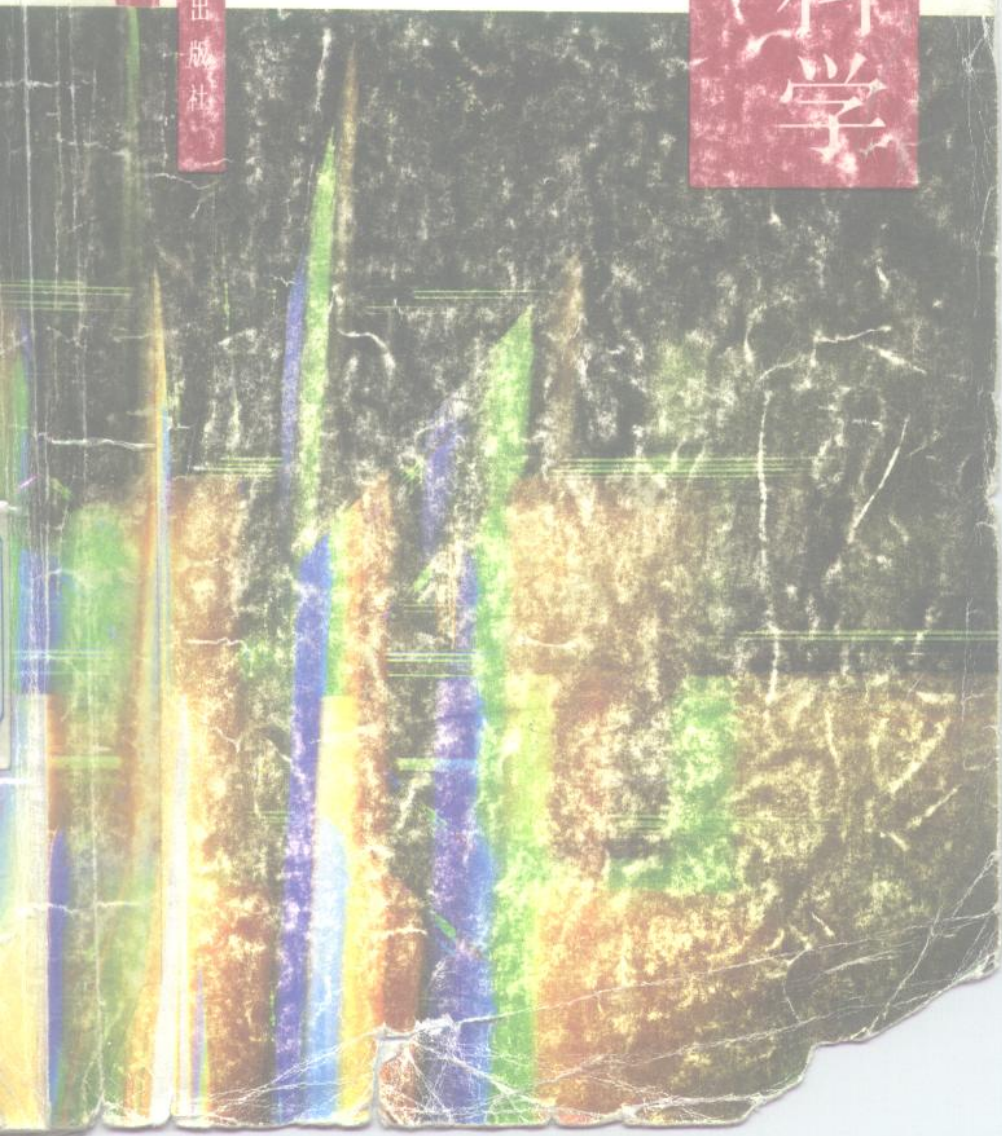


颜色科学

yanse kexue

轻工业出版社

叶洪盛 编著



颜 色 科 学

叶鸿盘 编著

轻工业出版社

DMB4/09

内 容 提 要

本书着重介绍颜色的物理光学、人类的视觉规律和视觉心理、颜色的测量技术和标准等方面的知识，前九章介绍颜色科学的基本知识，后三章介绍颜色的测量、计算，标准和实际应用，并附有国家标准总局1985年发布的《颜色术语》，可供实际应用中参考。

