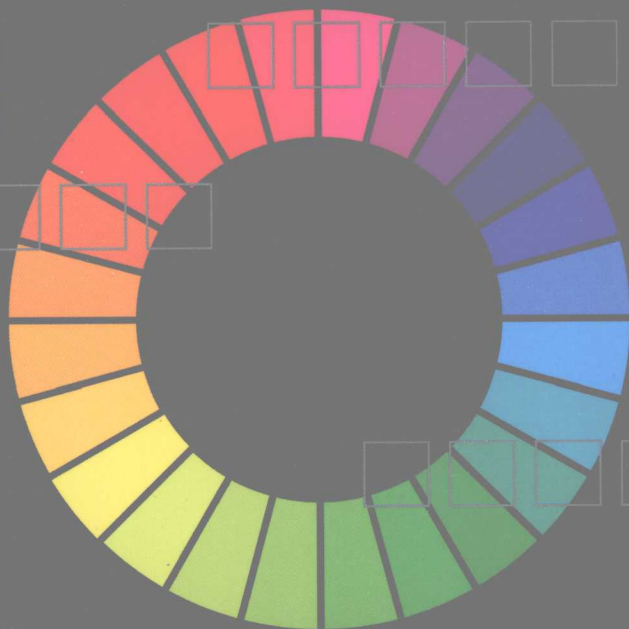
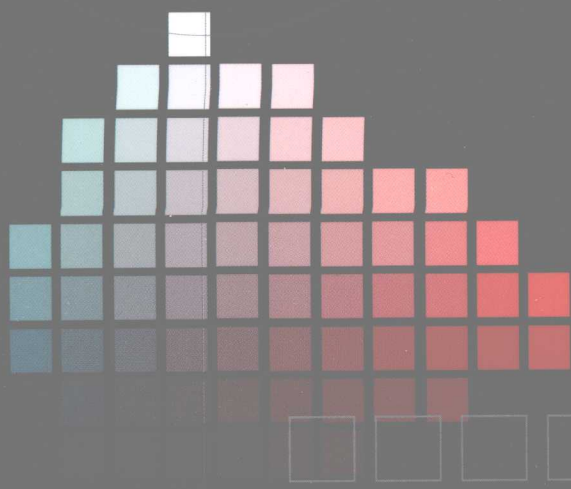


印刷色彩学

第二版

刘武辉 胡更生 王琪 编著



化学工业出版社

印刷色彩学

第二版

刘武辉 胡更生 王琪 编著 ©



化学工业出版社

北京·

印刷是图文复制的科学,从其本质来说,印刷就是颜色的复制和还原。因此印刷色彩学一直是印刷学科的基础。印刷色彩学知识涉及颜色的基本性质、颜色视觉的形成、色度学、印刷基本原理、颜色测量等方面的内容。

本书从物理学、生理学、印刷工程等方面介绍了颜色的基本性质、颜色视觉的形成、颜色混合规律、色度学、颜色的表示方法、颜色的呈色机理、颜色空间及色彩管理、颜色测量以及印刷色彩学的颜色分解、传递、合成等方面的内容。

本书可以作为印刷专业学生的教材,也可供从事印刷、设计、印染、计算机图文处理等专业人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

印刷色彩学/刘武辉,胡更生,王琪编著. —2版.
北京:化学工业出版社,2008.7
ISBN 978-7-122-03397-0

I. 印… II. ①刘…②胡…③王… III. 印刷色彩学
IV. TS801.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第106649号

责任编辑:丁尚林
责任校对:陶燕华

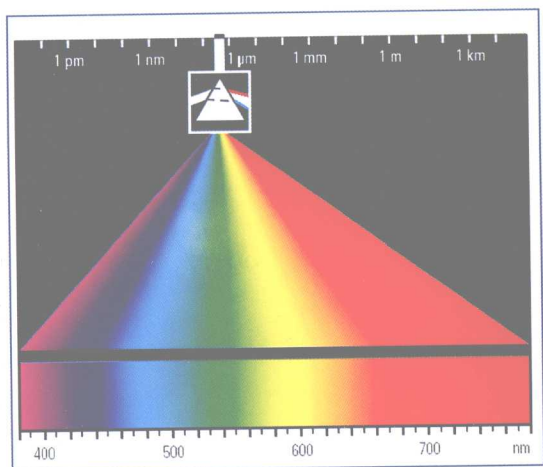
文字编辑:李 玥
装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京白帆印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张16 彩插4 字数301千字
2009年1月北京第2版第1次印刷

