

第一章 颜色的定义

第一节 概 述

本书讲述有关颜色、着色剂、材料着色以及通过成像复制材料的颜色的知识。“颜色”一词有很多意思。在本书中，颜色指的是某种光以及它对人眼的影响，或者是（最重要）这种影响在观察者的大脑里产生的结果。我们描述了有关颜色的各个方面，并把它们关联起来。

从另一方面来讲，着色剂是纯粹的物质的东西。它们是用于材料着色的染料和颜料。“着色”是一个物理过程，是将染料用于纺织物中，或通过分散将颜料加入涂料、油墨和塑料中，或者将荧光物质引入到阴极射线管（CRT）显示器内表面上。本书的一个部分致力于描述这些物质和过程。

但是颜色不仅仅是物理的东西。颜色是我们所看到的——以及我们对此多次重复——正如人眼发觉（称做反应过程）和在大脑里翻译（称为感知过程，这涉及到心理学）的着色剂对光的物理改变的结果。这是一连串非常复杂的过程。为了描述颜色及着色，我们必须了解它各个方面的知识。本书的很大一部分都在讨论这些问题。

在广义上对颜色理解后，我们就可触及一些涉及颜色的商业问题。这些问题涉及到回答这样一些问题，比如，“这个样品与昨天或上周、或去年做的样品颜色相同吗？”“这批料与标准相同吗？”“这种复制的像与原件相匹配吗？”（或更简单：“这两种颜料匹配吗？”）、“我用什么着色剂，用多少着色剂才能得到这种颜料？”、“我怎样选择着色剂，使它在某种应用中性能令人满意？”

过去这些问题的大多数只有主观的答案，并且都是根据受过训

练的配色师的技术与记忆而得出的。所幸的是，通过颜色技术原理的应用以及颜色测量的使用，现在可以提供客观的答案。我们认为颜色技术在工业方面的大量应用是客观意向。

总括起来，我们提供了对颜色、颜色控制、着色、颜色复制以及着色剂领域——这是一个非常复杂的领域的现状有一个简要的概略。为了简化，我们略去了很多其他知识。在省略的过程中，我们非常矛盾：我们愿意提供我们最好的现行观点，而不是一个对任何问题的所有方面的研究评价。但是我们又希望我们的读者受到鼓舞，寻求有关上面仅简要触及的问题的更详细、更多变的信息。

本书不是一本针对任何过程或任何行业的“怎么做”的手册。它不会告诉你以最低的成本，用乙烯基塑料制造一个米黄色罩子的最佳方法；它也不会提供一个对生产户外涂料时，避免使用什么样的着色剂的详尽研究。它主要告诉你的是，从原理上如何避免上述的米黄色在钨丝灯照射下退色；它要告诉你的是怎样选择具有良好耐候性和其他技术指标的颜料。

本书不是一本工具性手册或仪器目录；它不会告诉你怎样操作任何一台具体的测色仪器来测量某给定材料的样本。它要告诉你的是哪种类型的仪器可以利用，用它们可以做什么，不可以做什么以及怎样充分利用这些仪器。

本书不是一本关于颜色理论的数学专题论文。但是有一些东西没有数学是没法说清楚的。一些东西采用简单的（图表或方程比采用大量的文字来说明要更容易一些。我们毫不犹豫地使用最好、最简单的）方式来表达我们的想法。对于那些认为只有通过数学处理才能全面了解颜色技术的人，在本书中我们提供了一个附录，它以数学的方式来描述几个普通的颜色计算。

本书不试图给出使用颜色的“最好”的方法，不给出使用着色剂的“最好”方法，或用于任何用途的“最好”的着色剂。这些是至关重要的应用问题，但是要回答这些需要比编这本基础书还要多的知识。对于这些问题以及其他我们不讨论的问题，有参考文献可供查阅。

第二节 物理刺激

要对颜色进行描述，我们必须谈一谈物理作用，比如以光的形式产生的光刺激和主观结果，比如在眼睛和大脑里或者叫视觉系统接收到这种刺激并对其进行翻译（见图 1-1）。由于颜色只存在于观察者的脑子里，这些后续的影响对我们更为重要。为了有助于理解，我们首先考察相对简单一些的颜色物理性质方面的问题。

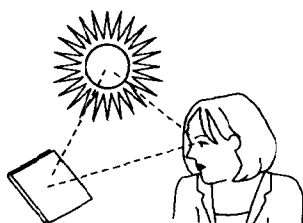


图 1-1 光源、物体、眼与
大脑的相互作用
(或者说是视觉系统产生颜色)