颜色科学

叶鸿盘 编著

*

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

大兴东方红印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

850×1168毫米1/32印张6 12/32 数字：158千字

1988年8月 第一版第一次印刷

印数：1-5,000 定价2.00元

ISBN7-5019-0154-6/N.0017

前 言

颜色科学是在本世纪初才发展起来的一门综合性科学，是研究人类的视觉规律、视觉心理、颜色的光学作用及测量技术的科学。它在化工、印染、颜料、涂料、建材、照明工程、彩色印刷、彩色电视、电影、交通信号、科学计量、军事伪装等方面均有广泛的用途，具有很大的实用价值。随着我国社会主义现代化建设的飞速发展和科学技术的进步，颜色科学将在我国各个部门和各种领域得到广泛地应用。同时随着人民生活水平的提高，也会深入到人们生活的各个角落，美化环境，美化生活，从而引起人们的重视。

本书在编写过程中，参照国内外一百多部有关颜色科学方面的著述和国内公开发表的有关颜色方面的科研成果，并经中国建筑科研院物理所工程师李亚璋同志、中国科学院心理研究所副研究员孙秀如同志、北京染料厂工程师蔡洪生同志的审阅，在内容上力求严谨、实用，以满足读者的不同需要。

由于本人的水平有限，在编写过程中定有很多缺点和不足之处，希望广大读者给予批评和指正。

目 录

第一章 光的视觉现象	(1)
第一节 光的性质.....	(1)
第二节 光的反射.....	(4)
第三节 光的折射.....	(5)
第四节 光的衍射.....	(7)
第五节 光的干涉.....	(8)
第六节 偏光.....	(10)
第七节 分光.....	(16)
第二章 眼睛的作用	(19)
第一节 眼睛的构造.....	(19)
第二节 曲折异常和眼球的形状异常.....	(21)
第三节 水晶体的调节作用.....	(22)
第四节 视网膜.....	(23)
第五节 视敏度.....	(26)
第六节 立体视觉.....	(28)
第七节 视野.....	(32)
第八节 色觉学说.....	(33)
第九节 色觉异常.....	(35)
第三章 物体颜色特性	(37)
第一节 颜色的基本概念.....	(37)
第二节 投射光的反射率(透过率).....	(39)

第三节 颜色的三属性.....	(41)
一、色调和光谱反射率的关系	
二、明度与光谱反射率的关系	
三、饱和度和光谱反射率的关系	
第四章 颜色名称	(47)
第一节 颜色的一般名称.....	(47)
一、颜色的一般名称	
二、非彩色名称	
第二节 颜色的惯用名称.....	(50)
第五章 混色概念	(61)
第一节 加法混色.....	(61)
一、同时加法混色	
二、继时加法混色	
第二节 减法混色.....	(66)
第三节 减法混色的二色性.....	(69)
第四节 颜料的混色.....	(70)
第六章 补色概念	(73)
第一节 物理补色.....	(73)
一、单色光的物理补色	
二、复色光的物理补色	
第二节 生理补色.....	(77)
第七章 照明光源和光源色的性质	(78)
第一节 照明光源的显色性.....	(78)
一、照明光源的刺激特性	
二、光源的显色性	

	三、同色异谱现象	
第二节	测光术语	(84)
	一、测光量	
	二、色温	
第三节	名种光源	(87)
	一、白昼光	
	二、CIE标准光源	
	三、电灯	
	四、荧光灯	
	五、高压水银灯	
	六、氙灯	
	 第八章 配色时的颜色变化	 (95)
第一节	色彩的对比现象	(95)
	一、明度对比现象	
	二、色调对比现象	
	三、饱和度对比现象	
	四、颜色三属性综合对比现象。	
第二节	色彩的融合现象	(98)
	 第九章 颜色的心理作用	 (100)
第一节	视认性	(100)
第二节	判读性	(101)
第三节	注目性	(103)
第四节	颜色的前进后退性和膨胀收缩性	(104)
第五节	颜色对人的心理作用	(105)
	一、温度感	
	二、轻重感	
	三、软硬感	

四、主色调效果

第十章 颜色的表示方法 (110)

第一节 孟塞尔表色系 (110)

一、色调环的构成

二、等色调面 (明度和饱和度) 的构成

三、孟塞尔表色系表示标号

四、修正的孟塞尔表色系的评价

第二节 奥斯特瓦尔德表色系 (115)

一、色调环的构成

二、样品的制造和表示方法

三、奥斯特瓦尔德表色系的特点

第三节 CIE 表色系 (122)

一、基本概念

二、表示方法

三、色度坐标

四、色度图

五、饱和度

六、明度

第四节 CIE1976 均匀色空间 (138)

第十一章 颜色测量 (141)

第一节 颜色测量 (141)

一、光谱光度测色法

二、测量方法

第二节 测色仪器 (143)