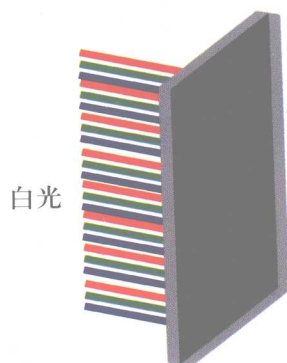
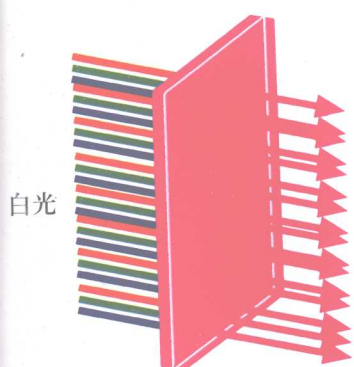
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究



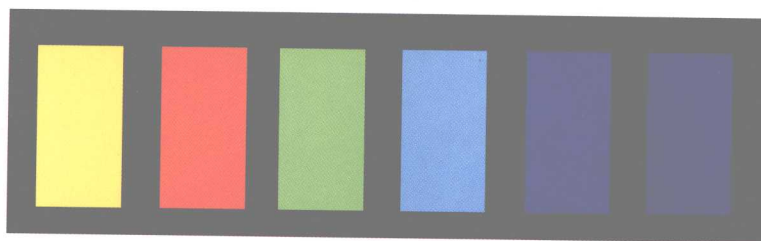
彩图1 可见光谱



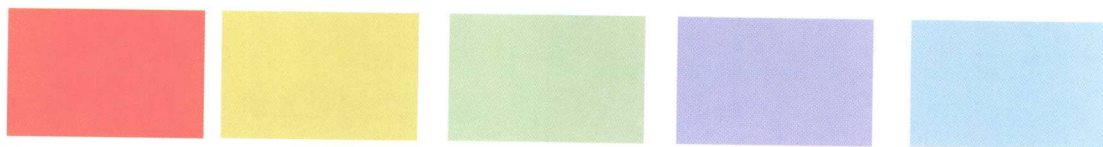
彩图2 光的吸收示意

彩图3 光源的演色性实例





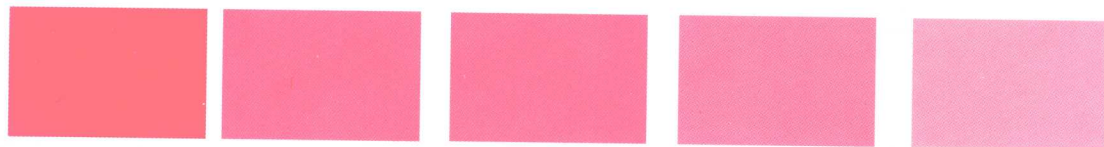
彩图4 颜色错觉



彩图5 相同亮度颜色块的明亮感觉



彩图6 不同明度的绿色

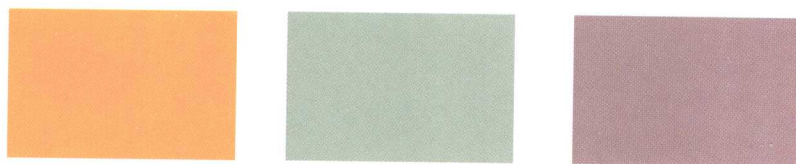


(a)颜色的亮度增加饱和度会降低



(b)颜色中加入黑色饱和度降低

彩图7 颜色的变化对饱和度的影响



彩图8 颜色混合时饱和度的变化

前言



色彩学是研究并介绍自然颜色现象的基本规律以及颜色在人们生理和心理上所产生的视觉效果的科学。而印刷色彩学的内容除了上述内容之外，还要介绍印刷工程如何利用色彩学的基本原理，进行颜色的分解、传递、合成，从而完成印刷复制的。因此本书的内容包括了色彩学和印刷色彩两大部分的知识。

本书是笔者在多年印刷工程专业教学工作的实践基础上完成的，针对印刷工程专业学生初接触专业课要学习这门课程的问题，本书对一些比较难懂的内容插入了一些插图，介绍内容时也力求简单通俗。同时在每章后面还配有练习题，以便学生巩固知识。近年来，数字技术在印刷中的广泛应用，使色彩管理成为印刷工艺中十分重要的问题。因此本书加入了数字颜色表达方法、色彩管理的相关内容。这在色彩学类书籍中还是首次。

