

電影電視照明

机械工业部电教研究会



中国电影电视技术学会

前 言

随着电化教学日益普及发展，照明对于提高电视教学片的质量，越来越显示出它的重要作用。为了提高电教工作者的技术水平，机械工业部电教研究会和中国电影电视技术学会特举办“电影电视照明讲习班”。并编辑出版“电影电视照明”讲义一书。

本书是在中国电影电视技术学会所举办的“全国电影电视照明培训班”的讲义基础上，我们征求了部分专业工作者的意见，重新补充、删节、修改而成的。

“电影电视照明”一书，包括“光色基础知识”、“电影电视照明器材概况”、“电视照明技术”、“人物的光线处理”、“电视照明技巧”、“电影电视照明光线处理”等内容。对于了解电影电视照明工作，掌握照明技术，有一定的参考价值。

本书出版得到上海电影局、上海广播电视局、中央电视台、西安电影制片厂、中国农业电影制片厂、上海电影制片厂、上海戏剧学院、上海机械学院等单位的大力支持和许多同志的帮助，在此一并表示感谢。

由于编辑时间仓促，定稿也未经原作者审核，加之我们水平有限，在编辑安排，文字校勘等方面定有不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

一九八四年三月 上海

目 录

照明光色基础知识	姚涵春 刘世一	
一、光的物理特性		(1)
二、人眼与视觉		(9)
三、光度学基础知识		(14)
四、颜色与色度		(21)
五、光色基础知识的运用		(32)
电影电视照明器材概况	晏仲芳	
一、照明的过去、现在和发展		(40)
(一)电影照明的历史及它的演变过程		(40)
(二)电影电视外景照明器材的新探索		(42)
(三)电影电视对光源滤色校色的重要性		(44)
二、电影电视照明光源		(45)
(一)卤钨灯泡		(45)
(二)金属卤化物灯		(50)
(三)氙灯		(53)
(四)气体放电灯的安全使用		(55)
三、电影照明灯具		(56)
(一)电影内景灯具		(56)
(二)电影外景灯具		(73)
(三)螺纹透镜		(82)
电视照明技术	张 敏	
前言		(85)
一、概述		(85)
1. 电视中心台的基本任务		(85)
2. 电视节目制作工艺流程		(86)
3. 电视照明的工艺流程		(88)
二、电视照明的特点		(88)
1. 电视与电影舞台照明的区别		(88)
2. 彩色电视对照明的技术要求		(95)
3. 各种电视节目对照明的要求		(95)
4. 时间要求快		(96)

5. 三维空间的照明方式·····	(97)
6. 色键·····	(99)
7. 要求照明系统安全可靠·····	(99)
三、电视演播室的设计·····	(100)
1. 演播室的工艺要求·····	(100)
2. 演播室的照明装置·····	(103)
3. 演播室照明系统设计参考意见·····	(112)
四、电教演播室照明系统设计实例·····	(114)
人物的光线处理 ·····	顾文恺
一、处理人物光线的几个基本问题·····	(119)
二、人物光线处理的几种基本光线·····	(120)
三、人物光线处理的形式与特点·····	(121)
四、二个和二个以上的人物光线处理·····	(127)
五、动态画面照明·····	(129)
六、人物和环境光线处理的关系·····	(130)
七、人物光线处理中的几个问题·····	(134)
八、摄影定光和测光计量·····	(135)
电视照明技巧 ·····	于宝富
一、电视照明工作者的基本条件·····	(138)
二、电视照明中的几种基本光线·····	(138)
三、电视的人物照明·····	(139)
四、演播室表演区的照明·····	(142)
五、电视剧的照明·····	(144)
六、自然光的应用·····	(146)
七、电视中的反差问题·····	(147)
八、不同环境的照度变化·····	(147)
九、电视教育节目各场景的布光实例·····	(148)
电影电视照明光线处理 ·····	李延江
前言·····	(152)
一、照明光线处理基础知识·····	(153)
(一)照明的作用·····	(153)
(二)布光的依据·····	(155)
(三)布光的基本方法及一般规律·····	(156)
(四)画面构图与灯光的关系·····	(158)
(五)布景与灯光的关系·····	(160)
(六)电影电视画面基调的形成·····	(162)
(七)光与影·····	(167)
(八)照明的平衡·····	(168)

(九)光源、光位、光比在运用中的连贯性·····	(170)
(十)各种光位的基本效果·····	(170)
二、内景照明布光·····	(174)
(一)日景布光·····	(175)
(二)夜景布光·····	(176)
(三)拂晓与黄昏·····	(178)
三、效果光的运用·····	(178)
(一)投影效果光的运用及效果·····	(179)
(二)特殊灯光效果的处理·····	(180)
(三)道具灯与道具灯光的效果·····	(181)
(四)效果光变化的处理·····	(181)
四、人物光的处理·····	(182)
(一)不同景别中人物光线的处理·····	(182)
(二)静态人物光线的处理·····	(183)
(三)动态人物光线的处理·····	(184)
五、外景照明·····	(186)
(一)不同时间的阳光照射及特点·····	(187)
(二)自然光的一般情况·····	(189)
(三)自然光的光位区分和作用·····	(189)
(四)外景照明中的人工光源·····	(190)
(五)实景·····	(193)

照明光色基础知识

上海戏剧学院 姚涵春

中国电影电视技术学会 刘世一

一 光的物理特性

1. 可见光

光在我们日常生活中，起着非常重要的作用。光使我们看清大千世界，使我们能正常地学习、工作。如果没有光的照明，舞台、演播室、摄影棚将是一片黑暗，戏剧演出、电视录像、电影拍摄都将无法进行。光是人们生活中须臾不能离开的珍宝。

