



广告学系列

Advertising Series

设计色彩学

Chromatics for Designer

主审 刘真

主编 王晓红 朱明

副主编 吴光远

非外借

复旦大学出版社



广告学系列

Advertising Series

设计色彩学

主 审 刘 真

主 编 王晓红 朱 明

副主编 吴光远

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

设计色彩学/王晓红,朱明主编. —上海:复旦大学出版社,2018.9
(复旦博学·广告学系列)
ISBN 978-7-309-13799-6

I. ①设... II. ①王...②朱... III. ①色彩-设计-教材 IV. ①J063

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 158968 号

设计色彩学

王晓红 朱 明 主编
责任编辑/赵连光

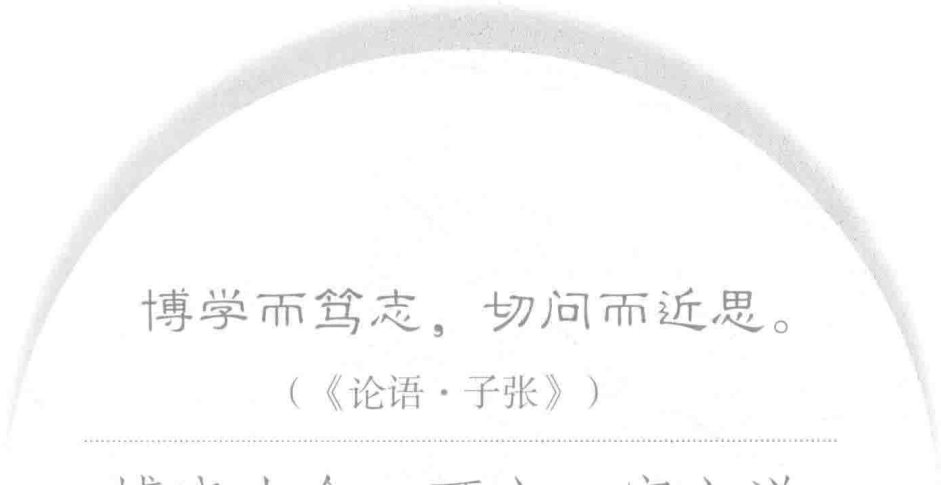
复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编:200433
网址: fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售: 86-21-65642857 团体订购: 86-21-65118853
外埠邮购: 86-21-65109143 出版部电话: 86-21-65642845
上海华业装潢印刷厂有限公司

开本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 298 千
2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-13799-6/J·368
定价: 48.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司出版部调换。
版权所有 侵权必究





博学而笃志，切问而近思。

（《论语·子张》）

博晓古今，可立一家之说；
学贯中西，或成经国之才。

内容提要

色彩是艺术设计中最重要要素之一，是设计师可以向用户传达产品或者作品情感的重要手段。现代化的产品设计及加工制造过程中，色彩从构思到显示器呈现，最终在不同载体上复现，需要经历复杂的加工生产工艺，而如何表达、沟通、重构以及评价色彩复现则离不开现代色彩学。本书首先对影响颜色知觉的四大要素进行阐述，然后较系统地阐述颜色的描述、彩色图像中常用颜色模式以及最新的CIE色度系统等，最后通过大量的案例分析，让学习者了解和掌握颜色复现过程中的控制技术，最终实现设计领域中色彩的“所见即所得”。

本书可作为设计类、印刷、包装等专业的本科、研究生学习色彩学的教材，也适合从事与设计及色彩相关工作的人员参考。

目录

Contents

第一篇 颜色与视觉

第一章 光与色觉 / 003

- 第一节 颜色的产生 / 003
- 第二节 光的本质与组成 / 005

第三章 色彩视觉理论 / 020

- 第一节 三色学说 / 020
- 第二节 四色学说 / 024
- 第三节 阶段学说 / 026

第二章 视觉的生理基础 / 011

- 第一节 眼睛的构造及功能 / 011
- 第二节 视觉通路 / 014
- 第三节 视觉功能 / 015

第四章 人眼视觉特征 / 028

- 第一节 人眼视觉 / 028
- 第二节 人眼非正常视觉 / 036
- 第三节 人眼错觉 / 037

第二篇 颜色科学的基本理论

第五章 色彩的描述 / 047

- 第一节 色彩的心理三属性 / 047
- 第二节 孟塞尔颜色系统 / 052
- 第三节 PANTONE 专色系统 / 057
- 第四节 色谱表色法 / 060
- 第五节 其他常见的颜色显色表色系统 / 062