本书第一版自 2004 年出版后，深受从事印刷及色彩工作人员的欢迎，并被许多高校用作教材，已多次重印。为了更好地满足读者的需求，反映最新色彩科学的知识，我们在保持第一版特色及实用性的前提下，对原书进行了全面修订。主要调整的内容如下：

- ✧ 色彩管理部分进行了比较大幅度的修改，使内容更能准确地反映色彩管理应用需求。

- ✧ 增加了更多的色差公式。

- ✧ 对 Lab 表色进行了更详细的解析。

- ✧ 对第一版中的笔误或不当之处进行了更正。

色彩学是印刷工程专业学生的基础课，内容比较抽象。但是其知识却是印刷中十分重要的，笔者希望这本书对读者掌握色彩学的知识能起到一定的作用。由于本人知识有限，书中难免有错误之处，恳请批评指正。

编著者
于武汉大学

目 录



第1章 光与颜色视觉	1
1.1 光辐射	1
1.1.1 可见光辐射	1
1.1.2 光源的光谱能量分布	3
1.2 光的现象	6
1.2.1 光的反射	6
1.2.2 光的透射	7
1.2.3 光的吸收	8
1.3 光与色的关系	8
复习参考题	9
第2章 颜色视觉形成	10
2.1 颜色视觉形成机理	10
2.1.1 发光体的颜色形成	11
2.1.2 非发光体的颜色形成	11
2.2 颜色视觉的生理基础	13
2.2.1 眼睛	13
2.2.2 视网膜上的成像过程	16
2.2.3 大脑	18
2.3 人眼的视觉功能	18
2.3.1 明视觉、暗视觉与间视	18
2.3.2 光谱光效率函数	20
2.3.3 视觉参数	21
2.4 影响颜色视觉的因素	24
2.4.1 光源的光谱成分的影响	25

2.4.2	光源的照度的影响	25
2.4.3	环境色的影响	26
2.4.4	其他因素的影响	26
2.5	颜色视觉形成的理论	27
2.5.1	三原色学说	27
2.5.2	对立学说	29
2.5.3	阶段学说	32
2.6	人眼视觉现象	33
2.6.1	暗适应	34
2.6.2	明适应	35
2.6.3	颜色适应现象	35
2.6.4	闪光盲	35
2.6.5	色弱与色盲	36
2.6.6	颜色辨别	36
2.6.7	颜色对比	37
2.6.8	颜色恒定	39
2.6.9	颜色错觉	39
	复习参考题	40

第3章	颜色的基本性质	41
3.1	颜色的三属性	41
3.1.1	色相	41
3.1.2	明度	43
3.1.3	饱和度	44
3.1.4	颜色三属性的相互关系	45
3.1.5	颜色三属性几何模型	47
3.2	颜色的分类	47
3.2.1	非彩色	48
3.2.2	彩色	49
3.3	色彩的调和	49
3.3.1	色彩的调和	49
3.3.2	色彩的对比	51
3.3.3	色彩的心理作用	54
3.3.4	色彩的感情及对人情情绪的影响	56
3.3.5	色彩的象征	56

3.3.6 色彩配合的原则	57
复习参考题	59
第4章 颜色混合规律	60
4.1 颜色混合定律	60
4.2 色光混合	61
4.2.1 色光三原色	62
4.2.2 色光加色混合	62
4.2.3 色光混合的类型	63
4.2.4 色光混合的能量	64
4.3 色料混合	65
4.3.1 色料三原色	66
4.3.2 色料减色混合	67
4.3.3 减色法的实质	70
4.3.4 色料混合的类型	70
4.3.5 加色法与减色法的关系	72
复习参考题	72
第5章 CIE 色度学系统	74
5.1 颜色匹配	75
5.1.1 颜色匹配实验	75
5.1.2 颜色匹配方程	77
5.1.3 色度坐标与色度图	79
5.2 色度学系统概述	80
5.3 CIE 1931 RGB 色度系统	81
5.4 CIE 1931 XYZ 色度系统	86
5.4.1 CIE 1931 XYZ 色度系统的建立	86
5.4.2 CIE 1931 标准色度观察者	89
5.4.3 CIE 1931 色度图	92
5.4.4 CIE 1964 补充标准色度学系统	94
5.4.5 CIE 1931 色度图与 Y_{xy} 表色方法	99
5.5 CIE 色度计算方法	99
5.5.1 颜色三刺激值及色度坐标的计算	99
5.5.2 主波长与色纯度的计算	104
5.5.3 颜色相加的计算	115