产生色刺激，即能产生颜色的视觉系统的物理输入的方式有很多。

Nussau 定义了 15 种产生颜色的原因，包括振动的、分子的以及光学作用（Nussau 1983）为了便于说明，我们将这些原因划分成两类：一类是色光与我们的视觉系统直接作用，产生了所谓的非相关色，另一类是光源与材料相互作用产生色光，即得到了相关色。尽管我们很容易将颜色与物体联系起来，但是，这种相互作用最终决定了物体的颜色。光源、物体和观察者三者之中改变一个或多个，都将使颜色发生巨大的变化。

Nussau 有关产生颜色的 15 种原因（1983 年）如下：

- 白炽化
- 气体激发
- 振动和转动
- 过渡金属化合物
- 过渡金属杂质
- 有机化合物
- 电荷转移
- 金属
- 纯半导体

- 掺杂或活化半导体
- 颜色中心 (color center)
- 扩散折射
- 散射
- 干涉
- 衍射

非相关色：从背景全暗的面上感知的颜色 (CIE 17.4)。

相关色：在背景存在其他颜色时，观看某个面而被感知的颜色 (CIE 17.4)

相关色是相对于其他色刺激感知到的颜色。当我们刷涂料时，我们就在创造相关色。如将一张纸着色成浅棕色，然后在一个光线非常暗的屋子里用一个高强度手电筒照射着色区域。这时你会观察到是橙色。因为它是一种非相关色，我们的感知大大改变了，见 Bartleson (1976) 和 Uchikawa (1989)。

一、光源

可见辐射是一种能量的形式，它是包含无线电波和 X 射线以及

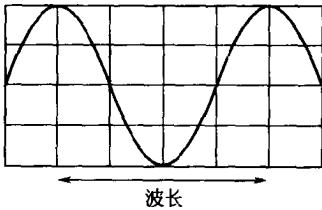


图 1-2

及紫外线和红外线这个家族中的一分子。我们肉眼能见的辐射称为可见光。光可以用波长来描述，对于波长而言，纳米 (nm) 是一个用起来非常方便的长度单位，1 纳米等于 10^{-9} 米。辐射可以描述成是波，两个相邻波峰的间距称为波长 (见图 1-2)。

可见光与其家族的其他成员的关系如插页彩图 1 所示。肉眼的相对不灵敏度使光谱的可见光部分限制在一个非常窄的谱带里，大约在 380 ~ 780nm 之间。其中蓝光光辐射的波长大约小于 480nm；绿光大致在 480 ~ 560nm 之间；黄光在 560 ~ 590nm 之间；橙光在 590 ~ 630nm 之间；红光的波长大于 630nm。由光谱两端的红光与蓝光混合产生的紫光，是一种普

通的色光，但在光谱中没有。

我们认为是光源的很多物体——太阳、灯泡灯丝的热金属、日光灯等都发白光或接近白光的光。在很多年前，牛顿（1730）用棱镜将光分解成了光谱，这表明白光通常由所有可见光组成（见插图彩图 2）。任何光源发出的光都可用在每个波长发射的相对功率（或光量）来表示（因为能量简单表示为功率 × 时间，所以“能量”一词已代替“功率”，光源辐射的功率是波长的函数，用功率对波长作图得到光源的光谱功率分布曲线。平均太阳光的光谱功率分布曲线就是这样的一个典型例子。一定要注意曲线的纵坐标的单位是相对功率。按照惯例，光谱分布要进行归一化处理，因此将它 在 560nm 处的功率定义为 1（见图 1-3）。光源的光谱功率就是相对它在 560nm 处的功率来定义的。

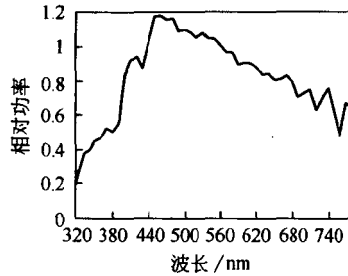


图 1-3 典型白昼光在每个波长的相对光谱功率分布（或归一化后的功率）（CIE 15.2, ISO/CIE 10526）

通常要在 560nm 处对标准光源和照明体的光谱功率分布进行归一化处理，结果得到相对光谱功率分布。即

$$S_{\lambda} = \frac{E_{\lambda}}{E_{560\text{nm}}}$$

式中， E_{λ} 是一系列功率测量值中的一个。具体地讲， E_{λ} 表示每单位面积的瓦特数，面积用平方米表示，叫做光谱辐照度。

有一类非常重要的光源称之为黑体，但它的名字容易使人误解，因为它们只有在冷的时候才显示黑色。一旦受热，它就像金属一样发光，刚开始时像热电炉那样发出暗红色的光，然后逐渐变得像白炽灯泡灯丝那样，越来越亮，越来越白。真正的黑体应当是中空的加热室，由于其特殊的光谱功率分布而变得重要，它们的颜色只取决于它们的温度，而不是取决于它们的组成。黑体的温度称之为

