



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材 (编号2014-1-085)

高等院校通信与信息专业规划教材

数字电视原理

第3版

DIGITAL TELEVISION PRINCIPLES



卢官明 宗昉 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书赠送电子课件



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



“十二五”江苏省高等学校重点教材(编号:2014-1-085)

高等院校通信与信息专业规划教材

数字电视原理

第3版

卢官明 宗 昉 编著



机械工业出版社

本书系统全面地介绍了数字电视的基础理论、系统组成、关键技术。全书共 10 章, 主要介绍了彩色电视基础知识、数字电视信号的产生、数字音/视频压缩编码的基本原理及相关标准、数字电视中的码流复用及业务信息、信道编码及调制技术、数字电视传输标准、数字电视机顶盒与条件接收系统的组成及工作原理, 以及各种显示器和接口的工作原理、发展现状。

本书注重选材, 内容丰富, 层次分明。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广播电视、电子信息和通信类专业的本科生教材, 也可供相关专业的工程技术人员和技术管理人员阅读。

本书提供电子课件, 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: 241151483, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电视原理/卢官明, 宗昉编著. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2016.3

高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-53191-3

I. ①数… II. ①卢…②宗… 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 (2016) 第 045466 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

责任校对: 刘怡丹 责任印制: 李 洋

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2016 年 4 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·23.75 印张·588 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-53191-3

定价: 55.00 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

高等院校通信与信息专业规划教材编委会名单

(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的发展，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

本书的第2版于2009年1月第1次印刷。由于数字电视技术发展迅速,新的应用系统和标准不断涌现,作者根据最近几年的教学和科研实践,对第2版的内容进行了更新和补充,以适应新的形势和教学要求。

第3版教材在继承第2版教材的系统性与完整性的基础上,保留了第2版教材中的大部分内容,删除了一些陈旧的内容,增补了不少新的内容。如在第3章中删除了“常见数字摄/录像机的信号格式”,增补了AES/EBU (AES3) 接口标准;在第4章中修改了有关算术编码的内容,以便于读者更容易理解;在第5章中删除了MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 视频编码标准,以及MPEG-1、杜比AC-3 音频编码算法,增补了H.265/HEVC、AVS+ 视频编码标准、MPEG-4 AAC、DRA 多声道数字音频编解码标准以及新一代环绕多声道音频编码格式;在第7章中修改了有关LDPC 的内容;在第8章中删除了DVB-H、DVB-T 的部分内容,增补了DVB-C2、DVB-T2、ABS-S 以及DTMB-A 等传输标准;在第9章中修改了有关数字电视机顶盒的内容;在第10章中删除了“CRT 显示器”“等离子体显示器”“场致发射显示器”“投影式显示器”等内容,修改了有关LCD、OLED 的内容,增补了有关三维立体显示、HDMI 2.0 规范等方面的内容。此外,在章节的安排上也作了适当的调整,使得层次结构更加分明。

本书共10章,比较系统地介绍了数字电视技术的基本理论,知识体系完整、结构合理,各章内容既相互独立,又兼顾其内在关联及系统性。在对不同专业或不同层次的教学进行安排时,教师可根据学生已有的知识基础和专业方向等情况,有针对性地选择其中的部分内容。对于不作为重点的教学内容,如果学生感兴趣,也可以自学。

本书的编写得到江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修计划项目以及江苏高校品牌专业建设工程项目资助。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!

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。

为配合本书教学,机械工业出版社为读者提供了一系列与本书配套的教学资源,读者可在www.cmpedu.com上免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 241151483, 电话: 010-88379753)。

作 者

2015年10月

目 录

出版说明

前言

第1章 彩色电视基础知识	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	14
1.5.1 图像分解与顺序传送	14
1.5.2 电视扫描方式	15
1.5.3 电视图像的基本参量	17
1.5.4 图像显示格式及扫描方式表示方法	19
1.6 标准彩条信号	21
1.7 小结	22
1.8 习题	23
第2章 数字电视概论	24
2.1 数字电视和高清晰度电视的概念	24
2.2 数字电视的主要优点	25
2.3 数字电视系统的组成	26
2.4 数字电视系统的关键技术	28
2.4.1 数字电视的信源编解码	28
2.4.2 数字电视的传送复用	28
2.4.3 信道编解码及调制解调	28
2.4.4 数字电视中间件	29
2.4.5 条件接收	30
2.4.6 高清晰度大屏幕显示技术	30

