长所决定。例如红玻璃被白光照射后,吸收了白光中大部分光谱成分,而只透射过红光分量,于是人眼感觉到这块玻璃是红色的。

3. 饱和度(彩度)

饱和度是指彩色光所呈现色彩的深浅程度,也称为彩度。对于同一色调的彩色光,其饱和度越高,说明它的颜色越深,如深红、深绿等;饱和度越低,则说明它呈现的颜色越浅,如浅红、浅绿等。高饱和度的彩色光可以通过掺入白光而被冲淡,变成低饱和度的彩色光。各种单色光饱和度最高,单色光中掺入的白光越多,饱和度越低。当白光占绝大部分时,饱和度接近于零,白光的饱和度等于零。物体色调的饱和度取决于该物体表面反射光谱辐射的选择性程度,物体对光谱某一较窄波段的反射率很高,而对其他波长的反射率很低或不反射,则表明它有很高的光谱选择性,物体这一颜色的饱和度就高。

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。色度再加上亮度,就能对颜色做完整的说明。

非彩色只有亮度的差别,而没有色调和饱和度这两种特性。

1.3.2 三基色原理及应用

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,它既有区别亮度的能力,又有区别颜色的能力。因此人们能看到自然界中的五颜六色,例如雨后的彩虹,黄、青、绿、紫、红、蓝的颜色给人以美的感觉。

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。所谓独立,是指其中任何一种基色都不能由另外两种基色混合得到。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,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。

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的颜色。

3) 三基色的大小决定彩色光的亮度,混合色的亮度等于各基色分量亮度之和。

4) 三基色的比例决定混合色的色调,当三基色混合比例相同时,色调相同。

按照1931年国际照明委员会所做统一规定,选水银光谱中波长为700 nm的红光为红基色光;波长为546.1 nm的绿光为绿基色光;波长为435.8 nm的蓝光为蓝基色光。常分别用R、G、B表示。当红、绿、蓝三束光比例合适时,就可以合成出自然界中常见的大多数彩色。

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。

不同颜色混合在一起,能产生新的颜色,这种方法称为混色法。混色分为相加混色和相减混色。

1. 相加混色

相加混色是各分色的光谱成分相加,混色所得彩色光的亮度等于三种基色的亮度之和。彩色电视系统就是利用红、绿、蓝三种基色以适当的比例混合产生各种不同的彩色。经过对人眼识别颜色的研究发现: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,例如:用适当比例的红光和绿光相加混合后,可产生与黄色光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,可产生与品红色光(或称紫色光,严格地说,品红色与色谱中的紫色不同)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,可产生与青色光相同的彩色视觉效果。自然界中所有的颜色都可以用红、绿、蓝这三种颜色以适当的比例相加混合而成。相加混色的结果如图1-3所示。

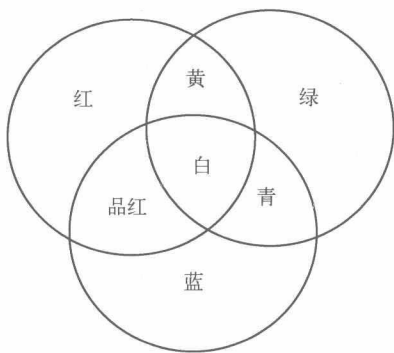


图1-3 相加混色的结果

用等式表示为

红色 + 绿色 = 黄色 绿色 + 蓝色 = 青色 红色 + 蓝色 = 品红色

蓝色 + 黄色 = 白色 红色 + 青色 = 白色 绿色 + 品红色 = 白色

红色 + 绿色 + 蓝色 = 白色

因为“蓝色 + 黄色 = 白色”,所以在色度学中称蓝色为黄色的补色,黄色为蓝色的补色。同样,红色和青色互为补色,绿色和紫色互为补色。也就是说三基色的红、绿、蓝相对应的补色分别是青色、品红色、黄色。在彩色电视中,常用的彩条信号,即黄色、青色、绿色、品红色、红色、蓝色彩条,就是由红、绿、蓝三基色和它们对应的补色组成的。

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紧要。例如,单色青光可以由绿色与蓝色组合而成,尽管它们的光谱成分不同,但人眼的彩色感觉却是相同的。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,而重要的是应获得与原景象相同的彩色感觉。千变万化的彩色景象,无须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。

实现相加混色的方法通常有以下4种。

(1) 时间混色法

时间混色法将三种基色光按一定的时间顺序轮流投射到同一平面上，只要轮换速度足够快，由于人眼的视觉惰性，分辨不出三种基色，而只能看到混合彩色的效果。如单片 DLP (Digital Light Processing, 数字光处理) 色轮技术就利用了时间混色法。

(2) 空间混色法

空间混色法是将三种基色光分别投射到同一表面的相邻三点上，只要三点相隔足够近，由于人眼的分辨力有限，故看到的不是三种基色光而是它们的混色光。空间混色法是同时制彩色电视的基础，CRT (Cathode Ray Tube, 阴极射线管)、PDP (Plasma Display Panel, 等离子体显示器)、LCD (Liquid Crystal Display, 液晶显示器) 的显像就是利用的空间混色法。

(3) 生理混色法

当两只眼睛同时分别观看不同的颜色 (例如，左眼观看红光，右眼观看绿光) 时，人们所感觉到的彩色不是两种单色，而是它们的混合色。立体彩色电视的显像方法就是利用的这种生理混色法。

(4) 全反射法

全反射法是将三种基色光以不同比例同时投射到一块全反射的平面上。由此构成了投影彩电。例如，多媒体教室中的前投彩电、家电中的背投彩电的显像就是利用这种显像方法。

利用空间和时间混色效应，就可以对彩色图像进行空间和时间上的分割，将其分解为像素，采用顺序扫描的方式，来处理 and 传送彩色电视信号。

彩色电视从 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，供观众欣赏。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，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；LCD 电视机 (包括直视型和投影型)、LCoS (Liquid Crystal on Silicon, 硅基液晶) 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。

但是，目前又出现了多种不同成像原理的成像器件，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现范围，生产液晶面板的一些公司研究不同的方法，改进和提高彩色的还原能力。采用四色、五色或六色滤色器面板，以提高液晶电视的彩色重现范围。对单片 DLP 投影机，为了增加亮度和彩色鲜艳度，将过去的 R、G、B 三段色轮改造成 R、G、B、C (青)、Y (黄)、M (品红) 六段色轮，并在驱动和显示电路上，实现单独的对 R、G、B、C、Y、M 进行补偿，以提高投影机的亮度和彩色鲜艳度，同时也可以根据用户的需要进行修正。

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，将一些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。例如，首先将这些信号实时地、一个像素一个像素地变换成亮度和色度坐标，以这种形式对其进行独立处理，最后变换成电子信号，传送给显示设备进行显示。这样做的最大优点