所谓可见光，即能为眼睛感受并产生视觉的光学辐射，平时我们也将它简称为光。能引起人眼感觉并产生视觉的光学辐射范围是很窄的，其波段在380毫微米到780毫微米之间。

2. 可见光在电磁波谱中的位置

光也是一种电磁辐射，它在电磁波谱中只占有一个很小的位置。（见图1—1）

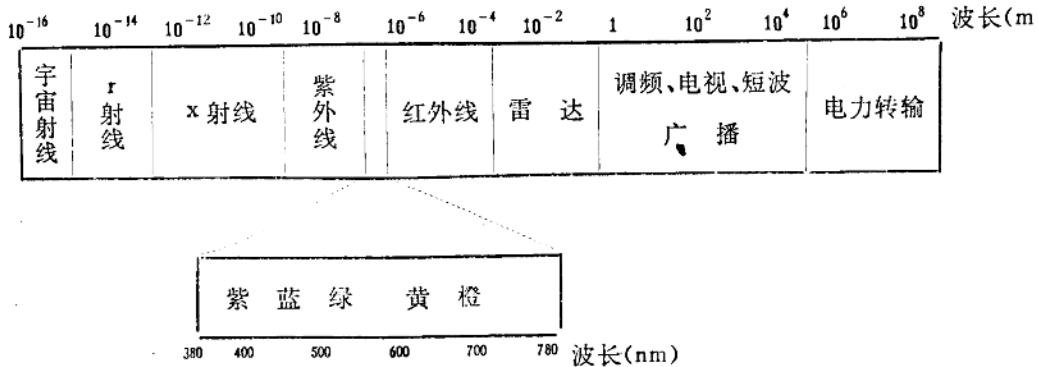


图1—1 可见光在电磁波谱中的位置

常用的光波波长的单位是微米(μm 或 μ)、毫微米(nm 或 $\text{m}\mu$)和埃(\AA)，它们之间的关系是：1微米 = 10^3 毫微米 = 10^4 埃 = 10^{-4} 米。

光波在介质中的传播速度 v 由下式决定： $v = \frac{\lambda\nu}{n}$ ，式中 v 的单位是米/秒； λ 为波长，单位是米； ν 是频率，单位是赫（周/秒）； n 是介质的折射率。光在真空中的传播速度（约为 3×10^8 米/秒。频率 ν 是由产生电磁波的辐射源决定的，它不随所通过的介质而变化，波长

λ 和速度 v 则随介质而变化。在书籍中所列光波波长 λ 的数值，如果没有加以说明时，一般是指光在真空（或空气）中的波长。

3. 光的直线传播

在均匀介质中，光是沿着直线传播的，即在均匀介质中，光线是一直线。这种传播规律称为光的直线传播定律。

日常生活中，自然界里有很多现象比如小孔成象、光影、日月食等等都可以证实光具有直线传播的规律。

4. 光的独立传播

来自不同方向或由不同物体发出的光线的相交，对每一光线的独立传播不发生影响。这种传播规律称为光的独立传播定律。

在舞台、演播室和摄影棚里，照明布光时用灯往往很多，它们投射出的光束在布光空间会有很多交叉和重叠，但是，每个光束的传播方向及其光分布并不相互影响而产生改变。

5. 光的反射

在两种介质的界面上，光线将发生偏折，一部分光线仍在同一种介质中传播，这种现象叫做光的反射现象；另外一部分光线将进入另一种介质中传播，这种现象叫做光的折射现象。（见图1—2）

我们先阐述光的反射规律：（1）反射光线在入射光线和法线所决定的平面内，反射光和入射光线分居法线的两侧；（2）反射角等于入射角。上述两条规律称为光的反射定律。

光的反射具有可逆的性质。如果光线逆着反射光线的方向照射到界面上，它就逆着原来的入射光线的方向反射出去。

反射光线和折射光线的光能分配是由介质的性质和入射角的大小来决定的。光以相同的入射角照射到不同的介质的表面上，其光能的分配也不同。例如光从空气垂直照射到玻璃面上，反射光能大约是4%，折射光能大约是96%；光从空气垂直照射到水面上，反射光能大约是2%，折射光能大约是98%。光以不同的入射角照射到同一介质的表面上，其光能分配也不相同。又如光从空气照射水面，入射角等于 30° 时，反射光能大约是2.2%； 60° 时大约是6%； 90° 是100%。也就是说，当入射角增加时，反射光的能量也随之增加。

由于反射表面的性质不同，其反射光线的性能也不尽相同，可分为镜面反射、扩散反射和漫反射三种。

a) 镜面反射：反射表面光滑平整，如镜子一般明亮照人，反射光线和入射光线两者之间严格服从光的反射定律。这种反射称为镜面反射。玻璃镜子、抛光处理过后具有金属光泽的金属表面都能产生镜面反射。