为色温。比如普通白炽灯泡钨丝接近黑体，但它们的色温与它们的真正温度不是十分的一致。

色温：黑体辐射体的温度用开尔文（K）表示（K代表开尔文，即绝对温度，开氏温度是通过在摄氏温度加上 273 得到的。）

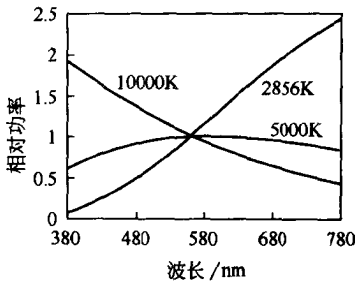


图 1-4 黑体辐射体
(或普朗克辐射体)
在 2856K、5000K 和 10000K
色温的相对光谱功率分布

三个黑体的相对光谱功率分布曲线如图 1-4 所示，这些温度是颜色问题感兴趣的色温范围。2856K 的曲线是 100 瓦白炽灯泡的典型光谱功率分布，5000K 的曲线是真正太阳光的颜色范围。10000K 代表的是计算机监视器的颜色。然而值得注意的是，如图 1-3 中的光谱功率分布曲线所示，真正的太阳光不是黑体，很多其他实际应用的光源包括荧光灯和各种弧光灯也不是黑体。

大多数弧光灯，如水银灯、氙灯和钠光灯不发射所有波长的光，只发射一些弧光材料的特征波长的光。正如到目前为止我们描述的那些，它们的光谱功率分布不连续。而且它们发射的功率集中在一个较窄的波长区域。利用这些弧光灯时，它们会产生较大的色错觉，正如司机在一个用低压钠灯照明的停车场寻找他们的车时产生的色错觉那样。这些弧光灯的显色性极差。因此，金属卤化灯泡的使用变得更加普及。

显色性：照明体对物体色表的影响（通过有意识或无意识与参考标准照明体下物体的色表进行比较）（CIE 17.4）。

荧光灯是通过在玻璃管内壁涂覆上荧光物质，然后在管内充入水银蒸气制得。通过水银蒸气传导的电子产生的水银电弧使荧光物质发光，所发荧光通常具有连续的光谱功率分布。荧光灯可产生较宽范围的光谱功率分布，这取决于特定的荧光物质。由于其组成，荧光灯的光辐射同时具有连续和窄带（线）成分。

很多非黑体光源可用黑体色温来描述，这些黑体大多在视觉上很相像，这就是所谓的相关色温。如插页彩图 3 和图 1-5~图 1-8 所示，这些光源的光谱功率分布与黑体的光谱功率分布不同。Robertson (1968) 描述的方法最常用于计算相关色温，尽管也发现了其他方法 (Schanda 1978, Krystek 1984, Xingzhong 1987, McCamy 1999a)。当我们考虑到从物体的反射光和透过物体的透射光时，这个早在 100 多年前就得到认可 (Grassmann 1853) 的发现将会受阻。许多不同光谱分布的光源能产生与我们称之为颜色的相同的视觉效果。然而物体或光源的颜色不能告诉我们它的光谱功率分布的本质特性。反之亦然：仅有光谱功率分布的知识还不能描述颜色。

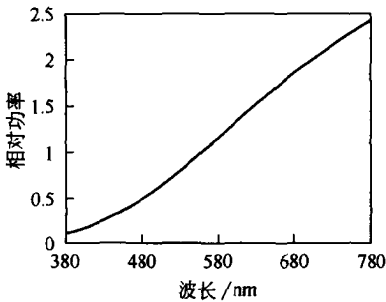


图 1-5 CIE 照明体 D50, D65 和照明体 C 的光谱功率分布 (CIE 15.2, ISO/CIE 10526)

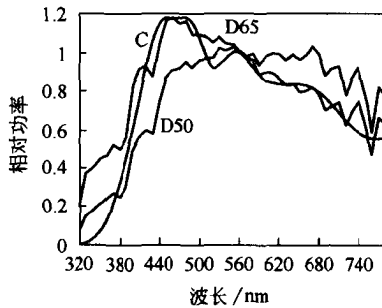


图 1-6 CIE 标准照明体 A 的相对光谱功率分布 (CIE 15.2, ISO/CIE 10526)