第七章 均匀颜色空间与色差计算 / 077

- 第一节 CIE 标准色度系统 / 077
- 第二节 均匀颜色空间 / 079
- 第三节 常见色差公式 / 080

第六章 颜色的数字化描述方法 / 064

- 第一节 RGB 模式 / 064
- 第二节 CMYK 模式 / 065
- 第三节 Lab 模式 / 071
- 第四节 其他色彩模式 / 072

第八章 颜色的测量 / 084

- 第一节 主观目视颜色测色法 / 084
- 第二节 仪器颜色测量法 / 084

第九章 色彩复现质量评价的照明与观察条件 / 094

- 第一节 色评价照明与观察的相关概念 / 094
- 第二节 彩色印刷品色评价的照明和观察条件 / 097

第三节 彩色显示器色评价的照明和观察条件 / 100

第四节 彩色电视色评价的照明和观察条件 / 101

第三篇 颜色复制与色彩管理**第十章 颜色复制的基本理论 / 105**

- 第一节 颜色混合 / 105
- 第二节 颜色复制的目标与问题 / 108

第十二章 色彩管理的基本理论 / 121

- 第一节 色彩管理的必要性 / 121
- 第二节 色彩管理技术的发展 / 124
- 第三节 色彩管理的基本概念 / 125

第十四章 显示器的色彩管理 / 142

- 第一节 显示器的显色特性 / 142
- 第二节 sRGB 标准颜色空间 / 143
- 第三节 显示器的校准 / 144
- 第四节 显示器的颜色特征化 / 145
- 第五节 显示器色彩管理的应用 / 161

第十六章 输出设备的色彩管理 / 176

- 第一节 输出设备的显色特性 / 176
- 第二节 输出设备的颜色特征化原理 / 177
- 第三节 输出设备（彩色打印机）的校准 / 184
- 第四节 输出设备（彩色打印机）ICC 特性文件的创建 / 189
- 第五节 输出设备 ICC 特性文件的应用 / 193

第十一章 色彩复制的流程 / 110

- 第一节 颜色的获取与分色处理 / 110
- 第二节 颜色调整 / 112
- 第三节 颜色的合成 / 116
- 第四节 彩色印刷品的实现方法 / 117

第十三章 色彩管理的基本原理 / 132

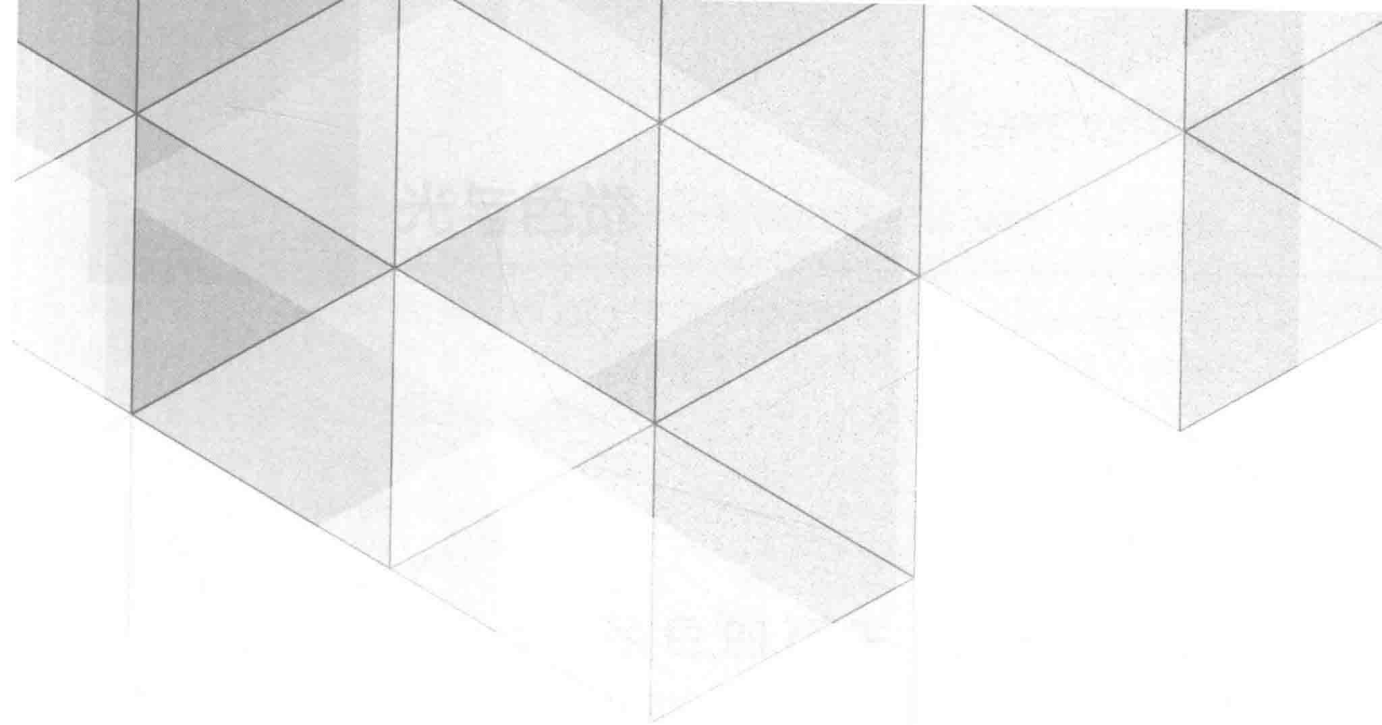
- 第一节 封闭式和开放式色彩管理 / 132
- 第二节 ICC 色彩管理方案 / 134
- 第三节 ICC 色彩管理机制 / 139
- 第四节 ICC 色彩管理的实施步骤 / 140