b) 扩散反射：镜面反射只是一种理想状况的反射现象。大多数反射面，入射光线被反射到某些方向上形成圆锥形的反射光束。这种反射称为扩散反射。有皱纹、或经过腐蚀、或

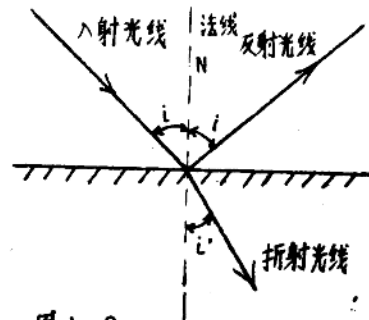


图1—2

图1—2 光在两种介质界面上的传播

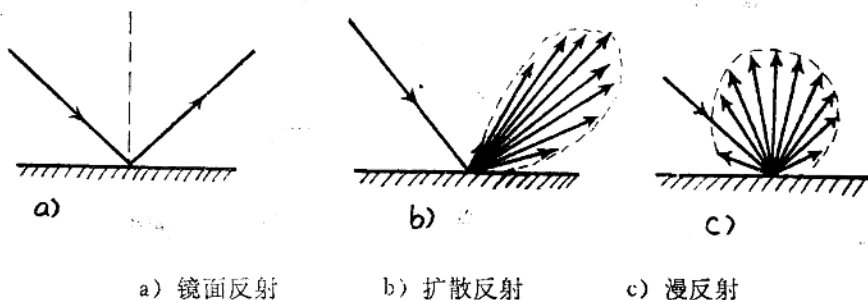


图1—3 三种基本的反射形式

糙击过的表面能产生这种反射。这时，光的反射定律已不再适用。

c) 漫反射：如果反射表面粗糙，入射光线被反射后，反射光线分布在半个空间范围内，这种反射称为漫反射。粗糙的表面、由微细颗粒或颜料做成的表面都能产生漫反射。我们之所以能从各个方向上都可以看见本身不发光的物体，就是由于光在物体表面上产生漫反射的缘故。

许多通常的反射面的反射性能都是由上述三种基本反射形式混合构成的，以某一反射形式为主，其余反射形式为辅。我们可以采用不同的反射面，产生不同的反射效果。

6. 光的折射

光的折射也遵守一定的规律：(1)折射光线在入射光线和法线所决定的平面内，折射光线和入射光线分居法线的两侧；(2)入射角的正弦和折射角的正弦之比，对于一定的两种介质来说是一个常数。上述两条规律称为光的折射定律。

光从介质1进入介质2时，不论入射角的大小如何，入射角的正弦和折射角的正弦之比值是一个常数。这个常数叫做光从介质1进入介质2时的相对折射率，或称为介质2对于介质1的相对折射率，记作 n_{21} 。那么，由上述规律可写出表达式： $\sin i / \sin i' = n_{21}$ 。

光的折射现象是由于光在两种介质内传播速度的不同，介质2对于介质1的相对折射率等于介质1、介质2的传光速度之比： $n_{21} = v_1 / v_2$ 。

任何介质相对于真空的折射率叫做介质的绝对折射，简称为介质的折射率，记作 $n_1, n_2 \dots$ 。所以，任何介质的折射率为： $n = c / v$ ，式中 c 为光在真空中的传播速度， v 为光在该介质中的速度。

利用 $n_{21} = v_1 / v_2$ ， $n = c / v$ 两式，可以求得两介质相对折射率和绝对折射率之间的关系： $n_1 = c / v_1$ ， $n_2 = c / v_2$ ，两式相比，可得： $n_2 / n_1 = v_1 / v_2$ 。比较 $n_{21} = v_1 / v_2$ ，即得： $n_{21} = n_2 / n_1$ 。此式表明介质2对介质1的相对折射率等于介质2的折射率和介质1的折射率之比值。

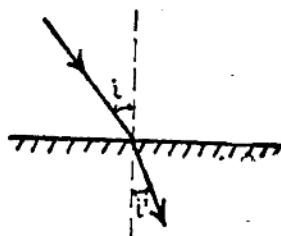


图1—4 光在界面上的折射

因此，折射定律亦可写成： $\sin i / \sin i' = n_2 / n_1$ ，或 $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin i'$ 。

表1—1 几种物质的折射率

物质	空气	水	玻璃*	石英(晶体)
折射率	1.00029	1.333	1.5—1.9	1.54

*玻璃的折射率取决于玻璃的成分。大多数玻璃的折射率略大于1.5。

介质的折射率不但和介质的性质有关，而且还和入射光的频率有关。即不同的介质，其折射率不同；同一种介质，对不同频率的入射光，其折射率也不同。科希于一八三六年首先得到折射率经验公式： $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$ 。式中A、B、C是所研究的介质的特性决定的常数，公式表明介质的折射率随入射光波长的增大而减小。

表1—2 冕牌玻璃的折射率

色光	紫	蓝	绿	黄	橙	红
折射率	1.532	1.528	1.519	1.517	1.514	1.513

*冕牌玻璃是一种含硅而不含铅的玻璃。

传光速度快的介质叫做光稀介质，传光速度慢的介质叫做光密介质。由折射定律， $\sin i / \sin i' = v_1 / v_2$ 可知，光从光稀介质进入光密介质时，因 v_1 大于 v_2 ，故折射角 i' 小于入射角 i ，即折射光线偏向法线；反之，如果光从光密介质进入光稀介质时，因 v_1 小于 v_2 ，故折射角 i' 大于入射角 i ，即折射光线偏离法线。

光的折射也具有光路可逆的性质，即光逆着原折射光线的方向照射到界面上，一定逆着原来的入射光线的方向折射。

7. 光的全反射

如前所述，光从光密介质进入光稀介质时，折射角大于入射角；当入射角取某个数值时，折射角为最大值 90° 。对于折射角为 90° 时的光线入射角叫做光密介质对于光稀介质的临界角。