相关色温：与具有相同亮度刺激的颜色最相似的黑体辐射体的温度，用 K 氏温度表示。

插页彩图 3 光源的光谱功率分布对显色性的影响可用光源、物体和观察者的已知性能来模拟 (Johnson 1999)。对显色性的影响可以很小也可以很大，这取决于试验照明体的特定的光谱功率分布。CIE 研究出一种方法用一组标准化的、定量的参数来描述显色性的变化，在这种方法中由试验光源导致的颜色变化要与参考照明

体相比较 (CIE 13.3)。注意观察 8 个球在冷白荧光灯、高压钠灯和金属卤化物灯照射下与在白昼光照射下的颜色变化 (图片提供 : G. Johnson)。

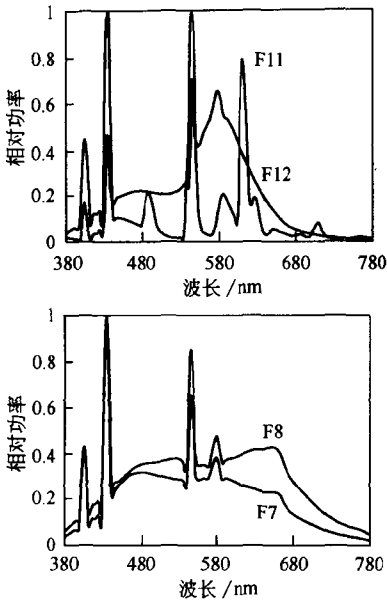


图 1-7 CIE 标准照明体

F2 (冷白荧光)、 F7 (白昼光荧光)、 F8 (白昼光荧光) 和 F11 (窄带荧光) 的相对光谱功率分布 (CIE 15.2, ISO/CIE 10526) (照明体 F7 和 F8 通常分别用灯, 于模拟 D65 和 D50)

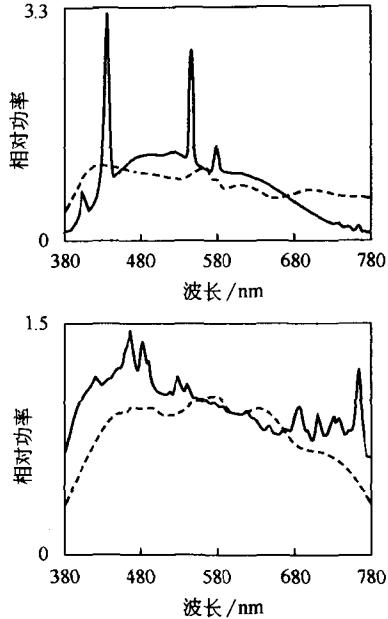


图 1-8 常用于模拟 CIE 照明体

D65 的光源的相对光谱功率分布 注 : 上面的曲线表示的是用于光室 (light booth) 的光源。下面的曲线表示的是用于光谱光度计中的光源。蓝线表示荧光 (绿线表示氙气灯, 红色点划线表示的是滤光后的钨丝灯)。

许多光谱功率分布由国际照明委员会 (International Commission on Illumination 或 CIE) 来定义并用于颜色的描述 (CIE 15.2, ISO/CIE 10526) [这些及其他的 CIE 数据, 可以从它们的网址下载, 网址为 : <http://www.cie.co.at/cie/>。美国材料试验学会 (ASTM) 也公布了一些数据和分布 (distributes)。比如 ASTM

(1996)。]，这些特定的相对光谱功率分布参数在 CIE 术语中称做标准照明体。他们以实实在在的标准，如黑体辐射体为基础，或以测量光的统计表示法为基础。白炽光表示为标准照明体 A，它与色温为 2856K 的黑体辐射体相同。自然白昼光定义为标准照明体 D (Condit 1964, Judd 1964)。D 系列标准照明体指具有较宽相关色温范围的白昼光光谱功率分布的照明体。涂料工业、塑料工业以及纺织工业都采用 D65，它是相关色温为 6500K 的 CIE 白昼光。印刷领域和计算机工业采用 D50。在 D 系列研究开发出来以前，工业上使用标准照明体 C，它是通过在照明体 A 上装一套液体滤光器得到的。由于该标准照明体不能理想地代表白昼光，故不推荐使用。F 系列标准照明体是一系列包括标准冷白照明体、暖白照明体、“全光谱照明体”和三带照明体在内，总计有 12 个照明体的荧光灯。最常见的 F 系列照明体的相对光谱功率分布如图 1-7 所示。

