



本书赠送电子教案

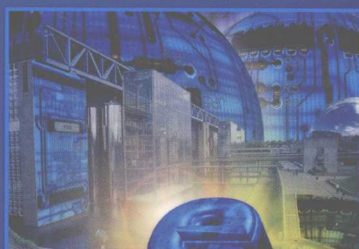


普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
江苏省高等学校立项建设精品教材  
高等院校通信与信息专业规划教材

# 数字电视原理

第2版

DIGITAL TELEVISION PRINCIPLES



卢官明 宗昉 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
江苏省高等学校立项建设精品教材  
高等院校通信与信息专业规划教材

# 数字电视原理

第2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。每章都附有习题, 以指导读者加深对本书主要内容的理解。

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。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电视原理/卢官明, 宗昉编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2008.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 江苏省高等学校立项建设精品教材. 高等院校通信与信息专业规划教材

ISBN 978-7-111-24902-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 122405 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 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26 印张 · 641 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24902-3

定价: 41.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379753 88379739

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	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
编委会委员	王金龙	解放军理工大学
	冯正和	清华大学
	刘增基	西安电子科技大学
	李少洪	北京航空航天大学
	邹家禄	东南大学
	吴镇扬	东南大学
	赵尔沅	北京邮电大学
	南利平	北京信息科技大学
	徐惠民	北京邮电大学
	彭启琮	电子科技大学
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

本教材第1版的内容于2003年6月定稿,2004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1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2版教材在继承第1版教材的系统性与完整性的基础上,保留了第1版教材中的大部分内容,删除了第1版教材中的第10章“交互电视与视频点播”和第11章“数据广播”的部分内容,增补了不少新的内容,如在第2版的第5章“信源编码标准”中增补了H.264、AVS等新的标准,在第8章“数字电视传输标准”中增补了DVB-S2、DVB-H以及中国地面数字电视广播传输标准,在第9章“数字电视机顶盒与条件接收系统”中增补了中央电视台数字电视条件接收系统方案,在第10章“显示设备及接口”中增补了FED、SED、OLED等新型显示器以及DVI、HDMI、DisplayPort接口等内容。另外,第2版教材删除了第1版中的附录A和附录B,增加了第6章“数字电视中的码流复用及业务信息”,增加了第7章“信道编码及调制技术”,重点介绍了我国数字电视广播传输标准中使用的相关技术。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。

作者有意使本教材覆盖数字电视系统的关键技术,努力选取相对比较新和实用的技术,力图对数字电视原理解释清楚和准确,做到覆盖面广,体现相关领域的最新研究成果和进展,注重理论与实际应用相结合,深入浅出,通俗易懂,便于自学。因此,本教材可作为高等院校广播电视、电子信息、通信和计算机类专业的本科教材,也可供相关专业的工程技术人员和技术管理人员阅读参考。每章都附有习题,以指导读者加深对本书主要内容的理解。

本教材共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。

在本教材的编写过程中,作者参考和引用了一些本专业学者的研究成果、著作和论文,具体出处见参考文献。在此,作者向这些文献的作者表示敬意和感谢!此外,本教材作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和2007年江苏省高等学校立项建设精品教材,得到了江苏省教育厅和南京邮电大学的立项资助,作者在此向南京邮电大学的领导表示衷心的感谢!

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免费电子教案,读者可在[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)上下载。

作 者

2008年4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 .....	4
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 .....	10
1.4.3 人眼的分辨力与视觉惰性 .....	12
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 .....	14
1.5.3 电视图像的基本参量 .....	16
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 .....	27
2.4.1 数字电视的信源编解码 .....	27
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 软件平台——中间件 .....	29
2.4.5 条件接收 .....	30
2.4.6 高清晰度平板显示技术 .....	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 .....	35
2.6 中国数字电视及其发展状况 .....	35
2.6.1 中国数字电视地面广播传输标准的制定 .....	35
2.6.2 中国已经颁布的数字电视相关标准 .....	37
2.6.3 中国数字电视的发展状况 .....	39
2.7 小结 .....	41
2.8 习题 .....	41
<b>第3章 电视信号的数字化</b> .....	<b>42</b>
3.1 信号的数字化 .....	42
3.1.1 采样 .....	42
3.1.2 量化 .....	43
3.1.3 编码 .....	45
3.2 音频信号的数字化 .....	45
3.3 视频信号的数字化 .....	47
3.3.1 电视信号分量数字编码参数的确定 .....	48
3.3.2 ITU-R BT.601 建议 .....	51
3.3.3 我国数字电视节目制作及交换用视频参数 .....	52
3.4 数字电视演播室视频信号接口 .....	55
3.4.1 标准清晰度数字电视演播室视频信号接口 .....	55
3.4.2 高清晰度数字电视演播室视频信号接口 .....	57
3.5 常见数字摄/录像机的信号格式 .....	65
3.5.1 数字录像机的非压缩格式 .....	67
3.5.2 数字录像机的压缩格式 .....	67
3.6 小结 .....	68
3.7 习题 .....	69
<b>第4章 信源编码原理</b> .....	<b>70</b>
4.1 数字音频编码的基本原理 .....	70
4.1.1 数字音频压缩的必要性和可能性 .....	70
4.1.2 人耳的听觉感知特性 .....	72
4.1.3 音频感知编码原理 .....	78
4.2 数字视频编码概述 .....	80
4.2.1 数字视频压缩的必要性和可能性 .....	80
4.2.2 数字视频编码技术的进展 .....	81
4.3 熵编码 .....	83
4.3.1 哈夫曼编码 .....	85
4.3.2 算术编码 .....	87
4.3.3 游程编码 .....	92
4.4 预测编码 .....	92