当光从光密介质进入光稀介质，入射角大于临界角 i_0 时，光线不能进入光稀介质，而反射回原来的介质中，并且服从反射定律，这种现象叫做光的全反射。

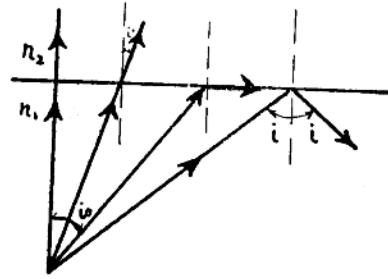


图1—5 光的全反射

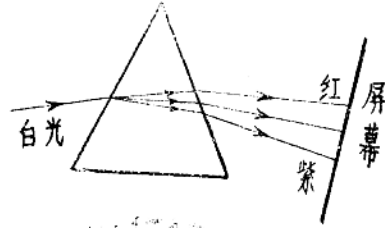
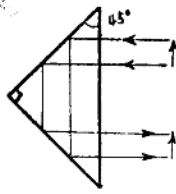
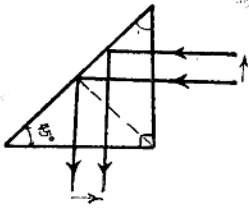
根据折射定律，可求得发生全反射时的临界角： $\sin i_0 / \sin 90^\circ = n_2 / n_1$ ，即 $\sin i_0 = n_2 / n_1$ ，式中 i_0 为临界角， n_1 为光密介质的折射率， n_2 为光稀介质的折射率。如果光稀介质是真空或空气，其折射率 $n_2 = 1$ ，那么临界角的表达式为： $i_0 = \arcsin \frac{1}{n}$ ，式中 n 为光密介质的折射率。玻璃的折射率为 $1.5 \sim 1.9$ ，水的折射率为 1.333 ，应用上式可求出玻璃和水的临界角分

别为 $30^\circ \sim 42^\circ$ 和 49° 。

根据全反射现象可制成全反射棱镜（见图1—6），这种棱镜是控制光路的重要器件。光导纤维也是利用全反射原理制成的，它不仅可以用以传输光束，而且还可以传递图象。

8. 光的色散

如图1—7所示，一束白光通过棱镜后，在屏幕上得到一条彩色的光带，其色彩按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的次序从上到下排列。



1—6图 全反射棱镜

图1—7 光的色散

这一演示实验说明白光是由各种颜色的光混合而成的。具有一定频率的光叫做单色光。由单色光混合而成的光叫做复色光。白光是一种复色光。日光也是一种复色光。复色光分解成单色光的现象叫做光的色散。由色散形成的按一定次序排列的彩色光带叫做光谱。

同时，从这个演示实验中，也可以看出，不同单色光或不同频率的光的偏折程度不同，这表明了玻璃对各种频率的光有不同的折射率。换言之，光的色散是由于介质对不同频率的光的折射率不同而产生的。

钻石、宝石以及水晶制品鲜艳夺目，大自然中常见的虹、霓等现象，正是由于光分别在晶体、水滴中发生色散的缘故。根据光的色散原理，利用特制的三棱镜，可以在天幕上造成人工彩虹，用三棱镜亦可进行分光试验，取出所需各种单色光。聚光灯所用平凸透镜可以将它看成是由许多小棱镜所组成，由于光的色散，因而造成照明光斑外围的色环。

9. 光的吸收和散射

光线在通过介质的过程中，其能量一般会因吸收和散射而遭受损失。

(1) 光的吸收

光的吸收是由于光被转化成其他形式的能量而引起的。

光能转化成其他形式的能量的方式大致有如下几种：

a) 一般情况下，光被转化成热能。例如，灯开后，泡壳或管壁、灯箱的温度将会升高；太阳灶的应用等。

b) 光被转化成另一种波长的辐射能；物体吸收某一频率的光而辐射出另一频率的可见光的现象叫做光致发光。通常的光致发光现象，辐射的光频率总是小于吸收的光频率，这就是著名的斯托克斯定则。荧光粉在紫外线的照射下，可激发出不同频率的可见光，辐射出可见光的颜色与被激发的荧光粉的结构有关。在戏剧艺术中，用荧光粉作画，可创造出独特的意境；第二代光源——高光效荧光灯也是利用这个基本原理，将波长为253.7毫微米的紫外

线激发荧光粉而发出可见光。与此相反，还有一种上转换的材料，它发射的光频率大于吸收的光频率，这被称为反斯托克斯辐射。利用这种材料可以把红外线转换成可见光。这种技术用于热辐射光源的制作，将会成倍地提高白炽灯的光效。

c) 光能被转化成电能。例如，光电池、光电管、太阳能电池等光电器件的应用。

d) 光能被转化成化学能。例如，植物的光合作用等。

光通过介质后因吸收而损失量的大小与通过介质的距离和介质对光的吸收率有关。光通过介质的距离越长，其能量的损失也就越大；介质的吸收率越大，光能的损失也越大；不同的介质具有不同的吸收率：a) 透明的材料：其吸收率的大小视其透明程度而定，透明度越高，其吸收率越小，光能的损失也越小。舞台、演播室和摄影棚里的照明灯具所用的透镜，其透明度都较高，厚度较小，故光能在透镜中的损失较小。b) 不透明的材料：其吸收率非常大，光在其中即使通过的距离极短，光的强度实际上已衰减为零了。例如金属一类的材料。c) 选择吸收的材料：其吸收率与光的波长有关，即这类材料对不同的波长的光有不同的吸收率。光线通过这类材料后，光谱相对能量分布发生改变，从视觉效果上说，光的色调发生了变化。舞台、电视、电影上用的滤色片就是根据上述基本原理制成的。例如一束白光通过一张红色滤色片，此色片对红光的吸收率小，而对其他频率的色光的吸收率大，因此，通过色片后的光谱相对能量分布发生了改变，红光的相对比重增加了，在颜色视觉上，其光色即为红色。d) 特例：在特殊情况下，介质的吸收率为负值，即光线经过介质时，光的强度不但没有减弱，反而得到增强。这就是激光器的原理。（其增加的能量是由外加的电能转化而来的，故仍然符合能量守恒定律。）激光作为一种新型光源已开始被应用于舞台、电视和电影的艺术之中。