在所有这些照明体中，只有 A，C 和 F 系列可以容易地复制。CIE 对标准光源和照明体做了比较，得出了二者的差别。光源 A 是一种可以开关的用于对颜色目视评估的一类真正的物理光。具体地讲，它被看做是一种标准光源。到目前为止，标准光源只有照明体 A 和照明体 C。过去，光源的定义伴随着相对应的照明体。自从 20 世纪 60 年代 D 系列照明体开发出以来，人们已经不用相应的标准光源来定义照明体了。

自从 F 系列照明体标准化以来，很多类型的荧光灯的光谱性能发生了变化。例如，用于组成照明体 F2 的传统的“冷白”系列已经不再生产。CIE 还在不断改进 F 系列照明体。尽管这些差别看起来不太重要 (Marcinik 1998)，但是我们建议在使用现行的 CIE 照明体时应格外注意。照明体在实际应用当中，我们还是愿意使用实际的光谱功率分布。Rich (1998) 在推荐应用于零售照明方面给予了指导。

光源：一种其光谱功率分布可用实验的方法来确定的、人们能感受得到的发光体。它的分布被确定和规定后，它就成了标准光源。

照明体：一种通过相对光谱功率分布来定义的一组特定数据，它能或不能被人们意识到是一种光源。如果将它转变成直观能感受得到的形式，它就成为了标准光源。

值得注意的是，设计以模拟白昼光的各种普通光源，比如配色光室里使用的那些光源，它们在光谱功率分布上与任何真实的白昼光差别很大，尽管它们也标榜为“白昼光”或可能是“D65”。在大多数配色光室它们的“白昼光”或“钨丝灯”相互之间也有差别。其他地方都不能得到任何 CIE 标准光源。这在依赖于光源性质的配色试验中尤为重要。这种配色称为条件配色，将在以后讨论。详细情况请参考 McCamy (1994) 的有关模拟用于目视测量和仪器测量的白昼光的难点的综述。

二、材料怎样改变光

当光照射在物体上时，可能发生如下的一种或几种光学现象。

(一) 透射

光线可穿过物体，而基本不发生改变，这叫做透过物体，该物体是透明的。如果物体是无色的，那么除了一小部分从物体的两个表面反射以外，绝大部分光透射穿过物体（见图 1-9）。

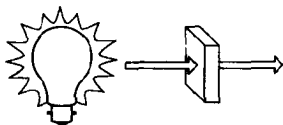


图 1-9 光线透射通过透明物体

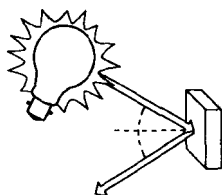
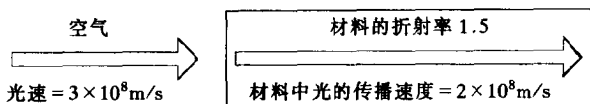


图 1-10 光线从光泽物体的光滑表面的镜面或类镜面反射
(在镜面反射中 反射角与入射角相等，并以法线对称)

光的反射以及下面将描述的更为重要的散射会在任何折射率不同的条件下发生，这样就可以测量有多少光其传播速度相比较于它在空气中的速度减慢。在折射率不同的两种材料的每一个边界，光

的传播速度会发生变化。因此，一小部分光被反射（除非在边界直角入射——即法线入射），光束的方向发生改变（见图 1-10）。对于许多普通材料，其折射率在 1.5 左右，法向入射的光线在与空气的边界上反射量约为 4%。对于其他入射角的光线方向的变化量取决于波长，另外它也能解释棱镜是如何把光分成光谱的。

折射率等于空气（严格讲应该是真空，但两个速度基本相同）中的光速与物体中光速之比。空气的折射率接近 1（见下图）



在折射率不同的边界，除一些光发生反射外，光束方向的变化量取决于折射率的变化和光束的入射方向。在图 1-11，光线以与法向成 45° 角入射，每一表面上有 10% 的光线被反射。