2.5 国外数字电视及其标准化状况	30
2.5.1 美国的 ATSC 标准	31
2.5.2 欧洲的 DVB 标准	32
2.5.3 日本的 ISDB 标准	34
2.6 中国数字电视地面广播传输标准	34
2.7 小结	35
2.8 习题	35
第3章 电视信号的数字化	36
3.1 信号的数字化	36
3.1.1 采样	36
3.1.2 量化	37
3.1.3 编码	39
3.2 音频信号的数字化	39
3.2.1 数字音频信号源参数	39
3.2.2 AES/EBU (AES3) 接口标准	41
3.3 视频信号的数字化	43
3.3.1 电视信号分量数字编码参数的确定	44
3.3.2 ITU-R BT. 601 建议	47
3.3.3 我国数字电视节目制作及交换用视频参数	49
3.4 数字电视演播室视频信号接口	51
3.4.1 标准清晰度数字电视演播室视频信号接口	51
3.4.2 高清晰度数字电视演播室视频信号接口	57
3.5 小结	65
3.6 习题	65
第4章 信源编码原理	66
4.1 数字音频编码的基本原理	66
4.1.1 数字音频压缩的必要性和可能性	66
4.1.2 人耳的听觉感知特性	68
4.1.3 音频感知编码原理	74
4.2 数字视频编码概述	76
4.2.1 数字视频压缩的必要性和可能性	76
4.2.2 数字视频编码技术的进展	77
4.3 熵编码	79
4.3.1 哈夫曼编码	81
4.3.2 算术编码	83
4.3.3 游程编码	88
4.4 预测编码	89
4.4.1 帧内预测编码	89
4.4.2 帧间预测编码	90
4.5 变换编码	95
4.5.1 变换编码的基本原理	95

4.5.2 基于 DCT 的图像编码	95
4.6 小结	101
4.7 习题	102
第 5 章 信源编码标准	103
5.1 数字音视频编码标准概述	103
5.1.1 H.26X 系列标准	104
5.1.2 MPEG-x 系列标准	106
5.1.3 AVS 和 AVS+ 标准	109
5.1.4 DRA 多声道数字音频编解码标准	111
5.2 高级音频编码 (AAC) 算法	112
5.2.1 MPEG-2 AAC 编码算法	112
5.2.2 MPEG-4 AAC 编码算法	114
5.3 DRA 多声道数字音频编解码标准	116
5.3.1 术语和定义	116
5.3.2 DRA 多声道数字音频编码算法	117
5.3.3 DRA 多声道数字音频编码的关键技术	118
5.3.4 DRA 多声道数字音频解码算法	119
5.3.5 技术特点	119
5.4 新一代环绕多声道音频编码格式	120
5.4.1 Dolby Digital Plus (DD+)	120
5.4.2 Dolby TrueHD	121
5.4.3 DTS-HD	122
5.5 H.264/AVC 视频编码标准	124
5.5.1 H.264/AVC 视频编码器的分层结构	124
5.5.2 H.264/AVC 中的预测编码	125
5.5.3 整数变换与量化	130
5.5.4 基于上下文的自适应熵编码	134
5.5.5 H.264/AVC 中的 SI/SP 帧	135
5.5.6 H.264/AVC 的其余特征	138
5.5.7 H.264/AVC 的类和 FRExt 增加的关键算法	142
5.6 H.265/HEVC 视频编码标准	144
5.6.1 H.265/HEVC 视频编码原理	144
5.6.2 基于四叉树结构的编码单元划分	145
5.6.3 帧内预测	148
5.6.4 帧间预测	150
5.6.5 变换与量化	154
5.6.6 环路滤波	154
5.6.7 上下文自适应的熵编码	156
5.6.8 并行化处理	157
5.6.9 HEVC 的语法和语义	158
5.6.10 HEVC 的类、级和层	158
5.7 AVS 与 AVS+ 视频编码标准	159

5.7.1	AVSI-P2	160
5.7.2	AVSI-P2 与 H.264 的比较	167
5.7.3	AVS+ 标准	168
5.8	小结	170
5.9	习题	171
第6章	数字电视中的码流复用及业务信息	172
6.1	MPEG-2 码流复用	172
6.1.1	PES 包的组成及其功能	174
6.1.2	PS 包的组成及其功能	176
6.1.3	TS 包的组成及其功能	176
6.2	数字电视业务信息的类型	181
6.2.1	数字电视广播业务传送模式	181
6.2.2	节目特定信息	182
6.2.3	其他业务信息	185
6.3	业务信息表的结构	188
6.3.1	业务信息表的通用规定	188
6.3.2	段到传送流 TS 包的映射	190
6.3.3	描述符	190
6.4	业务信息表的定义	192
6.4.1	节目关联表	192
6.4.2	节目映射表	194
6.4.3	条件接收表	197
6.4.4	网络信息表	198
6.4.5	业务描述表	201
6.4.6	事件信息表	202
6.4.7	时间和日期表	204
6.4.8	时间偏移表	205
6.5	业务信息在数据广播中的应用	206
6.6	小结	206
6.7	习题	207
第7章	信道编码及调制技术	208
7.1	常用术语	208
7.2	信道编码技术	214
7.2.1	差错控制的基本原理和信道编码的分类	214
7.2.2	BCH 码	215
7.2.3	RS 码	219
7.2.4	卷积码和维特比译码	222
7.2.5	分组交织和卷积交织	228
7.2.6	串行级联码	231
7.2.7	低密度奇偶校验码	232
7.3	调制技术	235