(2) 光的散射

散射发生在不均匀的介质中，这是由于光在介质中的许多方向杂乱的界面上多次反射和折射而引起的。我们所见到的云和雾等自然现象就是由于在高空或地面附近的局部空间中悬浮着大量的水滴，光在其间发生散射而产生的。在舞台、电视、电影艺术中，根据剧情的需要也常借鉴这个基本原理，在舞台、演播室和摄影棚的局部空间内，喷洒液滴而造成“人工雾”，以产生特殊的艺术效果。

散射时也因吸收而受损失，光能损失量因介质而异：例如：

a) 密致、几乎不透明的纤维组成的白纸或白布表面，其对光的反射率较高，且反射率与波长无关，即没有选择性吸收，散射光和入射光的光谱相对能量分布基本相同，故散射光也是白光。这类介质的吸收损失较小。

b) 不透明颗粒中发生散射时，只有极少一部分光从这种介质中散射出来，吸收损失较大，因此这种介质看上去是暗黑色的。在电视、电影拍摄战争场面时，常燃放烟雾，这就是光在不透明的颗粒中产生散射而造成的视觉效果。舞台、演播室和摄影棚等演出场所，如果地面打扫得不够干净，当演员的动作幅度较大时，会带起台面上的尘埃，形成暗黑色的烟幕，从而影响艺术质量。

c) 在某些介质中发生散射时，散射粒子在可见光区域内有选择地吸收一部分波长的光，散射光的光谱相对能量分布较之入射光发生了改变，因而这种介质就会显示出某种颜色来。颜料、油漆等属于这种介质。

d) 在表面上看来是均匀纯净的介质中, 亦能观察到散射光, 这种散射称为分子散射。发生分子散射时, 其光强与光波波长的四次方成反比, 即作 $\propto \frac{1}{\lambda^4}$, 这个规律称为瑞利定律。

上式表明光波波长越短, 分子散射越强; 反之, 光波波长越长, 其散射越弱。由于这个原因, 大气中气体分子散射太阳光, 使天空呈现蓝色。日落时, 直接从太阳射来的光所穿过的大气层厚度, 较之正午时直接由太阳射来的光所穿过的大气层厚度要厚得多, 按照瑞利定律, 落日的光由于较厚的大气层的散射, 被散射掉的短波的蓝光比被散射掉的长波的红光显著地增多, 所以落日看起来是红色的。由于薄雾的散射, 用红色滤光片加在照相机物镜前拍摄薄雾中的景物, 可以获得很清晰的图片。在浓雾中, 用红色滤光片拍摄没有什么好处, 因为浓雾的质点较大, 其散射的光强已不再遵守瑞利定律。

10. 光的干涉

从同一光源发出的两列光波, 在它们交迭的空间的某些地方, 出现亮度的明暗变化或者出现彩色。这种现象叫做光的干涉现象。如果用的是单色光, 在屏幕上可看到明暗相间的一系列条纹, 但如果用的是复色光源, 那么, 在屏幕上可看到彩色的条纹。

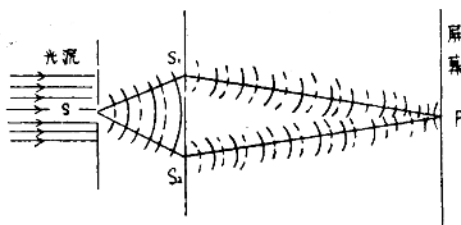


图1—8

对于实际的光, 只有满足下列条件才能产生干涉: (1) 频率相同的两光波在相遇点有相同的振动方向和固定的位相差; (2) 两光波在相遇点所产生的振动的振幅相差不悬殊; (3) 两光波在相遇点的光程差不能太大。这些条件称为相干条件, 条件(1)是产生干涉现象的必要条件, 条件(2)和(3)可认为是为获得干涉现象的补充条件。满足相干条件的光称为相干光。也就是说, 只有相干光才能产生光的干涉现象。

在日常生活中, 只要我们留心观察, 可以看到许多干涉现象, 如肥皂泡和积水油膜表面的彩纹。以肥皂泡膜为例给以简单分析如下: 肥皂泡膜有内外两个界面, 照射光在内外两个界面上产生反射和折射现象, 如图1—9所示, 由一列光波得到的两列子光波完全满足相干条件, 用眼睛直接观察时, 干涉光线会聚于视网膜上, 就可以看到彩色的干涉花纹。