第十五章 输入设备的色彩管理 / 162

- 第一节 输入设备的显色特性 / 162
- 第二节 输入设备的校准 / 162
- 第三节 输入设备的颜色特征化原理 / 165
- 第四节 输入设备的采样色标 / 166
- 第五节 输入设备 ICC 特性文件的创建和使用 / 170

第十七章 色彩管理的应用 / 198

- 第一节 ICC 特性文件的使用 / 198
- 第二节 Photoshop 软件中的色彩管理 / 199
- 第三节 PDF 中的色彩管理 / 217
- 第四节 驱动程序中的色彩管理 / 221
- 第五节 操作系统中的色彩管理 / 228



第一篇

颜色与视觉

第一章 光与色觉

第一节 颜色的产生

颜色在我们身边无处不在,白天当我们睁开眼时,就可以看见五彩斑斓的世界。无论是大自然创造出的“日出江花红胜火,春来江水绿如蓝”的绚烂美景,还是设计师、画家、插图师大胆设计出的颜色组合和视觉效果,都给我们带来无穷的美感和享受。色彩自古以来就受到人们的关注和研究,早在旧石器时代晚期的中国古代艺术中就可以发现祖先对于色彩的运用,到了春秋时期已经形成了关于颜色的一些基本概念。例如《礼记》中说:“设六色,东方青、南方赤、西方白、北方黑、上绿下黄。”这里和方位联系在一起的六种颜色,与今天现代颜色理论定义的六种基本色(彩色——黄、红、蓝、绿;非彩色——黑和白)基本一致。从20世纪30年代以来,以颜色为研究对象的色彩学作为一门新兴的交叉学科发展起来,受到了有关学科和工业领域——特别是艺术设计、颜色复制业的重视。那么颜色究竟是什么?又是怎么形成的?

这里需要特别说明的是,汉语中的“颜色”与“色彩”或“色”意义相近而稍有差别。“色彩”主要指红(R)、橙(O)、黄(Y)、绿(G)、蓝(B)、紫(V)等彩色,并且含有光泽、色泽的意思;“颜色”或“色”通常泛指一切色,既包括上述彩色,也包括白色、灰色、黑色这些非彩色。但在许多情况下它们又是通用的。例如说某一服装“颜色艳丽,彩色与非彩色配合协调,用色大胆而富有青春气息”。其中的“颜色”“色”与“色彩”意义相同。在英文中,它们确实都对应一个词“Color”或“Colour”(美国color)。本书中就采用它们意义相同的用法。