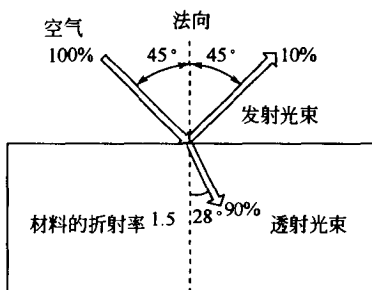


图 1-11

(二) 吸收

光除了透射以外，也被吸收，或作为可见光消失（如果

大量的光被吸收，我们能感觉到它至少有一部分转化成热能）。如

果材料吸收了部分光，它就显示出某种颜色，但是仍然是透明的；如果所有的光都被吸收，材料就是黑色的，是不透明的。

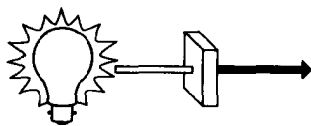


图 1-12 透明有色物体
对光的吸收

对于透明材料（见图 1-12），有关它们吸收性能是波长的函数的这些知识，可用来估计它们的颜色。

Bouguer 定律或 Lambert 定律就是用来预测颜色随材料厚度变化的规律。Beer 定律是用以预测颜色随浓度变化的规律。这些定律及

其对颜色混合物的预测将在第六章详细描述。

(三) 光 散 射

光与物体作用时会发生散射。一些光被吸收后，以相同的波长再发射出去，但是此时一部分光沿这个方向传播，一部分光又沿另一个方向传播，直到最后一些光都沿许多不同方向传播。光散射的影响既常见又重要。空气中气体分子的光散射就是天空呈蓝色的原因，光从更大粒子表面的散射使云、烟、牛奶和大多数颜料呈现出白色。

当光发生足够多的散射时（见图 1-13），我们就说光从物体表面发生了漫反射。如果穿过物体的光只有部分发生散射或部分发生透射，该物体就是透明的；如果散射非常强烈，没有光穿过物体（通常存在一些光吸收），那么该物体是不透明的（见图 1-14）。物体的颜色由发生的光散射和光吸收量及类型决定：如果没有吸收，在每一波长散射相同量的光，这时物体看起来是白色的；否则就是彩色的。

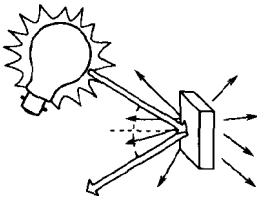


图 1-13 不透明或半透明材料的光散射

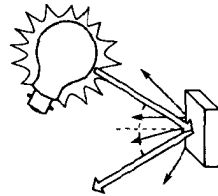


图 1-14 对不透明材料，光不发生透射

（在这种材料中一些光透射，一些（但有些光散射后产生漫反射，在不透明或光以散射的方式发生漫反射）半透明材料中光在表面都发生反射）

当光照射到与其周围物体折射率不同的微小颗粒上时，就发生光散射。光的散射量极大地取决于两种物质的折射率之差。当二者折射率相同时，不发生光散射，二者界面，正如每一位显微镜工作者所知——是看不见的。光散射量也极大取决于散射粒子的尺寸大小。小粒子几乎不能散射光。散射随粒子尺寸增加而增加，直到粒子尺寸与光波长相等，这之后，粒子尺寸再增加散射反而减弱。

因此，当颜料与所用的树脂的折射率差别很大，并且颗粒尺寸约等于光的波长时，它将是有效的光散射体。当颜料粒子尺寸非常小时，并与它们所用树脂的折射率相等时，它们几乎不散射光，看起来是透明的。因此可利用散射选择具有合适折射率差的颜料，或通过控制粒子尺寸来控制。人们可用尺寸非常小的氧化铁颜料得到透明涂层，尽管树脂与颜料有折射率差。通过控制粒子尺寸，人们可用有机颜料来得到散射，尽管它们折射率比较接近。由于散射取决于颜料粒子的尺寸，因此加工过程产生的小小变化都会对散射力产生很大的影响，从而对颜色产生影响。

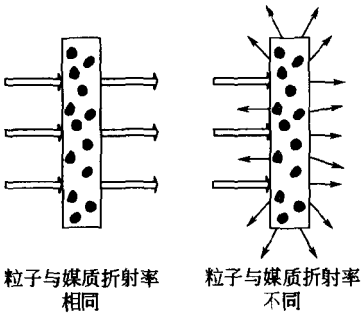


图 1-15

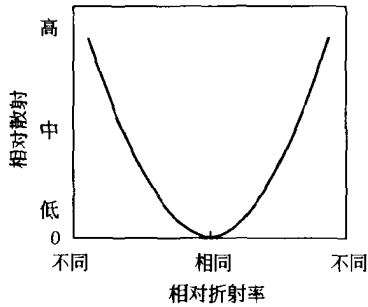


图 1-16

如果将粒子放入与其折射率相同的媒质中，不发生散射，但只要折射率存在差异，散射就会发生（见图 1-15）。粒子与其周围媒质折射率之差加大，散射加强（见图 1-16）。典型颜料中散射是粒子尺寸的函数（Gall 1971）（见图 1-17）。