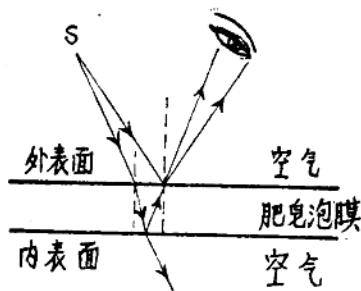


图1—9 薄膜的干涉作用

自从激光问世后，我们可以获得实际单色光，例如氦氖激光器发出波长为6328埃A。的红光。激光是一种理想的相干光。让一束激光透过一块花玻璃，由激光在玻璃中的折射而产生光的干涉现象，在天幕上获得激光干涉图象，构成各种虚景，以引起人们的联想；转动花玻璃，又可获得干涉图象的连续变化，构成动态的虚景。一九八二年，上海电视台在电视歌会中首次应用了这项新技术。

11. 光的衍射

光波在均匀介质中进行传播时，遇到障碍物、狭缝、或者开孔，从而发生传播路径弯曲，绕到障碍物的背后去，出现明暗条纹或彩色条纹。这种现象叫做光的衍射，也叫做光的绕射。如果用的是单色光，在屏幕上可看到明暗相间的条纹；但如果用的是复色光，在屏幕上则可看到彩色的条纹。

只有当障碍物、狭缝或者开孔的大小与光波波长在数量级上很接近时，才能观察到明显的衍射现象。光的波长较短，因此在一般光学实验中（例如光学系统的成象问题等），都表明光在均匀介质中是直线传播的，观察不到明显的衍射现象。

产生光的衍射必须同时具备三个条件：（1）有一个小开孔或一条细狭缝或障碍物来限制入射光的波阵面；（2）有一个一定形状的光源（如点光源等）；（3）有一个用来观察衍射条纹的屏幕。

日常生活中也可以看到许多光的衍射现象。例如，在夜间注视远处的电灯，只要灯的背景是黑暗的，就能看到电灯发出的水平光芒中，常展开类似彩虹的节带，每一节带的红色在外，紫色在内。这类彩色节带是上下眼睑的睫毛并立而引起的衍射。

用刮须刀在曝光过度的黑胶片上刻上几条间距很小（小于0.5毫米）互相平行的细缝，放在眼前观察光源，可以看到彩色的条纹，这同样表明光线通过狭缝时发生了衍射作用。这类光学元件叫做“光栅”（因其形状类似栅栏而得名）。光栅具有分光的本领。白光通过光栅后，能得到左右对称的两列彩条，由外向里按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序排列。如果使许多套光栅各相差一个角度排列，就能得到指向不同方向的彩条，这就是彩虹滤色镜能把白光分成辐射状彩条的原因。光栅条纹的密度，可以从每毫米几条到每毫米几千条。光栅条纹越多，白光被分解成的彩虹条纹越细长。激光照相技术的出现，使光栅刻划技术得到迅速地发展。全息照相术是基于光的干涉效应。用激光全息照相技术，可以在照相底片上摄制得到很细、很密的平行条纹，这样就制得了一个光栅。用激光全息照相技术制造光栅，比传统的机刻法简便、经济得多。

12. 光的偏振

电磁波是横波，是由两个互相垂直的振动矢量即电场强度E和磁场强度H来表征，而E和H都与电磁波的传播方向相垂直。在光波中，产生感光作用和生理作用的是电场强度E，因此我们常将E称为光矢量。E的振动称为光振动。

光是电磁波，也是横波，光矢量E是和光的传播方向相垂直的。如果光矢量E在一个固定平面内只沿一个固定方向振动，这种光称为线偏振光或面偏振光，简称为偏振光。偏振光的振动方向和传播方向

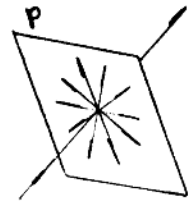


图1—10 自然光中E振动的对称分布

所成的面称为振动面；和振动方向相垂直而包含传播方向的面称为偏振面。

一个分子在某一瞬间所发出的光源是偏振的，光矢量具有一定的方向。任何实际光源都包含着数目众多的、有各种取向的分子，因而由一定实际的光源向某一方向发出的光，例如沿图 1—10 中 X 方向传播的光，其光矢量虽然还是垂直于光的传播方向的，但是由相互无关的各分子所生的光波的光矢量，其取向与大小都随时间作无规则的变化，各取向有同一几率，所以在一相当长的时间（ 1×10^{-6} 秒已足够长）内，各取向上光矢量的时间平均值是相等的，这样的光称为自然光。在图中 X 方向传播的自然光，对任一取向的光矢量，均可分解为在相互垂直的两个方向（例如 Y 方向和 Z 方向）上的分量，所有取向的光矢量分解在这两方向的时间平均值，应当彼此相等。因而自然光可用相互独立的，有等振幅的 Y 方向的振动和 Z 方向的振动来表示。但是，必须注意，由于自然光内各光矢量间无固定的位相关系，因而其中任何两个取向不同的光矢量不能合成为一个光矢量。

介于线偏振光和自然光之间，还有这样一种光，它的光矢量在某一确定的方向上最强，或者说，有更多的光矢量取向于该方向，称这样的光为部分偏振光。

有许多方法可以从自然光中产生偏振光：

(1) 光在折射率不同的两介质的分界面上的反射和折射，即可用来从自然光产生偏振光。

(2) 利用光在各异性晶体中的传播亦可产生偏振光

自然光通过起偏振器时，可产生偏振光；再将此偏振光射向另一个起偏振器时，其透射光的强度为： $I = I_0 \cos^2 \alpha$ 式中 I_0 为入射偏振光的强度， α 为两偏振器主截面之间的夹角，这个规律称为马吕斯定律。按马吕斯定律，改变两偏振器主截面夹角的大小即可改变透射光的强度，当 $\alpha = 0^\circ$ 时，透射光强度为最大；当 $\alpha = 90^\circ$ 时，透射光的强度为零。