7.3.1	数字调制的作用及调制方式	235
7.3.2	QPSK 调制	236
7.3.3	QAM 调制及其变型	237
7.3.4	残留边带及 8-VSB 调制	240
7.3.5	OFDM 和 C-OFDM 技术	241
7.4	小结	246
7.5	习题	246
第 8 章	数字电视传输标准	248
8.1	DVB 传输系统概述	248
8.2	卫星数字电视传输标准	252
8.2.1	DVB-S 传输标准	252
8.2.2	DVB-S2 传输标准	256
8.2.3	ABS-S 标准简介	260
8.3	有线数字电视传输标准	261
8.3.1	DVB-C 传输标准	261
8.3.2	DVB-C2 传输标准	264
8.4	DVB-T 和 DVB-T2 传输标准	267
8.4.1	DVB-T 传输标准	267
8.4.2	DVB-T2 传输标准	271
8.5	DTMB 标准	277
8.5.1	DTMB 系统组成及关键技术	278
8.5.2	技术特点	287
8.6	DTMB-A 标准	288
8.6.1	DTMB-A 传输系统概述	289
8.6.2	DTMB-A 传输系统的关键技术	289
8.6.3	DTMB-A 与 DVB-T2 传输系统的比较	293
8.7	小结	294
8.8	习题	295
第 9 章	数字电视机顶盒与条件接收系统	296
9.1	数字电视机顶盒	296
9.1.1	数字电视机顶盒的发展	296
9.1.2	数字电视机顶盒的分类	297
9.1.3	数字电视机顶盒的组成	297
9.1.4	数字电视机顶盒的关键技术	300
9.1.5	电子节目指南	302
9.2	条件接收系统的组成及工作原理	304
9.2.1	用户管理系统和节目信息管理系统	305
9.2.2	加扰、解扰和控制字	305
9.2.3	控制字加密与传输控制	307
9.2.4	加密算法	309
9.2.5	用户端的解密与解扰	313

9.2.6 智能卡	314
9.3 MPEG-2 以及 DVB 标准中有关 CA 的规定	315
9.3.1 MPEG-2 中与 CA 有关的规定	315
9.3.2 DVB 中与 CA 有关的规定	316
9.4 同密和多密模式	318
9.4.1 同密模式	318
9.4.2 多密模式与机卡分离	320
9.4.3 同密与多密模式的比较	322
9.5 小结	322
9.6 习题	323
第 10 章 显示器及接口	324
10.1 显示技术概述	324
10.1.1 显示器的分类	324
10.1.2 直视型显示器的发展	326
10.2 液晶显示器	327
10.2.1 液晶的物理特性	327
10.2.2 LCD 的发展	328
10.2.3 TN-LCD 的基本结构	329
10.2.4 LCD 的工作原理	331
10.2.5 LCD 的驱动技术	332
10.2.6 LCD 的优缺点	335
10.3 有机发光显示器	336
10.3.1 OLED 概述	336
10.3.2 OLED 的发展简史	337
10.3.3 OLED 显示原理	338
10.3.4 OLED 的技术特点及面临的挑战	339
10.3.5 柔性 OLED	340
10.4 三维立体显示	341
10.4.1 立体视觉的感知机理	341
10.4.2 三维立体显示技术的种类	343
10.4.3 3D 显示的性能指标	346
10.5 数字电视设备接口	348
10.5.1 模拟信号接口	348
10.5.2 数字视频接口	350
10.5.3 高清晰度多媒体接口	352
10.6 小结	354
10.7 习题	354
附录 缩略语英汉对照	356
参考文献	367

第 1 章 彩色电视基础知识

彩色电视系统是利用光/电和电/光转换原理实现景物传送的，并且电视图像最终是给人看的，因此，彩色电视技术与光、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，因为它们是学习电视传像技术的基础。然后，讲述电视扫描方式、电视图像的基本参量、标准彩条信号等内容。