5.6 颜色色差与均匀色度空间	117
5.6.1 CIE XYZ 色度空间的不均匀性及颜色宽容度	117
5.6.2 CIE 1960 UCS 均匀颜色空间	120
5.6.3 CIE 1964 $W^*U^*V^*$ 均匀颜色空间及色差公式	124
5.6.4 CIE 1976 均匀颜色空间及色差公式	125
5.6.5 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 空间及色差公式	126
5.6.6 色差的有关问题	131
5.7 同色异谱现象	136
5.7.1 同色异谱基本概念	136
5.7.2 同色异谱指数	138
复习参考题	139

第6章 颜色的显色表示法

6.1 孟塞尔颜色立体	140
6.1.1 孟塞尔颜色立体	141
6.1.2 孟塞尔新标系统	144
6.1.3 孟塞尔系统的用途	149
6.2 中国颜色体系	153
6.2.1 中国颜色体系	153
6.2.2 中国颜色体系对色彩属性的表示	153
6.2.3 中国颜色体系的标识方法	154
6.2.4 中国颜色体系样册	155
6.3 其他颜色体系	155
6.3.1 奥斯瓦尔德系统	155
6.3.2 瑞典自然色系 (NCS)	158
6.3.3 OSA 匀色标	159
6.3.4 日本 CC5000 色彩图	160
6.4 印刷及设计用色谱	160
6.4.1 四色印刷色谱	161
6.4.2 专色混色色谱	162
复习参考题	162

第7章 光源的色度学

7.1 光源的色温	163
7.1.1 绝对黑体	163

7.1.2 光源的色温	167
7.2 标准光源	168
7.2.1 标准照明体	168
7.2.2 标准光源	171
7.2.3 标准照明体与标准光源	171
7.3 光源颜色与视觉的关系	172
7.3.1 光源的颜色	172
7.3.2 光源的显色性	173
7.3.3 光源的显色指数及定量评价	174
复习参考题	176
第8章 印刷色彩	178
8.1 油墨的颜色	178
8.1.1 原色油墨的光谱反射率曲线	178
8.1.2 油墨的性质对颜色的影响	179
8.1.3 原色油墨颜色的评价指标	179
8.1.4 GATF 色轮图	181
8.2 印刷分色原理	183
8.2.1 照相分色原理	184
8.2.2 数字印前系统的分色原理	185
8.3 网点与彩色印刷	186
8.3.1 网点呈色原理	186
8.3.2 网点的线数	186
8.3.3 网点的大小	187
8.3.4 网点的形状	188
8.3.5 网点的变化	188
8.3.6 网点的角度	190
8.3.7 聂格伯尔方程式	192
8.4 彩色印刷与颜色密度	194
8.4.1 光学密度	195
8.4.2 多色叠合的密度	197
8.4.3 印刷油墨彩色密度测量	198
8.4.4 密度标准	200
8.4.5 网点面积率、网点光学密度与网点色调密度的关系	206
8.4.6 孟塞尔明度与视觉密度的关系	210

复习参考题	211
第 9 章 计算机颜色的表示方法	213
9.1 RGB 颜色模式	213
9.2 CMYK 颜色模式	214
9.3 $L^*a^*b^*$ 颜色模式	215
9.4 HSB 颜色模式	215
9.5 色域	216
复习参考题	217
第 10 章 颜色测量	218
10.1 颜色测量样品的准备与选择	219
10.2 目视测色	219
10.3 仪器测色	220
10.3.1 目视色度计	220
10.3.2 反射分光光度计	221
10.3.3 透射分光光度计	229
10.3.4 光学密度计	230
复习参考题	233
第 11 章 色彩管理	234
11.1 色彩管理基础	234
11.1.1 色彩管理的必要性	234
11.1.2 色彩管理的作用及原理	236
11.1.3 色彩管理的实施	238
11.1.4 色彩管理基本概念	239
11.2 常用的色彩管理软件	241
11.2.1 ColorSync 色彩管理软件	241
11.2.2 ICM 色彩管理软件	243
11.2.3 PostScript 色彩管理软件	244
复习参考题	245
参考文献	246