二 人眼与视觉

1. 人眼的构造

人的眼睛是一个前后直径大约为 23 毫米的近似球状体，由眼球壁和眼球内容物构成。

角膜在眼球壁正前方，具有屈光功能，光线经角膜发生屈折进入眼内。

巩膜位于眼球外层的其余部分主要起巩固、保护眼球的作用。

虹膜、睫状体和脉络膜位于眼球壁中层。虹膜在角膜之后，其中央有一圆孔，称为瞳孔。虹膜组织内的扩大肌和括约肌促使瞳孔扩大和缩小，控制外界进入眼睛的光量。睫状体在虹膜之后，其内部有睫状肌，能调节晶体，改变晶体的屈光度，使外界的对象能在视网膜上形成清晰的影像。

视网膜和视神经内段。视网膜位于眼球的最内层，是眼睛的感光部分。视网膜内含有视觉感光细胞——锥体细胞和杆体细胞。黄斑位于眼球后方视网膜的中央部分，是锥体细胞特别密集的区域，其直径约 2~3 毫米，因其颜色为黄色而得名。中央窝在黄斑的中央，成凹状，是视觉最为敏锐的部位。据发现，人眼视网膜大约有 650 万个锥体细胞，1 亿个杆体细胞。在视网膜中央黄斑部位和中央窝大约 3° 视角范围内，主要是锥体细胞，几乎没有杆体细胞。在黄斑以外杆体细胞逐渐增多，而锥体细胞大量减少。视神经乳头为视网膜神经纤维向

该处汇集而成一圆盘状，它没有感光能力，所以也称为盲点。

晶体、房水和玻璃体为眼球内的内容物，它们都是屈光物质，起折光作用。

当眼睛注视外界物体时，由外界物体发出的光线通过角膜、房水、晶体和玻璃体，使物象聚焦在视网膜的中央窝部位，视网膜的锥体细胞和杆体细胞是感光细胞，它们接受光刺激，转化为神经冲动，经视神经到丘脑的外侧膝状体，再传导到大脑枕叶皮层的高级视觉中枢，就产生了物体大小和形状的感觉。

2. 人眼的相对灵敏度

人眼视网膜上布满了大量的感光细胞——杆体细胞和锥体细胞。前者灵敏度高，能感受到极微弱的光；后者灵敏度低，但能很好地区别颜色。

众所周知，感光片对各种颜色光的感光灵敏度是不一样的。例如，印像用的照相纸，对红光灵敏度较差，因此，在暗室冲洗时，可以在暗红灯下进行。与此类似，人眼对各种颜色

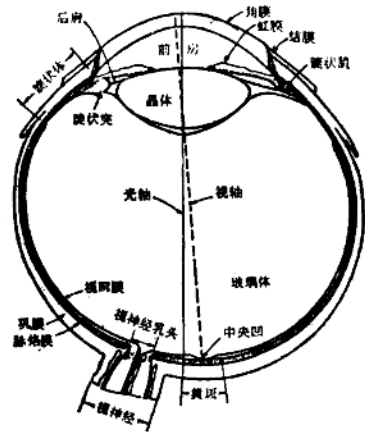
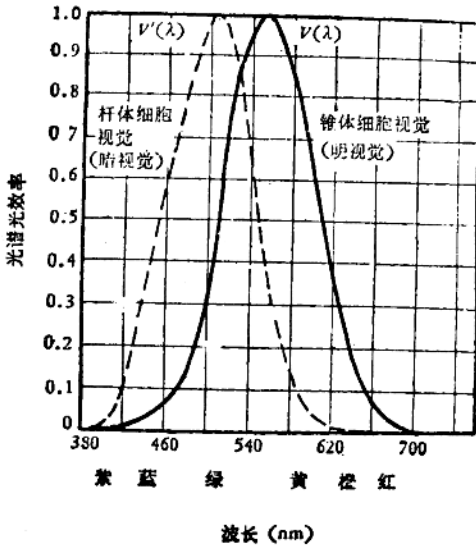


图1—11



1—12 光谱光效率曲线

光的灵敏度也不一样。它对绿光的灵敏度最高，而对红光的灵敏度则低得多。也就是说，相同能量的绿光和红光，前者在人眼中引起的视觉强度要比后者大得多。经大量的研究表明，不同的观察者的眼睛对各种波长的光的灵敏度稍有不同，而且还随着观察时间，观察者的年龄和健康状况而变。因此只能从许多人的大量观察结果中取平均。现在大家公认并由国际照明委员会（简称CIE）承认的人眼对各种波长的光的平均相对灵敏度（称为光谱光效率）值如下：

表1—3的数值以及图1—12中相应的 $V(\lambda)$ 曲线是指光亮度（其概念将在第三部分阐述）大于几个尼特时人眼的相对灵敏度，称为“明视觉”的光谱光效率，其最大值在555毫微米处。 $V'(\lambda)$ 曲线是指光亮度小于 0.01 尼特时人眼的相对灵敏度，称为“暗视觉”的光谱光效率，其最大值在507毫微米处。通常所说的光谱光效率（或视见