一、光谱光度计

二、自动光谱光度测色仪

三、分光光度计

四、色差计

第三节 配色处方的简便计算	(146)
---------------------	-------

第十二章 颜色的实际应用	(151)
---------------------------	--------------

第一节 彩色电视的应用	(151)
-------------------	-------

第二节 摄影用标准色板	(152)
-------------------	-------

第三节 颜色灯光信号	(159)
------------------	-------

第四节 涂料中的颜色作用	(163)
--------------------	-------

附录：颜色术语

(中华人民共和国国家标准)	(164)
---------------------	-------

第一章 光的视觉现象

我们的眼睛所看到的物体的视觉现象叫视知觉，这种知觉的过程是可见光刺激眼睛视网膜上的锥体细胞和杆体细胞达到兴奋的程度，同时又作为一种神经信号传递给视神经中枢，形成知觉。

知觉的具体化，它的单独感觉就是红、橙、黄、绿、蓝等颜色视觉，也就是说，单独的色刺激所对应的知觉现象是色的感觉。

颜色刺激本身就是光，光的性质不同，人们所产生的色感觉也会不同。因此，研究各种颜色现象必须学习一些光的基本知识。

第一节 光的性质

对于光的本质，很早就有了许多论述，其代表学说有牛顿（Newton 1642—1727）的粒子说和惠更斯（Huygens 1629—1695）的波动说开始的二元论。

牛顿和惠更斯是同一个时代的科学家，但他们对于光的本质却提出了互不相同的见解。

牛顿从光的直线前进的实验得出结论：光是从光源出发的粒子的流动。这些粒子作用于眼睛而产生色感觉。称作“光的粒子说”。这种学说对光的直线传播、折射、反射等现象解释得较清楚。但是对光的干涉、衍射、偏光等物理现象就解释不清了。

惠更斯则是根据水平波纹传播的道理，认为光的传播也是以波的形式进行振动而传播的，光波对眼睛的刺激产生色感觉，称作“波动说”。

后来，到了1801年，波动说的支持者T·杨（T·Young）作了实验，放置两块小板 S_1 ， S_2 ，在板 S_1 上打一小孔，在板 S_2 上打两个小孔（见图1-1）。让光从 S_1 的小孔通过，进行扩散后再使这些扩散光通过 S_2 的两个小孔，由于光波的振动，两个小孔发出的光波是在同一个平面上，而且这些光波有相同相位，这样两个光波的峰和峰，谷和谷相交，互相增强的明亮，而互相减弱的则暗，其明暗程度在屏障上可以清楚的看到。这个光的干涉实验是非常成功的。

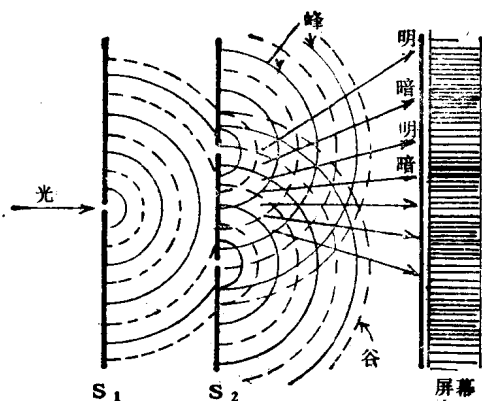


图1-1 T·杨的干涉实验

在当时，这种波动说由夫雷斯（Fresnel 1788~1827）用数学理论证明了它的真实性。但波动说还存在以下问题。

光纯粹是一种横波（波振动的方向与前进的方向垂直）。但横波是固体内部所产生的强性波（在弹性体内传播的波如声波、地震波等都是强性波）。而光能在真空中传播，这时如果还用波动说来解释，就要把真空假设为强弹性体的媒质。这种媒质叫“以太”，但“以太又必须不妨碍宇宙空间的运动，同时没有磨擦，它又必须是固体。这与实际是矛盾的。

到了十九世纪中叶，英国的物理学家马克斯韦尔（Maxwell 1831—1879）认为以太不是弹性物质，它应该是和电一样在空间中能进行远距离传播作用相同的物质，所以光也是电磁波的一种，是振动方向与传播的方向相垂直的横波。一切电磁波传播的速度都等于光速，这是早已由理论证明了。

关于“以太”物质存在的理论因爱因斯坦（1879—1955）的相对论的出现而被否定。应是电磁场的物理空间。

现在发现了光波与其它电磁波（如电波，X射线、紫外线、红外线等）互相之间的各种关系，空间内电磁波的存在是不可否定的，光是电磁波的一种也是无可怀疑的。

这样虽可以从电磁波的折射、反射、衍射、干涉、偏振等特性说明光的视觉现象，但对光电效应，颜色效应方面还是解释不清。

爱因斯坦对把光作为电磁波的说法是有疑问的，认为光的波动说还是不完全的，因此又提出了一种新的假说：当光被物体吸收后变为具有一定能量的粒子。各种单色光的振动次数是不相同的，所以，粒子的能量也不同，但具有一定能量的各种粒子在真空中传播的速度且是相同的。这就是光速，这种粒子叫光子（也叫光量子）。