第1章

光与颜色视觉



我们睁开眼睛，就可以看见各种各样的颜色，看到绚丽多彩的美丽世界，那么颜色究竟是什么？为什么植物是绿色的，红旗是红色的，而日光灯是白色的呢？本章将给大家回答这些问题。

在我国国家标准 GB 5698—85 中，颜色定义为：“色是光作用于人眼引起除形象以外的视觉特性。”颜色是由人眼来感受的，是一种视觉现象，因此，颜色科学把看到颜色称为颜色视觉。离开了人眼，我们就无从谈颜色。从本质上来说，颜色又是一种光学现象，是光刺激人眼的结果。物体的颜色是物体吸收光源的部分波长的光，反射其余光的结果。我们有这样的经验，在没有灯光的黑暗房间里，根本感觉不到颜色。这就是色彩学上的一个重要规律：有光才有色。因此，在介绍颜色的形成机理之前，让我们先学习一些光源的知识。

1.1 光辐射

1.1.1 可见光辐射

光是人类生存的基本要素。科学研究发现，人的感觉器官从外界接受到的各种信息中，有 70% 以上来自光波，大自然绚丽的色彩也是在阳光的照耀下才显示出来的。

从色彩学的观点来说，光的定义是：光是指能够在人眼的视觉系统上引起明

亮的颜色感觉的电磁辐射。所以光是刺激人眼睛的电磁辐射，这种电磁辐射与其他形式的电磁辐射有着不同的物理特性，它们能引起人们的颜色感觉。电磁辐射的波长范围很广，现已发现的最短的宇宙射线波长只有 $10^{-14} \sim 15^{-15} \text{ m}$ ，最长的交流电，其波长可达数千公里。在整个电磁波谱中，能引起人眼视觉的只是一小部分，因此，刺激人眼引起视觉的光辐射又叫可见光辐射，简称可见光。要严格确定可见光的波长范围是很困难的，一般来说，人们把波长在 $380 \sim 780 \text{ nm}$ 作为可见光的范围，见图 1-1。然而当光线很强时，眼睛可以感受到的波长范围至少可以扩大到 $350 \sim 900 \text{ nm}$ 。与可见光谱短波段相邻的光线是指在波长 300 nm 以下的紫外线，眼睛看不见它们，但是它们具有强烈的光化学作用。与可见光谱长波段相邻的光线是指在波长 780 nm 以上的红外线，它们具有很强的发热性能。

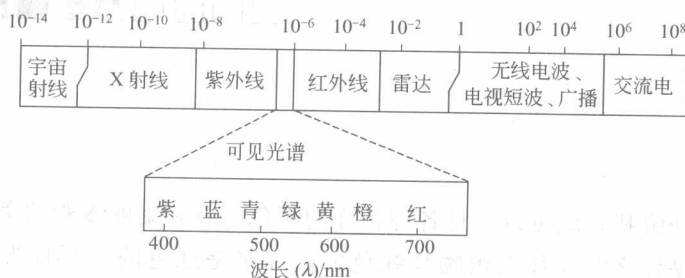


图 1-1 可见光在电磁辐射波中的位置

光波的波长极其微小，其单位一般用纳米 (nm) 或埃 (Å) 来表示， $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ， $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ 。

在可见光的光谱范围内，不同波长的辐射能引起人眼的颜色感觉不同。1666年，英国科学家牛顿的三棱镜实验证实了这一点。牛顿发现，当太阳光射进暗室并通过一个三棱镜再投射到一块白色的屏幕上时，白色的太阳光会变成一条七彩的光带。光带的颜色是逐渐过渡的，但几种主要颜色依然清晰可见，由上而下依次呈红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色排列。见彩图 1。这是因为日光中含有不同波长的辐射能，当它们混合时，人眼感受到的日光是白光；而当日光通过三棱镜时，由于日光中不同波长的光的折射率不同，折射后投射在白屏幕上的位置也不同，从而形成彩色的光带，我们也把它们称为光谱 (Spectrum)。这种白光被分解成各种色光的现象称为色散。