表1—3 明视觉、暗视觉的光谱光效率

波 长 nm	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$	波 长 nm	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$
380	0.0000	0.0006	590	0.7570	0.0655
390	0.0001	0.0022	600	0.6310	0.0332
400	0.0004	0.0093	610	0.5030	0.0159
410	0.0012	0.0348	620	0.3810	0.0074
420	0.0040	0.0966	630	0.2650	0.0033
430	0.0116	0.1998	640	0.1750	0.0015
440	0.0230	0.3281	650	0.1070	0.0007
450	0.0380	0.455	660	0.0610	0.0003
460	0.0600	0.567	670	0.0320	0.0001
470	0.0910	0.676	680	0.0170	0.00007
480	0.1390	0.793	690	0.0082	0.00004
490	0.2080	0.904	700	0.0041	0.00002
500	0.3230	0.982	710	0.0021	0.000009
510	0.5030	0.997	720	0.0010	0.000005
520	0.7100	0.935	730	0.0005	0.000003
530	0.8620	0.811	740	0.0003	0.000001
540	0.9540	0.650	750	0.0001	0.0000008
550	0.9950	0.481	760	0.00006	0.0000004
560	0.9950	0.3288	770	0.00003	0.0000002
570	0.9520	0.2076	780	0.00002	0.0000001
580	0.8700	0.1212			

函数)是指“明视觉”的光谱光效率 $V(\lambda)$ 。明视觉是由锥体细胞的刺激引起的,而暗视觉主要是杆体细胞在起作用,所以只有在足够亮度(大于几个尼特)的情况下,当锥体细胞起作用时,才会有颜色的感觉。在昏暗的情况下,主要是杆体细胞起作用,不能使人眼明显地辨别颜色,所以物体看起来都似乎是蓝灰色的。

3. 暗适应

当照明条件改变时,眼睛可以通过一定的生理过程对光的强度进行适应,以获得清晰的视觉。当人由光亮地方转到黑暗地方时,起初视觉感受性很低,然后逐渐提高。在黑暗中视觉感受性逐步提高的过程叫做暗适应。

暗适应包括两种生理过程:瞳孔大小的变化以及视网膜感光化学物质的变化。从光亮进入黑暗的环境,瞳孔的直径可由2毫米扩大到8毫米,使进入眼球的光线增加10~20倍。

暗适应的主要机制是在黑暗中由中央视觉转为边缘视觉的结果。在黑暗中,视网膜边缘部分的杆体细胞的感受性逐渐提高,视觉能力亦随之提高。在杆体细胞内有一种紫红色的

感光化学物质，叫做视紫红质。这种感光化学物质类似照相底板上的感光乳剂，在曝光的时候便破坏褪色。当眼睛进入黑暗中，视紫红质又重新合成而恢复其紫红色。视觉的暗适应程度是与视紫红质的合成程度相对应的。在黑暗中的最初15分钟是暗适应的关键时刻，暗适应进行得较快。在黑暗中停留半小时，视觉感受性可提高约十万倍。视觉达到完全暗适应大约需要40分钟。在黑暗中，杆体细胞视紫红质的合成需要维生素A参与，所以缺乏维生素A的人时常伴有夜盲症。

红色光只对中央视觉的锥体细胞起作用，而对边缘视觉的杆体细胞不起作用。杆体细胞的视紫红质不为红光所破坏，所以红光不阻碍杆体细胞的暗适应过程。在黑暗环境工作的人们，在进入光亮环境之前戴上红色眼睛再回到黑暗环境时，他的视觉感受性仍然能保持原来的水平，不需要重新暗适应。

4. 视觉功能

人借助视觉器官完成一定视觉任务的能力叫做视觉功能。视觉区别对象细节的能力（视锐度）和辨认对比的能力，是代表视觉功能的常用指标。

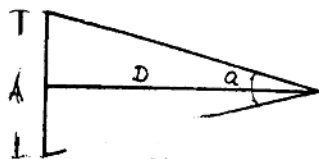
(1) 视角

对象的大小对眼睛形成的张角叫做视角。

视角的大小决定视网膜上影象的大小。

视角大小可按下式计算：

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{A}{2D}$$



式中 A 为物体的大小， α 为人眼对该物体的视角，D 为人眼角膜到该物体的距离。

1—13 视角图示

当 α 角较小时，关系式 $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$ 成立，所以视角大小计算式可简化为： $\alpha = \frac{A}{D}$ （ α 取弧度为单位）；或 $\alpha = \frac{57.3 A}{D}$ （ α 取角度为单位）。

视角公式表明了物体大小和距离二者与眼睛的关系。视角的大小与物体的距离成反比，物体近时视角大，物体远时视角小。

(2) 视锐度

人通过视觉器官辨认外界物体的敏锐程度简称为视锐度。它表示视觉辨认物体细节的能力。一个人能辨认物体细节的尺寸愈小，视锐度就愈高，反之，视觉度就愈差。

视锐度 V 是视觉所能分辨的以角度分为单位的视角的倒数，即 $V = \frac{1}{\alpha(\text{分})}$ 。视锐度在临床医学上也叫做视力。我国是以 5 米的标准距离处观察视力表的视标来确定视力。常用的视标有“C”形和“E”形两种，我国采用“E”形视标。每一种视标都由一定的细节单位组成，如“E”形视标，其撰向和纵向都由 5 个细节单位组成，黑线条宽度和空白区的宽度占 1 个细节单位（1.46 毫米）。在正常视力情况下，相距 5 米时，“E”形视标总大小与眼睛成 5 分视角，视标的每一细节单位与眼睛成 1 分视角。结果观察者能够正确地说出开口的方向，就表明他的视觉能够分辨物体 1 分视角的细节，而具有正常的视力，记作视力 1.0。