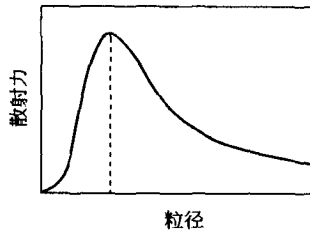


图 1-17

着色剂的吸收和散射性能是波长的函数，这点知识可使我们能预测它们的颜色。这将在第六章讨论。

(四) 荧光

大多数染料和颜料以热的形式发散吸收的光。然而荧光材料是

以更长的波长将吸收的光以二次的形式发散出去。发射的光是漫射的。荧光增白剂（FWAs）吸收波长在 300~400nm 的紫外辐射，然后在 400~500nm 以可见光的形式二次发射出去。荧光增白剂一般用于增白纸张和纺织物。荧光着色剂既吸收又发射可见光。荧光发射量由照射试样的光源光谱性质决定。其独特的性质使得对荧光物质的准确测量变得复杂。理想情况下，仪器中用以测量荧光颜色的光源的光谱性能应该与用于照射该材料的观察环境的光谱性能相同。由于这些条件很难满足，人们常用精密技术来估计 CIE 照明体如 D65 照射的荧光材料的性能。Billmeyer（1994）、Grum（1980）和 CIE（38）给出了这些不同技术的综述。我们将在第五章更详细地描述荧光。

一些材料将吸收的光贮存起来，然后在较长的一段时间里二次发射出去，这个过程称之为磷光荧光。通常在荧光灯和阴极射线管显示器中能发现荧光物质，在那里当荧光物质被电子束激发后，三类荧光物质发射红光、绿光和蓝光。

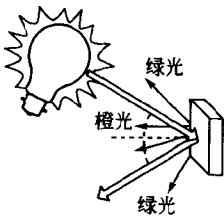


图 1-18

不透明的荧光物体对光的发散，绿光则以更长的橙光波长二次发射出去（见图 1-18）。

（五）材料的光谱特征

当我们开始表示材料的光谱性能时，定义几个术语非常重要。为了清楚一些，我们简化了这些定义。我们在第三章中严格定义了几个这种术语，也可参见 ASTM E 284。

透射率：特定几何条件下，透射光与入射光之比。

反射率：特定几何条件下，反射光与入射光之比。

反射因数：在相同的特定几何条件下，从试样表面反射的反射光与从完全反射漫射面反射的反射光之比。

镜面反射率：除去表面下（比如镜子中）的漫反射的反射率。

漫反射：除去镜面（镜子）反射的反射率。

全反射漫射面：一种既不吸收光也不透射光，但是漫反射光，

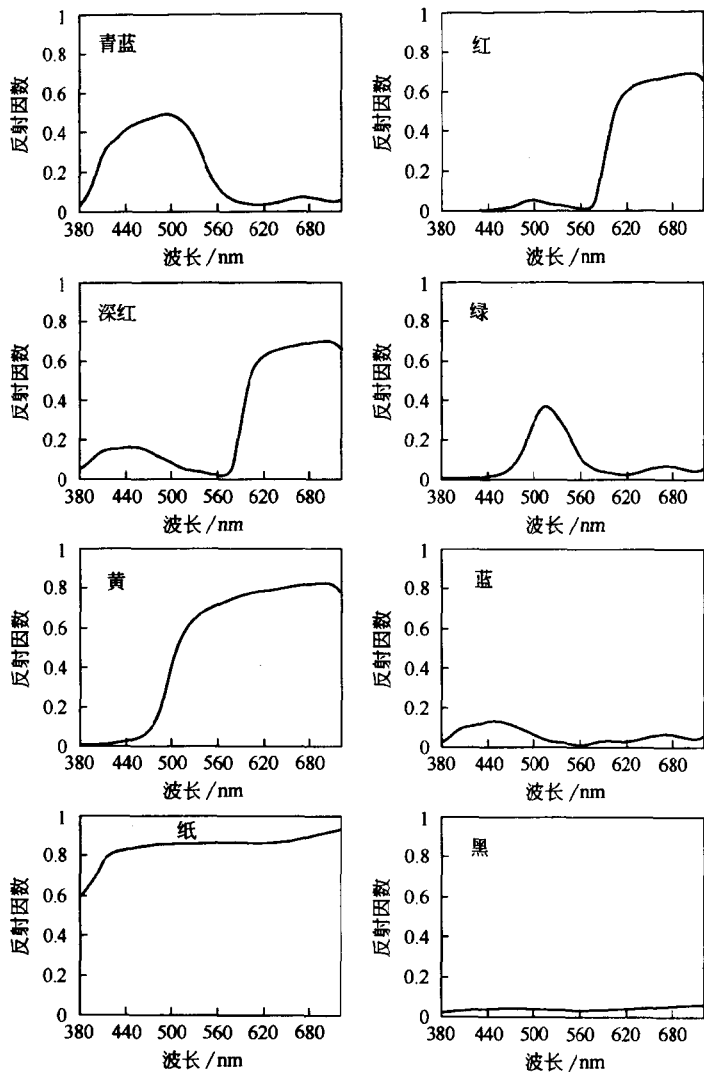


图 1-19 代表性油墨的光谱反射率曲线
 (这些油墨颜色的名字与印刷本书所用油墨相似)