4.4.1	帧内预测编码 .....	93
4.4.2	帧间预测编码 .....	94
4.5	变换编码 .....	98
4.5.1	变换编码的基本原理 .....	98
4.5.2	DCT 图像编码 .....	99
4.6	小结 .....	105
4.7	习题 .....	105
<b>第 5 章</b>	<b>信源编码标准 .....</b>	<b>107</b>
5.1	数字音视频编码标准概述 .....	107
5.1.1	H.26X 系列标准 .....	109
5.1.2	MPEG 标准 .....	110
5.1.3	AVS 标准 .....	114
5.2	MPEG-1 音频编码标准 .....	114
5.2.1	MPEG-1 音频编码算法的特点 .....	114
5.2.2	MPEG-1 音频编码的基本原理 .....	115
5.3	杜比 AC-3 音频编码算法 .....	121
5.3.1	概述 .....	121
5.3.2	杜比 AC-3 编码器 .....	122
5.3.3	杜比 AC-3 解码器 .....	125
5.4	MPEG-2 音频编码标准 .....	126
5.4.1	MPEG-2 AAC 编码算法 .....	126
5.4.2	MPEG-2 AAC 的类 .....	129
5.5	AVS 音频立体声编码标准 .....	129
5.6	MPEG-1 和 MPEG-2 视频编码标准 .....	130
5.6.1	I 帧、P 帧和 B 帧 .....	131
5.6.2	视频码流的分层结构 .....	132
5.6.3	MPEG-1 与 MPEG-2 视频编解码原理 .....	135
5.6.4	MPEG-2 的功能扩展 .....	139
5.7	MPEG-4 视频编码标准 .....	145
5.7.1	MPEG-4 视频编码的功能与特点 .....	145
5.7.2	MPEG-4 基于内容的视频编码 .....	147
5.7.3	MPEG-4 的可分级视频编码 .....	151
5.7.4	MPEG-4 的容错视频编码 .....	153
5.8	H.264/AVC 视频编码标准 .....	154
5.8.1	H.264/AVC 视频编码器的分层结构 .....	154
5.8.2	H.264/AVC 中的预测编码 .....	156
5.8.3	整数变换与量化 .....	160
5.8.4	基于上下文的自适应熵编码 .....	163
5.8.5	H.264/AVC 中的 SI/SP 帧 .....	165
5.8.6	H.264/AVC 的其余特征 .....	168
5.8.7	H.264/AVC 的类和 FRExt 增加的关键算法 .....	172
5.9	AVS 视频编码标准 .....	173

5.9.1	AVS-P2 .....	174
5.9.2	AVS-P2 与 H.264 的比较 .....	177
5.9.3	AVS-P7 .....	178
5.10	小结 .....	179
5.11	习题 .....	180
<b>第 6 章</b>	<b>数字电视中的码流复用及业务信息 .....</b>	<b>182</b>
6.1	MPEG-2 码流复用 .....	182
6.1.1	PES 包的组成及其功能 .....	184
6.1.2	PS 包的组成及其功能 .....	186
6.1.3	TS 包的组成及其功能 .....	186
6.2	数字电视业务信息的类型 .....	191
6.2.1	数字电视广播业务传送模式 .....	191
6.2.2	节目特定信息 .....	192
6.2.3	其他业务信息 .....	194
6.3	业务信息表的结构 .....	198
6.3.1	业务信息表的通用规定 .....	198
6.3.2	段到传送流 TS 包的映射 .....	199
6.3.3	描述符 .....	200
6.4	业务信息表的定义 .....	201
6.4.1	节目关联表 .....	202
6.4.2	节目映射表 .....	203
6.4.3	条件接收表 .....	206
6.4.4	网络信息表 .....	207
6.4.5	业务描述表 .....	210
6.4.6	事件信息表 .....	211
6.4.7	时间和日期表 .....	213
6.4.8	时间偏移表 .....	214
6.5	业务信息在数据广播中的应用 .....	215
6.5.1	MPEG-2 对数据广播的支持 .....	215
6.5.2	DVB 数据广播标准 .....	215
*6.5.3	DVB 数据广播协议的具体实现 .....	218
6.6	小结 .....	223
6.7	习题 .....	223
<b>第 7 章</b>	<b>信道编码及调制技术 .....</b>	<b>224</b>
7.1	常用术语 .....	224
7.2	信道编码技术 .....	229
7.2.1	差错控制的基本原理和信道编码的分类 .....	229
7.2.2	BCH 码 .....	231
7.2.3	RS 码 .....	234
7.2.4	卷积码和维特比译码 .....	237
7.2.5	分组交织和卷积交织 .....	243