我们都知道,在明亮的环境下人眼才能看到物体的颜色,同样的物体在黑暗的环境下就看不到其颜色了。这说明颜色与光有关,一切颜色都是光刺激人眼而产生的,有光才有色,无光则无色。白色的阳光照射到山河原野上,山河原野所反射的阳光进入我们的瞳孔后刺激眼睛的感光细胞,我们才看到山河原野的颜色。月亮本身不发光,我们看到的月色是月亮所反射的阳光刺激我们的眼睛所引起的。因此,山河、原野、月亮的颜色被称为反射色。白色灯光投射到玻璃杯上,透过玻璃杯中茶水后再进入我们的眼睛。我们所看到的杯中茶水的颜色实际上是透射光的颜色。太阳、白炽灯等光源(自发光体)本身所发射

的光也可以直接进入人眼,人们就把所看到的这种光色当作光源本身的颜色。一般来讲,由反射体所反射的光刺激人眼所产生的颜色叫反射色,由透射体所透射的光刺激人眼所产生的颜色叫透射色,反射色与透射色合称物体色。由光源自身发光刺激人眼所产生的颜色叫光源色。

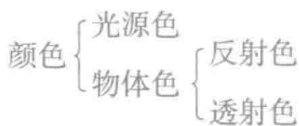


图 1.1 颜色的分类

颜色也是人的感觉、外界的刺激和人的知觉(记忆、联想、对比等)共同作用于人脑中产生的感觉。我们睁开眼睛,就可以看见千变万化的颜色,同时感知到各种颜色代表的象征意义。就像绿色是树叶的颜色,也是指示交通中车辆前进的信号;红色是花的颜色,同时又是引起司机注意、指示交通中车辆停止前进的信号。因此,颜色知觉是色光刺激人眼以后在人的大脑中产生的一种知觉。光源、颜色物体、眼睛、大脑,这些要素不仅使人产生颜色感觉,而且也是人能正确判断颜色的条件。具体地说,颜色的形成过程是:①光源的光线照射在颜色物体上,颜色物体根据自身的化学特征对光进行选择性地吸收后,将其余的光线透射或反射出来,这部分光线最后到达人眼;②光源的光线直接到达人眼,给人眼的感觉细胞以刺激,刺激再传输到大脑中,在大脑中将感觉信息进行处理,于是形成了颜色感觉。颜色感觉总是存在于颜色知觉之中,很少有孤立的颜色感觉存在,习惯上常把颜色感觉称为颜色视觉。

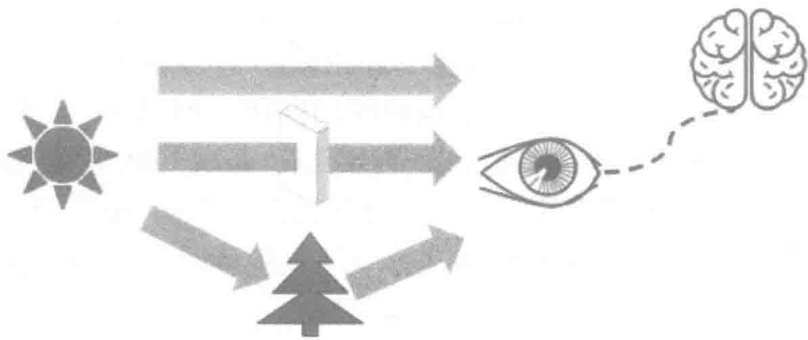


图 1.2 颜色感觉的形成

颜色是一种物理刺激作用于人眼的视觉特性,而人的视觉特性是受大脑支配的,是一种心理反应。所以,颜色感觉不仅与物体本来的颜色特性有关,而且还受时间、空间、外表状态以及该物体周围环境的影响,同时还受个人的经历、记忆力、看法和视觉灵敏度等各种因素的影响。简言之,我们所看到的颜色,是光线的一部分直接或间接由有色物体反射或透射刺激我们的眼睛,在头脑中所产生的一种反应。

颜色感觉与听觉、嗅觉、味觉等都是外界刺激人的感觉器官产生的感觉。光线没有颜色,它只是某种能量辐射,而颜色则是人对这种能量辐射的心理响应。人们通过颜色感觉就可辨认出此物体的明亮程度(明度)、颜色类别(色相)、颜色鲜艳的程度(彩度)。外界光刺激——色感觉——色知觉过程是个复杂的过程,它涉及光学、光化学、视觉生理、视觉心理等各方面问题。光源的辐射能和物体的反射或透射是属于物理学范畴的,而大脑和眼睛却是生理学和心理学研究的内容。但是颜色永远是以物理学为基础的,而颜色感觉总包含着色彩的心理作用和生理作用的反应,使人产生一系列的对比与联想。