在上述光谱中，每一种颜色只有一种波长，这种只含有一种波长而不能再分解的光称为单色光。单色光的波长由长到短，对应的颜色感觉由红到紫。一般认为，波长范围为 $780 \sim 620 \text{ nm}$ 的可见光为红色，波长范围为 $620 \sim 590 \text{ nm}$ 的可见光为橙色，黄色的可见光的波长范围为 $590 \sim 560 \text{ nm}$ ，黄绿色的可见光的波长范围为 $560 \sim 530 \text{ nm}$ ，绿色的可见光的波长范围为 $530 \sim 500 \text{ nm}$ ，青色的可见光的波长范围为 $500 \sim 470 \text{ nm}$ ，蓝色的可见光的波长范围为 $470 \sim 430 \text{ nm}$ ，紫色的可

见光的波长范围为 430~380nm。这种划分也只是给出一个大致的范围,从某一颜色到另一颜色是连续渐变的,各色光之间并不存在严格的界限。实际上单色光的颜色也是连续渐变的,并且单色光的颜色感觉随着光的强度变化而变化。实验证明,除了三个点(波长分别在 572nm, 503nm, 478nm 处)不受光强度变化的影响外,其他各波长的光在光强度有变化时,其颜色都会略有改变。于是,人们又把可见光简单地分为蓝光 380~500nm,绿光 500~600nm,红光 600~780nm。

自然界人们见到单色光的机会不多,一般的光都是由单色光混合而成的,称为复色光。大自然中的太阳光、火光以及人造光源日光灯等发出的光都是复色光。红色光和绿色光混合会产生一种黄色光,这种黄色光与光谱色中的黄色光(波长为 560nm)对于人眼的感受是一样的。但在波长为 560nm 处所对应的黄色光就是单色光,而由红色光和绿色光混合成的黄色光则是复色光。一定成分的复色光,总有一种特定的单色光与之对应;但反过来,一种颜色感觉并不只对应一种光谱组合,即两种成分完全不同的复色光有可能引起的颜色感觉完全一样。

1.1.2 光源的光谱能量分布

光源的种类很多,一般将光源分为两大类,即自然光源和人造光源。光源的辐射能按波长分布的规律随着光源的不同而不同。若以 X_λ 表示光的辐射能量, λ 表示光的波长,定义为以波长 λ 为中心的微小波长范围内辐射量与该波长宽度之比称为光谱密度。写成公式是:

$$X_\lambda(\lambda) = \frac{dX}{d\lambda} \quad (1-1)$$

光谱密度实质上反映了单位波长区间内辐射能量的大小。通常光源中不同波长的色光的辐射能量是随波长的变化而变化的,因此光谱密度是波长的函数。即不同的光,其光谱密度是不同的。将光源的光谱密度与波长之间的关系用函数表示时,此函数称为光谱分布 $X_\lambda(\lambda)$ 函数。

色彩学上主要关心的是光谱分布的相对值而不是绝对值,为了表达问题的方便,通常用相对光谱能量分布表示辐射能量和波长之间的关系。实践中通常取波长为 555nm 的可见光的辐射能量为 100,以此作为参考点,其他波长处的能量由此得出。若以波长 λ 为横坐标,相对光谱能量为纵坐标,就可绘制出光源相对能量功率曲线,图 1-2 就是某荧光灯的相对光谱能量分布曲线。

常见的光谱分布类型有线状光谱、带状光谱、连续光谱和混合光谱。具体分布类型如图 1-3 所示。图 1-3(a) 为线状光谱,它由若干条明显分隔的细线组成,如低压钠灯的光谱分布就是由波长为 589.0nm 和 589.6nm 的黄色谱线构成。图