7.2.6 串行级联码 .....	246
7.2.7 低密度校验码 .....	247
7.3 调制技术 .....	249
7.3.1 数字调制的作用及调制方式 .....	249
7.3.2 QPSK 调制 .....	250
7.3.3 QAM 调制及其变型 .....	252
7.3.4 残留边带及 8-VSB 调制 .....	255
7.3.5 OFDM 和 COFDM 技术 .....	255
7.4 小结 .....	260
7.5 习题 .....	261
<b>第 8 章 数字电视传输标准</b> .....	<b>262</b>
8.1 DVB 传输系统概述 .....	262
8.2 DVB-S 传输标准 .....	266
8.3 DVB-S2 传输标准 .....	270
8.3.1 DVB-S2 的系统结构 .....	270
8.3.2 DVB-S2 的主要改进方面 .....	271
8.4 DVB-C 传输标准 .....	273
8.5 DVB-T 传输标准 .....	277
8.6 DVB-H 传输标准 .....	284
8.6.1 DVB-H 系统的结构及关键技术 .....	284
8.6.2 DVB-H 网络架构与无缝业务切换 .....	288
8.6.3 DVB-H 与 T-DMB 及 MediaFLO 系统的技术比较 .....	289
8.7 DVB-T 与 ATSC、ISDB-T 的比较 .....	290
8.8 中国地面数字电视广播传输标准 .....	291
8.8.1 系统组成及关键技术 .....	292
8.8.2 技术特点 .....	304
8.9 小结 .....	305
8.10 习题 .....	306
<b>第 9 章 数字电视机顶盒与条件接收系统</b> .....	<b>307</b>
9.1 数字电视机顶盒 .....	308
9.1.1 数字电视机顶盒的分类 .....	308
9.1.2 数字电视机顶盒的组成 .....	309
9.1.3 数字电视机顶盒的关键技术 .....	312
9.1.4 数字电视中间件 .....	314
9.1.5 电子节目指南 .....	319
9.2 条件接收系统的组成及工作原理 .....	320
9.2.1 用户管理系统和节目信息管理系统 .....	321
9.2.2 加扰、解扰和控制字 .....	322
9.2.3 控制字加密与传输控制 .....	323
9.2.4 加密算法 .....	326
9.2.5 用户端的解密与解扰 .....	330

9.2.6 智能卡 .....	331
9.3 MPEG-2 以及 DVB 标准中有关 CA 的规定 .....	331
9.3.1 MPEG-2 中与 CA 有关的规定 .....	331
9.3.2 DVB 中与 CA 有关的规定 .....	333
9.4 同密和多密模式 .....	335
9.4.1 同密模式 .....	335
9.4.2 多密模式与机卡分离 .....	337
9.4.3 同密与多密模式的比较 .....	339
9.5 中央电视台数字电视条件接收系统方案 .....	339
9.5.1 两级条件接收系统的方案设计 .....	339
9.5.2 中央电视台同密系统的体系结构 .....	340
9.5.3 两级条件接收方案的技术实现 .....	341
9.5.4 实施两级 CA 方案对地方网络公司的要求 .....	343
9.5.5 基于 Irdeto CA 的两级解决方案 .....	344
9.6 小结 .....	345
9.7 习题 .....	345
<b>第 10 章 显示设备及接口 .....</b>	<b>347</b>
10.1 CRT 显示器 .....	347
10.1.1 CRT 显示器的工作原理 .....	348
10.1.2 CRT 显示器的优缺点 .....	349
10.2 液晶显示器 .....	350
10.2.1 液晶的物理特性 .....	350
10.2.2 LCD 的基本结构 .....	351
10.2.3 LCD 的工作原理 .....	353
10.2.4 LCD 的驱动技术 .....	354
10.2.5 LCD 的优缺点 .....	357
10.3 等离子体显示器 .....	358
10.3.1 PDP 的工作原理 .....	358
10.3.2 三电极表面放电型彩色 AC-PDP 的结构 .....	359
10.3.3 PDP 的驱动技术 .....	360
10.3.4 动态假轮廓及其形成机理 .....	363
10.3.5 抑制动态假轮廓的措施 .....	364
10.3.6 PDP 显示器的优缺点 .....	365
10.4 场致发射显示器 .....	366
10.4.1 FED 的发展简史 .....	366
10.4.2 FED 的显示原理 .....	366
10.4.3 FED 的特点 .....	367
10.4.4 表面传导型电子发射显示器 .....	367
10.5 有机发光显示器 .....	369
10.5.1 OLED 的发展简史 .....	369
10.5.2 OLED 的显示原理 .....	369
10.5.3 OLED 的技术分类与特点 .....	370