物体内部的电子吸收了光子的能量之后，电子就会从物体内部脱离出来。可以利用这种脱离出来的电子，使它转化为电能。这就是物质的光电效应，光电池就是利用物质的这种光电效应制造的。

用光电子来解释光，说明光的性质，及光与物质作用所产生的各种现象就较理想，而牛顿的粒子说不能解释光的干扰，衍射、偏光等现象的道理就在于此。

光的视觉现象的电磁说和光与物质相互作用产生光电效应的光子说，说明了光的波粒二重性，这就是光的本质。

第二节 光的反射

光如果直接射向眼睛，由于强烈的光线对眼睛的刺激，使眼睛什么也看不到了。人们平常在白天，眼睛所看到的光线是经过空气中的微粒反射的光。例如，阿波罗号上的宇航员在月球表面上的情况，人们通过电视就会看到月球的空间是黑暗的。这是因为月球周围是真空的，没有能反射光的细小微粒存在的缘故。

空气中的微粒，把光向各个方向反射，成为散射光，而在月球的空间中光没有被散射。所以，月球表面，在照片上就成了一个阴影。

光照射物体时，物体对光进行选择性的吸收，反射或透过。如果把物体表面磨成非常光的金属面或镜面，这时照射到它们表面上的光就会按原来状态进行反射，这叫做镜面反射。反射角等于入射角，成为光的反射定律。

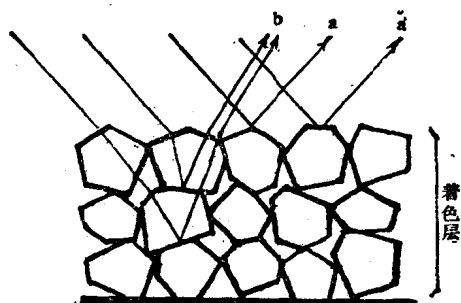


图 1-2 着色物体的反射状态

a—直接反射光

b—透过物体表面后再反射的光

如果物体表面是凹凸不平的（如纸张、涂料表面等），光射到这种表面上时，则它的反射光的方向就不是一定的了，而且向各个方向反射，而且物体表面对入射光进行部分反射，有一部分透过表面层再透射出来。如图 1-2 所示。

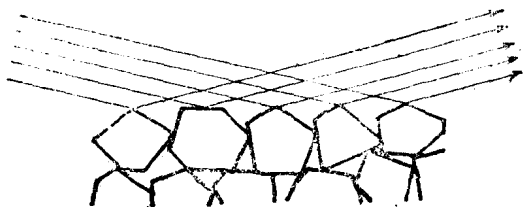


图 1-3 着色物体表面的镜面反射情况

如果扩大涂料表面，则表面的镜面反射的方向也会随着改变，因为着色粒子平面的方向在改变，也改变着粒子镜面反射的方向。这时整个表面的反射光就成为散射光。如果物体把照射来的光完全进行反射，这时物体是白色的。

人们之所以看到红、绿、蓝等各种不同的颜色，是由于光照射到着色物体表面时，物体按它本身的特性对光的波长进行选择性的吸收和反射，而反射光进入人的眼睛，这就是物体表面的颜色，也是这一部分反射光波长的颜色。如果涂装表面按图 1-3 所示，入射角非常大时，这时光线就不能射入粒子层，在涂层表面进行反射。而且反射光的方向一定。这样就成为相对的镜面反射。在这种情况下，看不到物体的颜色，而只能看到入射光的颜色。

第三节 光的折射

光照射到物体上，在进行反射的同时还有一部分光透射到物体的内部，使光从一个媒质进入另一个媒质，这两种媒质的密度不同，这时发生光折射。

入射光的方向垂直于媒质界面时，就没有折射，只有入射光的入射方向与媒质界面成某一角度时才有折射，如图 1-4 所示。

入射光的入射角增大时，则透过媒质界面的光量减少。而反

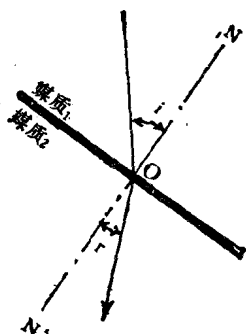


图 1-4 光的折射

射光量且增加。当入射角增大到一定程度时，入射光不能进入媒质而完全反射。达到完全反射时的入射角叫临界角。

由图 1-4 表明，当光从媒质 1 进入媒质 2 时，媒质 1 的临界角与入射角垂直，临界角以内的入射光经折射后进入媒质 2。这时入射光和折射光在同一平面内，入射角 i 和反射角 r 的正弦之比是一个定值，叫折射率，用 n 表示。