并且无论入射光的入射角怎样分布，所有方向以同样的辐亮度反射的理想反射表面。

从颜色的角度来讲，物体对光的影响可用它的光谱透射率或反射率曲线（分别用于透明或不透明材料；而半透明物体二者都需要）来描述。这些曲线表示出光在每个波长从物体表面反射的反射光的因数（与从适宜的白色反射标准反射相比，这个标准通常为完全反射漫射面），或透过材料的透射光的因数（与透射过适宜标准相比，这个标准通常为空气）。这些曲线描述物体就像用相对光谱功率分布曲线描述光源那样。图 1-19 所示为代表性印刷油墨的几种组合的光谱反射率曲线。将这些曲线图与插页彩图 2 中的光谱色的色调名进行比较，可以发现着色物质总是至少反射它们自身色调的光，而吸收补色调的光，因此人们可以容易地发展根据它们的反射率或透射率曲线用普通方法识别颜色的能力。

补色：以适当比例进行加法混色能产生特定无色刺激的两色刺激互称补色 [此定义以牛顿的实验为基础 (1730)]。

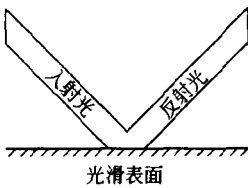


图 1-20

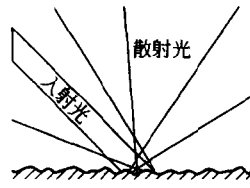


图 1-21

图 1-20 为光照射到镜面产生的镜面反射，图 1-21 为光照射到

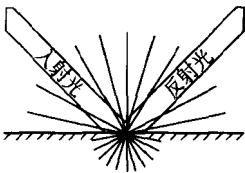


图 1-22

粗糙表面产生的漫反射，图 1-22 为光在光滑表面下面产生散射，光滑表面上产生反射，因此，漫反射和镜面反射兼而有之。

(六) 变角光度及因角变色性能

材料除了改变光的光谱性能之外，它还能改变光线的几何或变角光度性能。表

面粗糙度影响第一次表面发射的角分布情况。光滑表面反射入射光与镜面反射方式一样，因而产生光泽。当反射光与表面法线的夹角与入射角相等并对称分布于法线时，此时的反射称做镜面反射。随着表面变得粗糙，镜面反射减少，漫反射增加。变角光度性能由于表面下的漫反射也受到影响。荧光着色剂能使材料产生漫反射和透射。汽车涂料中使用铝片和珠光片颜料的使涂层产生规则的反射。涂层中这些薄片的取向、尺寸及其堆密度对此反射也有重大的影响。

测角仪：测量或确定角度的仪器（ASTM F 284）。

变角光度（goniophotometric）：有关光线变化是照明或观测角度的函数的性能。

因角变色（goniochromatic）：有关任何或所有颜色特征是照明或观测角度的函数的性能。

术语比如光泽、镜面光泽、图像清晰度光泽、光雾、珠光共同决定了变角光度性能特定的类型——也就是说它们特定的镜面反射或漫反射成分。不幸的是，定量表示变角光度性能的标准化方法只局限在镜面光泽、透射光雾和图像清晰度光泽这三个方面。

光泽：表面定向选择反射的性质，表现于在表面上呈现不同程度的亮斑或形成重叠于表面的物体的图像（ASTM E 284）。

插图彩图 4 椭圆体用计算机作图软件，具体地讲是用光跟踪软件（参见 Foley 1996）画出阴影。每个物体具有相同的颜色，且都不透明。采用两个光源照射这些物体，一侧一个。然而顶上的椭球体呈现高光泽，中间椭球体呈半光泽，底部椭球体是漫射体。注意有没有直射亮斑与其扩散部分的差异，要注意横跨椭球体表面的颜色与颜色变化的差别。尽管这是对现实情况的一个粗略模拟，但它相当合理。

图像清晰度光泽：用在物体表面反射形成的物体的图像的锐度表征的光泽的性能（ASTM E 284）。

（反射）浊度：（1）在物体表面的镜面反射方向上观察反射光明显减少并发生在试样光泽表面的光散射；（2）光泽表面试样的漫