

中等专业学校教学用书

彩色摄影与 彩色空中摄影基础

M·H·崔干诺夫著

俞浩清等译



中国工业出版社

本书主要内容包括：有关色彩学的基本知识、彩色摄影材料、地面和空中彩色摄影问题，以及彩色摄影的负片与正片处理过程等方面的理论和实践。可供测绘院校有关专业师生及工程技术人员阅读。

本书由余方、俞浩清同志翻译，全书由俞浩清、洪克艺同志校订。

М.Н. ПЫГАНОВ
ОСНОВЫ
ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ
И АЭРОФОТОГРАФИИ
ГЕОДЕЗИЗАТ 1956

* * *

彩色摄影与
彩色空中摄影基础
俞浩清等译

*

国家测绘总局测绘书刊编辑部编辑(北京三里河国家测绘总局)

中国工业出版社出版(游艺场胡同路10号)

(北京市书刊出版事业许可出字第110号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $5 \frac{1}{2}$ ·字数144,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数0001—1,100·定价(9—4)0.72元

*

统一书号：K 15165·1795(测绘-36)

前 言

从摄影学形成一门科学技术的一百多年以来，对如何摄取呈现天然色彩的摄影影像的各种方法，进行了研究。

在这段时期内，曾提出了一系列彩色摄影的方法，这些方法极不完善，而且其中大部皆具有种种明显的技术困难。仅于二十世纪上半叶末期，才形成了在技术上合乎要求的摄取彩色摄影影像的方法，这一方法是以采用多层的摄影材料及彩色显影作为基础的。

从1936年起在国家光学研究所，以及从1938年起于全苏电影摄影科学研究所内，曾利用按彩色显影原理制成的摄影材料（软片及像纸），对彩色摄影的技术方法进行了研究。

由于苏联科学家 A. E. 柏拉依-卡施茨和 Г. И. 阿尔布佐夫两院士，及其他科学工作者对研究彩色显影所作的努力，使能在1945到1947年间奠定了多层彩色摄影材料的制造和处理过程，并大量生产之。必须指出，苏联科学家及外国科学家在光学增感、彩色显影、不扩散组织要素的合成以及其他方面有关的著作，对发展现代最完善的彩色摄影方法，有着重大的意义。现代国内摄影工业出产各种彩色负性及正性的摄影材料。中央测绘科学研究所拟定了彩色软片及彩色像纸的化学摄影处理的简便方法。这使彩色摄影有广泛应用的可能，它不仅可用在地面摄影，而且也可用于解决各种国民经济需要的空中摄影。

本书可作为地形测量中等技术学校及地形测量学校的“摄影与空中摄影学”课程的教科书。此外，可供在航测和制图部门的工作人员，以及为国民经济目的进行航空摄影工作之其他部门的工作人员参考。

为了便于学生领会彩色摄影的原理，及进行彩色摄影处理过程的实践，当叙述材料时，尽可能的将摄取普通黑白摄影影像的过程和摄取彩色摄影影像的过程作比拟。

教科书中，依次地叙述地面及空中摄影时的彩色摄影负片及正片过程的原理，并对彩色摄影材料的应用及其处理提出一些实际指示。本书第一章叙述有关色彩学的基本必要知识；第二章叙述彩色摄影现代方法的原理，并说明各种彩色感光材料的特性。

在第三、四章中，研究借彩色摄影材料进行地面摄影及空中摄影的特点。

第五章则分析潜像显影的问题，并叙述负性彩色摄影材料化学摄影处理的简便方法。

在第六章中叙述正片晒印的特点及正性彩色摄影影像的处理过程。

目 录

前言

第一章 有关色彩学的基本知識	1
§ 1 光譜、光的本性	1
§ 2 光源的色溫	3
§ 3 物体的顏色	9
§ 4 消色色調和彩色色調	11
§ 5 顏色的合成	14
§ 6 用減色法成色	18
§ 7 彩色視覺	19
第二章 用于彩色摄影的摄影材料	23
§ 8 三层彩色摄影材料的結構	23
§ 9 在三层軟片上取得彩色負像过程的概述	26
§ 10 取得彩色正像过程的概述	28
§ 11 彩色摄影材料摄影性能的鑑定	30
§ 12 彩色負性軟片的类型	37
§ 13 彩色正性摄影材料的种类	41
第三章 地面彩色摄影	43
§ 14 用于彩色摄影的摄影机及物鏡	43
§ 15 日光光照的光譜特性	44
§ 16 人工光源輻射的光譜特性	51
§ 17 摄影时光照光譜成分的控制，摄影用补偿滤光片	54
§ 18 彩色軟片的选择及其实际試驗	59
§ 19 彩色摄影时曝光量的确定	62
§ 20 几种彩色摄影的形式	70
第四章 彩色空中摄影	82
§ 21 空中摄影的任务	82
§ 22 航空景物中物体的光譜反射能力	89
§ 23 空中濛霧	92
§ 24 航空摄影机的光学特征	95