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。

1.1 光的特性与光源

1.1.1 光的特性

光学和电磁场理论指出：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 $(3.85 \sim 7.89) \times 10^{14} \text{Hz}$ 的频段内，其波长范围在 $380 \sim 780 \text{nm}$ 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。

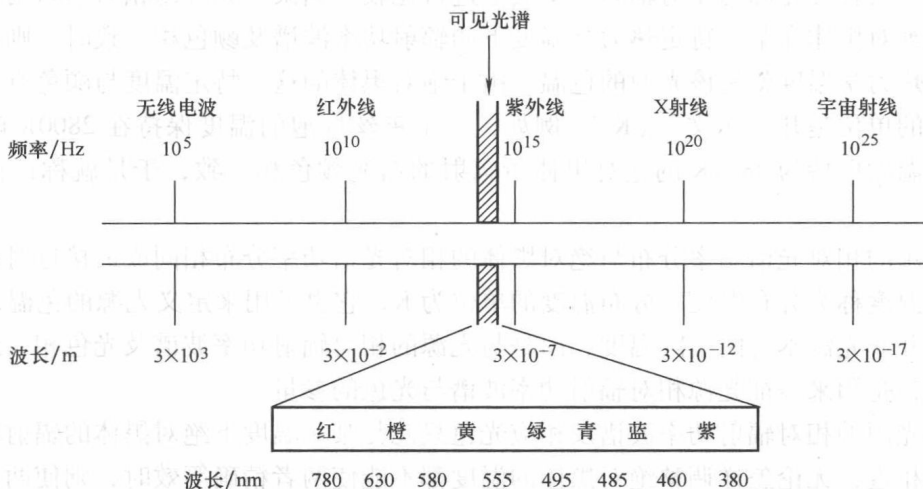


图 1-1 电磁辐射频谱

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、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”。

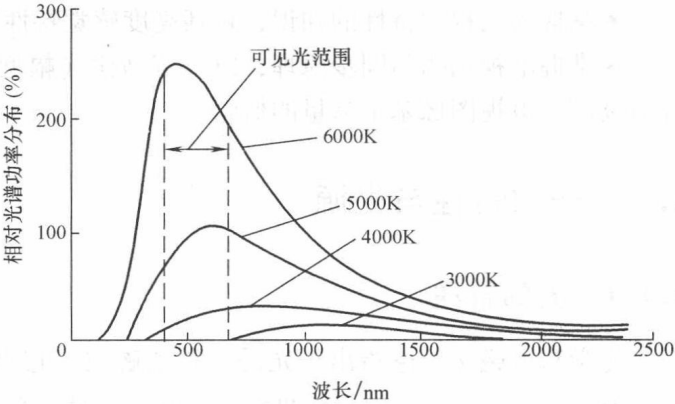


图 1-2 绝对黑体在不同温度下的相对光谱功率分布

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，绝对黑体的热力学温度称为分布温度。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及光色相一致的绝对黑体的温度，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'Eclairage, CIE）定义了以下的标准照明体。

标准照明体 A：绝对黑体在热力学温度为 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 $C_{\text{白}}$ 。

标准照明体 D_{65} ：相关色温约为 6504K 的平均昼光。

标准照明体 D_{55} ：相关色温约为 5503K 的昼光。

标准照明体 D_{75} ：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。由于其分布在红外区域的光谱功率较大，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 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。

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白光即为 $E_{\text{白}}$ ，它的相关色温为 5500K。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，实践已证明是正确的。

1.2.1 光通量和发光强度

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（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。

因为人眼只对 380 ~ 780nm 的波长成分有光感觉，因此式（1-1）中的积分限与这两个数值相对应。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 40W 的钨丝灯泡所能输出的光通量为 468lm，一个 40W 的荧光灯可以输出的光通量为 2100lm。通常用每瓦流明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 11.7lm/W；荧光灯的发光效率为 52.5lm/W；用于电视照明的金属卤化物灯，发光效率可达 80 ~ 100lm/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 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单色辐射，而且在此方向上的辐射强度为 $1/683 \text{ W/Sr}$ （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），其定义为：1lx 等于 1lm 的光通量均匀地分布在 1 m^2 面积上的光照度，即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。光照度常用 E_v 表示。

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 50lx；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 ~ 1000lx；阴天自然景物上的照度约为 10^3 lx ；阴天室内的照度为 5 ~ 50lx；夜间满月下的照度为 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）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波谱宽度小于 5nm 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 ~ 380nm，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光称为非谱色光。白光是非谱色光。

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进行反射所形成的光称为反射光；物体对光源发出的光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，必须作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，任一彩色光可用亮度（Lightness，也称为明度）、色调（Hue）和色饱和度（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），物体越明亮，反之则越暗。