值得特别提出的是,人们之所以能认识和辨别世界万物,除了利用触觉以外,主要是通过眼睛看到了它们的颜色与形状,而一切物体的形状,也是通过颜色的差别和组合来表现,如在白纸上只有使用不同于纸白的颜色,才能绘制出人眼可以看到的图形。其中色彩比形状具有更直观、更强烈、更吸引人的魅力,常常具有“先声夺人”的力量,能先于形状来影响人的感官,所以我们常常听到这样的说法:远观颜色近看花,七分颜色三分花。人们观察物体时,视觉神经对色彩反应最快,其次是形状,最后才是物体表面的质感和细节。因此,广告和装潢的设计者采用新奇的颜色吸引顾客,达到宣传商品、推销商品的目的;艺术家利用色彩来表达艺术思维和空间表现,达到塑造人物、美化环境的效果。

第二节 光的本质与组成

在古代,人们把颜色看成自然现象,黄的土地、红的火焰、昼夜黑白交替,是万物生来就有的特征,这种见解出现在科学不发达的古代社会不足为奇。而今,从本质上来说,颜色是一种光学现象,是光刺激人眼的结果。我们在日常生活中有这样的经验,在没有灯光的黑暗房间里,根本感觉不到颜色。这就是设计色彩学上的一个重要规律:有光才有色。这说明,光是人们感知颜色的先决条件,没有光,颜色无从谈起。光是颜色的源泉,颜色是光的表现。而所有本身不发光的物体,其颜色只是反射或透射不同颜色的光所形成的。在阳光的照射下,绿叶反射绿色光,红花反射红色光,各种色彩争奇斗艳。而随着夜幕的降临,无论多么艳丽的色彩都将感觉不到。简而言之,一切色彩都离不开光。

从色彩学的观点来说,光的定义:能对人的视觉系统产生明亮和颜色感觉的电磁辐射。所以,光是刺激人眼睛的电磁辐射,这种电磁辐射与紫外线、红外线以及其他形式的电磁辐射有着不同的物理特性。

一、电磁波谱

电磁辐射包括 γ 射线、X射线、紫外线、可见光、红外线等电磁波,它们分别属于电磁波的不同波段,如图1.3所示。 γ 射线是由于核衰变产生的,X射线通常是由于原子的内层电

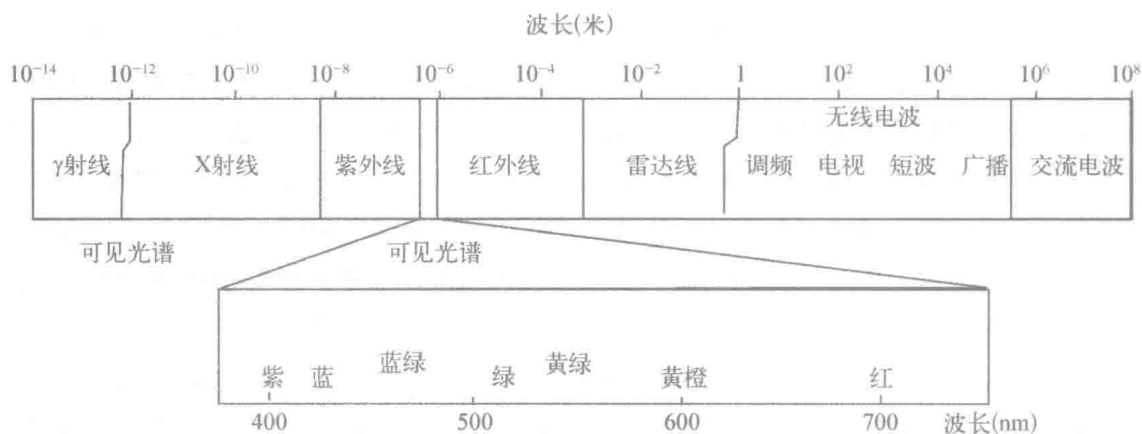


图 1.3 电磁波谱

子跃迁产生的。紫外线、可见光、红外线这三种光线合称为光辐射,它们是由于原子的外层电子跃迁产生的。

二、可见光谱

可见光是能引起人眼明亮感觉的电磁波。按照国际照明委员会(CIE)和国家标准的规定,可见光的波长区间是380~780 nm,相对电磁波辐射来说,这是一个非常窄的波长范围。可见光的波长极其微小,用nm(纳米)或 $\text{\AA}$ (埃)表示, $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$, $1\text{ \AA} = 10^{-10}\text{ m}$ 。