10.5.4	OLED 技术的应用领域	371
10.5.5	OLED 技术现状	372
10.5.6	与 OLED 产业化相关的若干问题	372
10.6	投影式显示器	373
10.6.1	CRT 型投影显示器	373
10.6.2	LCD 投影显示器	374
10.6.3	数字光处理投影显示器	375
10.6.4	硅基液晶投影显示器	377
10.7	数字电视设备接口	379
10.7.1	模拟信号接口	379
10.7.2	数字视频接口	381
10.7.3	高清晰度多媒体接口	383
10.7.4	DisplayPort 接口	387
10.8	小结	390
10.9	习题	391
附录	缩略语英汉对照	392
参考文献		401

# 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  $(3.85 \sim 7.89) \times 10^{14}$  Hz 的频段内，其波长范围在 380 ~ 780 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。

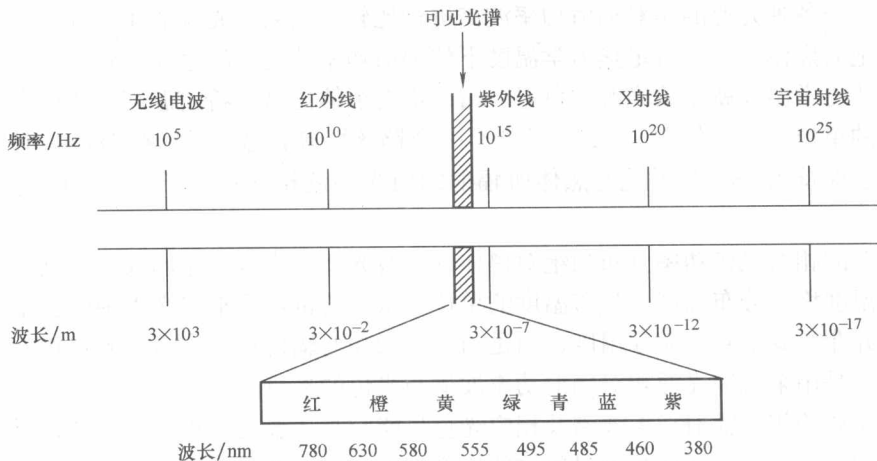


图 1-1 电磁辐射波谱

### 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、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”。

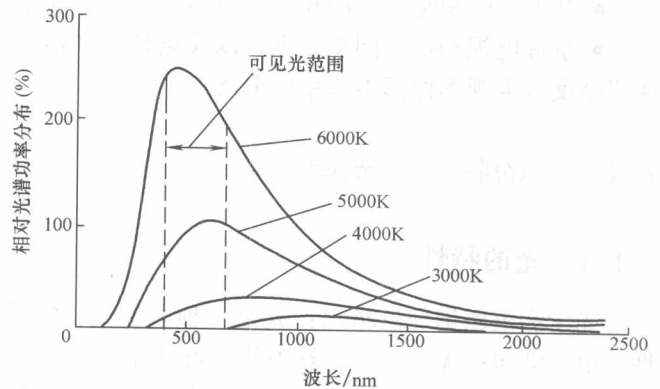


图 1-2 绝对黑体在不同温度下的相对光谱功率分布

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 的平均日光，又称  $C_{白}$ 。

标准照明体  $D_{65}$ ：相关色温约为 6504K 的平均日光。

标准照明体  $D_{55}$ ：相关色温约为 5503K 的日光。

标准照明体  $D_{75}$ ：相关色温约为 7504K 的日光。

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 尚未作规定。

另外，在色度学的计算中还应用着一种假想的等能白光 ( $E_{白}$ )，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  $E_{白}$ ，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 ( $\Phi_v$ ) 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 1.4.2 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 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  $1 \text{m}^2$  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  $10^3 \text{lx}$ ；阴天室内的照度为 5 ~ 50lx；夜间满月下的照度为  $10^{-1} \text{lx}$ 。

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。

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

### 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，