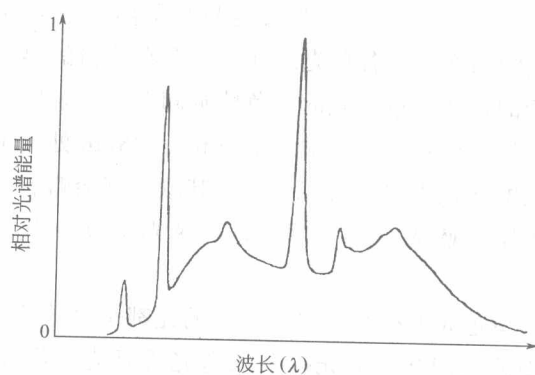


图 1-2 荧光灯的相对光谱能量分布曲线

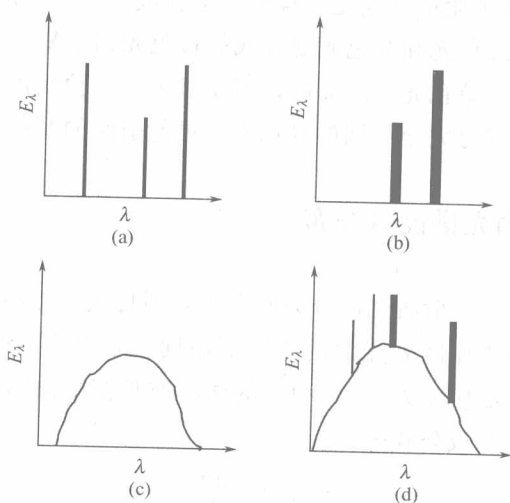


图 1-3 光谱分布类型

1-3(b) 为带状光谱, 它由一些分开的谱带构成, 每个谱带又包含许多紧靠的细线, 如碳弧和高压汞灯的光谱就属于这种分布。图 1-3(c) 为连续光谱, 所有热辐射光源的光谱分布都属于连续光谱, 这种光谱分布是光源中最常见的一种, 如太阳光和白炽灯的光谱分布均属于连续光谱。图 1-3(d) 为混合光谱, 是前三种光谱类型的组合。它由连续光谱、线状光谱及带状光谱混合而成, 日常生活中常用的荧光灯的光谱就属于这种混合光谱类型。

知道了光源的相对光谱能量分布, 就可以知道光源的颜色特性。反过来说, 光源的颜色特性取决于在发出的光线中不同波长上的相对能量比例, 而与光谱密度的绝对值无关。绝对值的大小只反映光的强弱, 不会引起光源颜色变化 (这个道理同样适用于普通色光)。例如, 图 1-2 的荧光灯在蓝、绿色波段有较高的相对辐射能量, 而在红色波段的辐射能量较低。又如, 图 1-4 是白炽灯的相对光谱

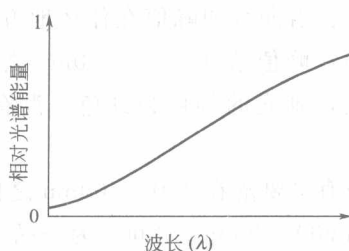


图 1-4 白炽灯的相对光谱能量分布曲线

能量分布曲线，它在短波阶段的辐射能量较低，而在长波红色阶段的辐射能量高，故白炽灯的颜色有点偏红色。再如，图 1-5 是不同气候条件下的日光相对光谱能量分布曲线，它们的形状是不同的，这也就解释了我们在不同季节、不同地区感受到太阳的颜色不一样的现象。

学习了印刷色彩学后，我们应该学会通过光的相对光谱能量功率分布曲线来

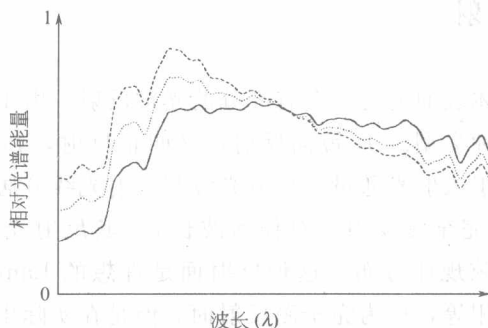


图 1-5 不同气候条件下的日光相对光谱能量分布曲线

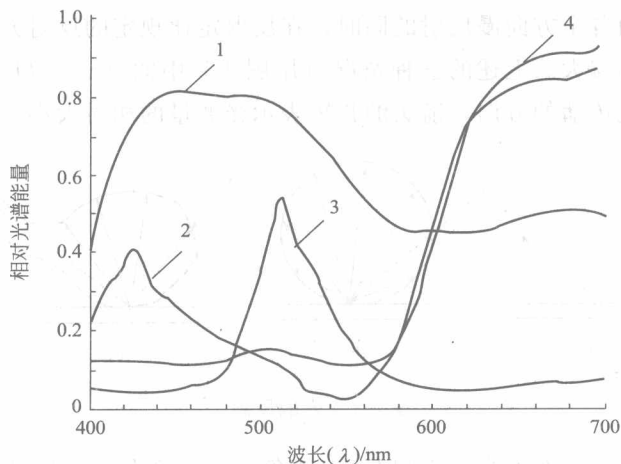


图 1-6 由光的相对光谱能量功率分布曲线判断光的颜色