实验表明,波长超出这一范围的电磁波虽然能引起人眼的痛觉或其他的刺激效应(例如流泪等),但是不能产生明亮感觉。本书中的“光(light)”就单指可见光。可见光的波长范围虽然只有400 nm,却使得人类的眼睛能够区分客观世界色彩斑斓的无数种颜色(color)。当在实验室中用一个个单一波长的可见光分别刺激人眼时,就会发现人眼对不同波长的单色光能够产生不同的颜色感觉,这说明人眼的颜色感觉来源于不同波长的单色光。

光的物理性质由它的波长和能量来决定。波长决定了光的颜色,能量决定了光的强度。光映射到我们眼睛时,波长不同决定了光的色相不同。波长相同,能量不同,则决定了色相明暗的不同。牛顿曾经将白色的阳光投射到三棱镜上,研究了白光的色散。白光经过三棱镜折射以后,分解成了红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色,如图1.4所示,它实际上是一条红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的七彩光带,光带的颜色是逐渐过渡的。



图 1.4 可见光谱

波长和颜色同步连续变化的各种单色光可以构成一个可见光谱。图1.3的下面部分和图1.4表示的都是可见光谱。确切的数据如表1.1所示。

表 1.1 可见光谱

颜 色	英 文	代 号	波长范围	波长间隔大小
红色	Red	R	780~622 nm	159 nm
橙色	Orange	O	622~597 nm	26 nm
黄色	Yellow	Y	597~577 nm	21 nm
绿色	Green	G	577~492 nm	86 nm
蓝色	Blue	B	492~455 nm	38 nm
紫色	Purple (Violet)	P (或 V)	455~380 nm	74 nm

由于青色(Cyan)波长范围很窄,介于蓝、绿之间,将它包含在蓝色中。以上这些色光都可以从白光的色散光谱中得到,我们称它们为光谱色。除了光谱色以外,还有一种紫红(品红,Magenta)色光,也比较常见,它是由红色与紫色混合而成的,色散光谱中没有它,我们称它为非光谱色。

通过棱镜折射获得的分解色光,如果再通过一次棱镜的折射,是不可能再继续分解,这种不能再分解的色光称为单色光(即,光谱色光)。单色光指单一波长的色光,由单色光混合生成的色光称为复色光,复色光指多种波长合成的色光。自然界的太阳光、白炽灯和日光灯发出的光都是复色光。值得强调的是:一种复色光可以和一种单色光有相同的色相。例如同为黄色,可以通过棱镜折射直接获得的单色黄光,也可以是通过红光和绿光混合生成的复色黄光。人眼对这两种黄光的感受是一样的,即,一种颜色的感觉并不只对应一种光谱的组合,单色光或两种成分完全不同的复色光可能引起的颜色感觉完全一样。这说明人眼虽然能够对不同的单色光产生不同的颜色感觉,却不能识别复色光的光谱组成,这是人类颜色视觉所具有的一种非常奇妙的性质,这种现象称为同色异谱现象,这两种颜色被称为同色异谱色。

还要强调一点:光波本身并没有色彩,色彩是通过人的眼睛和大脑产生的。牛顿在《光学:或关于光的反射、折射、弯曲和颜色的论文》中明确指出,“光线并没有颜色……只有某种能激起这样或那样颜色感觉的本领或倾向”“在光线里面它们不过是把这样或那样的运动传播到感觉中枢中去,而感觉中枢则以颜色形式再现这些运动的许多感觉”。简而言之,光线没有颜色,它只是某种能量辐射,而颜色则是人对这种能量辐射的心理响应。