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \dots\dots (1-1)$$

n 是媒质 1 对于媒质 2 的相对折射率，这就是折射原理。

相反，如果光从媒质 2 进入媒质 1，入射角为 r ，折射角为 i ，则媒质 2 对于媒质 1 的折射率为 n' ，则：

$$\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{n} = n'$$

这是光路的逆进原理。

真空中的各种媒质的折射率叫绝对折射率。对于真空来说，空气的绝对折射率大约是 1，所以对于空气来说，各种媒质的折射率就是按绝对折射率来考虑的。

在同一媒质中，由于入射光的波长不同，因而它们的折射率也不一样。在普通的媒质中，短波的光，其折射率的值大，现把几种物质的折射率列于表 1。

棱镜式分光光度计等光学仪器就是利用对入射光的折射原理。棱镜把各种波长的复合辐射，经折射分解为不同波长的单色光。虹就是空气中的水蒸气把太阳光分解的结果。在光学上经常

表1

几种物质的折射率

物 质 名 称	折 射 率	物 质 名 称	折 射 率
空 气	1.000291	玻 璃	1.51
水	1.33	水 晶	1.55
石 油	1.39	红 宝 石	1.77
乙 醇	1.36	蓝 宝 石	1.76
石 蜡	1.42	金 钢 石	2.419

用的透镜也是根据光的折射原理，把入射光经折射后，再扩散、集光，这样就可以看到远方的物体，或把小的物体放大，或把大的物体缩小，只要改变透镜焦点的位置就可以了。

还可以利用透明物体的折射率大小的不同，使入射光在物体内部经几次折射、反射、再从切面射出来，这样可提高各波长的光谱纯度，使人们看到美丽的色彩，象虹一样光辉夺目，因此，可用来作装饰品。

第四节 光的衍射

我们可以作这样一个试验，在水平波纹前进的方向上放置一障碍物，就会看到，当波纹碰到障碍物时就会改变波纹波动的角度，形成以障碍物为中心的球形波纹面，绕过障碍物继续前进。

如果调节光源或障碍物与屏幕的距离，就会发现影中有明亮的部分，当光遇到障碍物，并通过障碍物拐角时，就会有一部分光折射成几何光学的投影扩散开来。这种现象叫光的衍射，光通过小的狭缝时就有衍射现象发生，而且狭缝越小，衍射越大。

图 1-5 是一个狭缝板衍射光的实验装置示意图。使板垂直于射来的平行光线，而且把通过狭缝的光投射到屏幕上，这时可以清楚的看到屏幕的投影上有一最亮的点。而这个点与入射光在

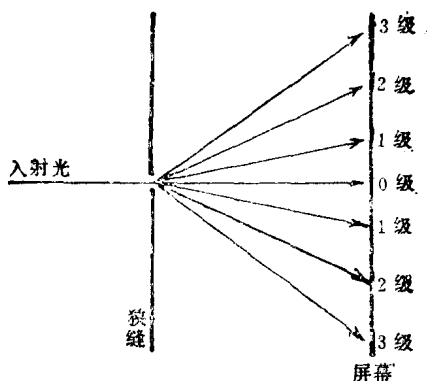


图 1-5 狭缝衍射

同一直线上。以此为中心投影在屏幕上的点向两边扩展，逐渐变暗成条纹状，叫衍射波纹，这种波纹状的投影就是衍射光。最明亮的点叫零级衍射光，以此为中心向外扩展成为一级、二级、三级……衍射光。

光在衍射时有一个衍射角，这个衍射角随着波长的增加而加大，如果入射光是白光，经过衍射后，屏幕上就呈现出不同的光谱，形成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的色环，把它叫衍射光谱。

利用光的衍射可以制成不同的衍射光栅，例如在凹面板上刻成细沟制成凹面反射光栅，用相同厚度的平行玻璃板，等距离分段组合成的光栅，叫等段衍射光栅。

如果从某一定角度来观察衍射光栅，在光栅表面上就能看到色彩美丽的虹，固定视点，而移动光栅面，就可以在视点上看到从紫到红的色调变化。根据这个原理就可以把铝的表面制成细的沟纹，可以用它作装饰品。

第五节 光的干涉

从T·杨 (T·Young) 的实验说明，光线从狭缝射入，通过