自然界中的物体可分为两类:发光体和非发光体。发光体是指光源,它能够自行向外界辐射;而除了发光体以外的物体,统称为非发光体。发光体与非发光体的呈色机理是不相同的。

1. 光源色

色彩的本质是光,没有光便没有色彩的感觉,色彩与光有着密切的关系。宇宙万物之

所以呈现五彩斑斓的色彩,是有着光照的先决条件的。通常人们把照射到白色光滑的不透明物体上所呈现的色彩叫做光源色。在物理学上,将光源对物体色的显色产生影响的这种性质叫做演色性。

一般的光源是由不同波长的色光混合而成的复色光。人们的日常生活中,光有多种来源。不同的光源,由于其中所含波长的光的(能量)比例上有强弱,或者缺少一部分,从而表现出各种各样的色彩。光源颜色的特性,取决于在发出的光线中,不同波长上的相对(能量)比例,而与光的强弱无关。光的强弱不会引起光源颜色的变化。反过来说,知道了光源的相对能量比例,就知道了光源的颜色特征。

从图1.5中可以看到,正午的日光有较高的辐射能,它除了在蓝紫色波段能量较低外,在其余波段能量分布较均匀,基本上是无色或白色的。荧光灯光源在405 nm、430 nm、540 nm和580 nm出现四个线状带谱,峰值在615 nm,而后在长波段(深红)处能量下降,这表明荧光光源在蓝绿色波段(550 nm~560 nm)有较高的辐射能,而在深红波段(650 nm~700 nm)辐射能减弱。对比之下,白炽灯光源,它在短波蓝色波段,辐射能比荧光光源低,而在长波红色区间,有相对高的能量。因此,白炽灯光源,总是带有黄红色。红宝石激光器发出的光,其能量完全集中在一个很窄的波段,大约为694 nm,看起来是典型的深红色。

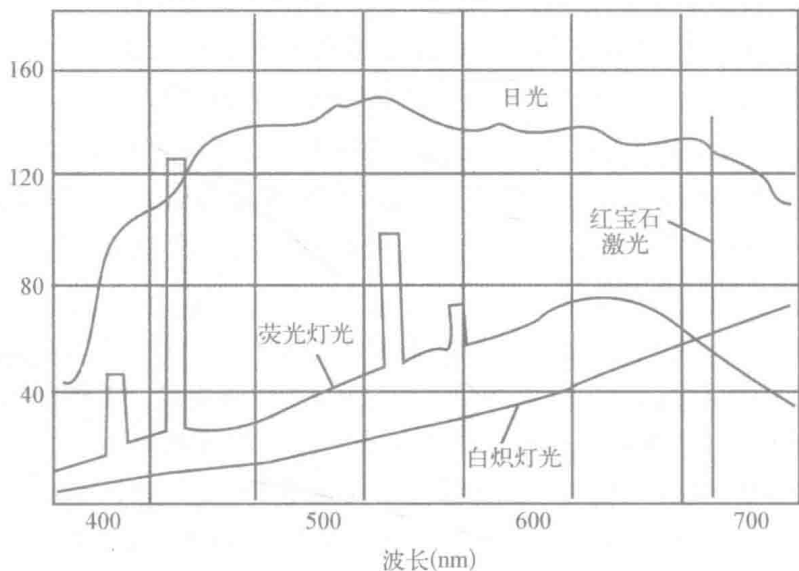


图1.5 几种常见光的光谱功率分布

2. 非发光体的颜色形成

除了自身能发光的物体有颜色外,自然界中几乎所有的非发光体也都能呈现一定的颜色,人们往往以为我们所看到的物体的颜色是物体自身固有的,不管在什么情况下都不会改变的,其实这种看法是不正确的。那么非发光体的颜色是如何产生的呢? 其实,色的

起源是光,有光才有色,如果没有了光的存在,也就谈不上什么物体的颜色了。我们知道,白光中包含了所有的色光,不同的波长的光具有不同的颜色,人的视觉器官能够分辨出不同的颜色。非发光体只有在光的照射下才能呈现出颜色,如果没有光,根本看不到物体,自然也就看不见颜色。所以,物体显示出的颜色,其源头是光的颜色。

世界万物本身都是无色的,光照射到物体上会发生诸如透射、吸收、反射、漫射、散射、折射和衍射等许多物理现象,但是对色彩成因起主要作用的是透射、吸收和反射。

一束光投射到物体表面上时,部分的光会被反射。由于物体表面的情况不同,反射可以分成三种类型:① 镜面反射,② 完全漫反射,③ 镜面反射和漫反射兼有。图 1.6 中的图(a)表示镜面反射,反射光束与入射光束完全遵守反射定律,反射率一般小于 1。图 1.6 中的图(b)表示完全漫反射,对于任何波长的入射光,反射光通量都等于入射光通量,即光谱反射率 $\rho(\lambda) \equiv 1$,而且反射光通量的分布严格遵守余弦规律。在图(b)中用箭头的长短代表光通量的大小,所有箭头的末端正好构成一个球面,球面的最低点就是光的入射点。这种漫反射面在各个方向上的亮度都相等。它的反射光实际上就与入射光相同。完全漫反射是反射色的测量标准,因为它的反射光就等于入射光,而且各个方向上的亮度都相等。但是,它只是一种理想的反射面,在实验室中不可能制造出这种反射面。图 1.6 中的图(c)表示一般的反射面,在符合反射定律的方向上反射光通量较大,其他方向上反射光通量较小,这种反射面的反射率也都小于 1。

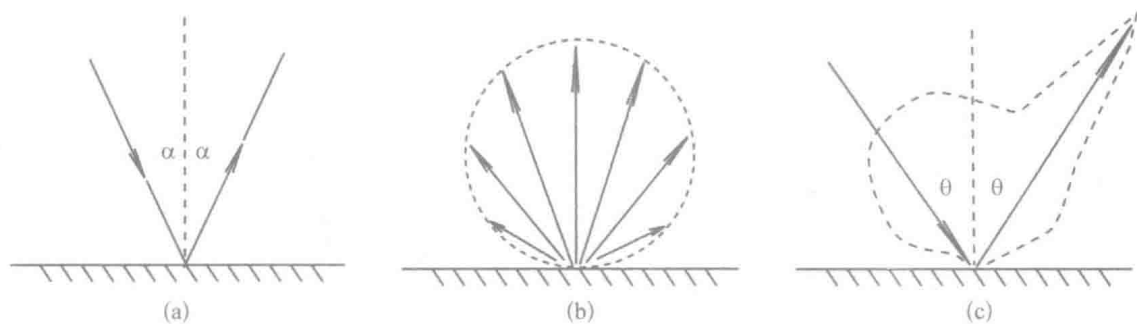


图 1.6 反射光的分布

光入射到一块透明介质时,一部分光被反射,而另一部分光则折射进入媒介。进入媒介的光又有一部分被媒介吸收、散射,其余的光透射媒介从另一界面透射出来。

光除了反射、透射以外,也会被吸收。如果某种材料吸收了一定波长的光,它就会显示出颜色来,如果全部吸收了所有光,则该材料就是黑色的,是不透明的。白光照射在物体上,由于物体吸收了部分波长色光使物体呈色的现象,称为选择性吸收。

当光照射到物体的表面时,一部分光被物体吸收,而另一部分光被物体反射或透射了。只是由于它们对光谱中不同波长的光吸收、反射、透射不同,才决定了它们的色彩不同。没有光线,我们看不到物体的色彩;有光线,我们则可以感受到色彩,而且在不同的

光谱组成的光照射下,所呈现的色彩还有所差异。对于同一个物体来说,它只吸收一定波长的光,同时反射或透射剩余波长的光,反射或透射的光进入到人的眼睛,人的视觉器官就看到了物体,有了颜色的感觉。人们所看到的物体的颜色,是物体反射光或透射光的颜色,而并非物体自身的颜色。物体对光固定的吸收和反射或透射是物体的光学特征。同一物体,它的光学特征都是固定的,它对光的作用也是一定的,因此物体显示出一种固定的颜色。一种物体,如果它能吸收所有的,那么就意味着它没有反射或透射光线,也就没有光刺激人的视觉器官,所以物体是黑色的。如果一个物体能全部地反射可见光,则物体是白色的。如果物体能完全地透射可见光,它就呈现无色的透明体。而大部分的物体,是吸收一部分可见光,反射(透射)另一部分光,那么,物体的颜色就是由反射(透射)出的光线的光谱成分决定的。比如红色物体,之所以呈现红色,是因为它能反射可见光中的红色成分,而对于其他色光则全部吸收,这部分反射的红光在人的视觉器官中形成红色的感觉。反射体的颜色取决于反射光的波长及光谱功率分布,透射体的颜色取决于透射光的波长及光谱功率分布。