§ 25	用彩色航摄软片空中摄影时曝光时间的确定	97
§ 26	光谱带彩色空中摄影	100
§ 27	用彩色航摄软片空中摄影的条件	102
§ 28	按彩色航摄像片判读航空景物	105
第五章 负片过程		109
§ 29	摄影潜像	109
§ 30	潜像的显影	112
§ 31	彩色显影液的一般特性	115
§ 32	彩色显影液的配方	117
§ 33	已显影的彩色影像的定影	123
§ 34	定影的速度和延续时间	124
§ 35	定影液配方	125
§ 36	银质负像的消除	126
§ 37	处理彩色软片时乳剂层的坚膜	127
§ 38	彩色负片的水洗和干燥	128
§ 39	彩色负性软片的处理	131
§ 40	在显影时改善负片的彩色平衡	141
§ 41	以显影方法改正摄影时的曝光不足	142
第六章 正片过程		144
§ 42	彩色像片上的彩色表达	144
§ 43	彩色正片过程的特点	146
§ 44	校正滤光片	147
§ 45	晒印彩色正片时选择校正滤光片的方法	152
§ 46	晒像时曝光时间的计算	160
§ 47	彩色投影晒像和接触晒像的条件	162
§ 48	以航摄负片作彩色的和黑白的接触晒像	165
§ 49	已曝光的彩色正性摄影材料的处理	167
§ 50	正片摄影影像颜色的减薄	169
参考文献		171

第一章 有关色彩学的基本知識

§ 1. 光譜、光的本性

如果让太阳的光綫通过墙壁上的狭窄小孔（縫隙）投射于暗室中的三稜鏡上，并使稜鏡的折射稜平行于縫隙，而光綫形成一角度投射到稜鏡的第一稜面，則在对面壁上形成了光譜。在光譜中，光綫的色彩順次的排列着，并逐渐由一种轉換到另一种，如图 1 所示。英国科学家牛頓在 1672 年首先进行了这一实验，并且由此証明了白色（无色）的太阳光綫是由很多种不同顏色的光綫所組成的。

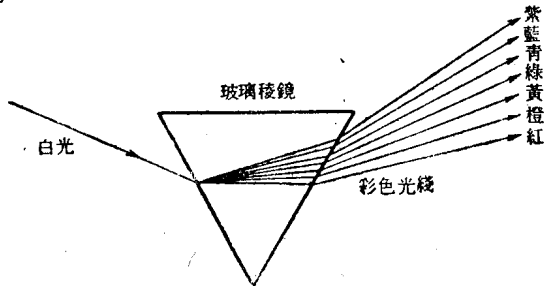


图 1 形成太阳光譜之略图

光譜內光綫分解現象的实质，說明了白色光綫成分中所包括的各色光綫，在透过稜鏡时，在其兩稜面上折射，并与其起始方向傾斜成各种角度。这是由于玻璃在空气中，对于各色光綫有着各种不同的折射指数而产生的。折射最大的是紫色光綫，折射最小的为紅色光綫。

如在靠近太阳光譜紅色边缘的黑暗处放置一溫度計，則溫度計显著受热，因而在这一范围内是有不能目見而能产生热量的光綫，这些光綫称之为紅外綫。与光譜的紅光带接近的紅外綫，在空中摄影方面具有很大的作用。

在可見光譜的紫色界限外，不能使溫度計升高溫度，但如在那里放一块摄影干板，則干板在以后显影时变黑，这就揭示了不

能目見的所謂紫外綫的光綫。在紫外綫範圍內進行攝影，要應用特種物鏡，其透鏡是由螢石或溶解石英製成，因為普通的光學玻璃不但不能讓紫外綫通過，而且還吸收它。

光綫的顏色與其波長密切相關，同樣這一點是有關光的本性的問題。光即是介質電磁狀態週期性的變化。

這種變化帶有波動特性，並且光波與其他電磁波（無線電波、熱綫波）僅是在波長有所不同。

光波在真空中傳播的速度等於300000公里/秒。

在真空中一次振盪時間內傳播振盪運動的距離，稱謂電磁波長 λ 。一秒內振盪的次數稱謂振盪頻率 ν 。

光波的傳播速度 C 由下式確定：

$$C = \lambda \cdot \nu$$

因此
$$\lambda = \frac{C}{\nu}; \quad \nu = \frac{C}{\lambda}$$

由上述可知，在傳播速度為常數時，波長 λ 和振盪頻率 ν 是光輻射的物理特性。

光波的長度非常短，以毫微米量測之。一個毫微米（ $m\mu$ ）等於0.001微米。有時量測波長還應用更小的單位埃（ \AA ），一埃（ \AA ）等於0.1毫微米。

光綫波長及振盪頻率的變動範圍如表1所列：

表 1

輻 射	波 長 (λ)	振 盪 頻 率 (ν)
可見光綫	400—760 $m\mu$	7.5×10^{14} — 4×10^{14}
紅 外 綫	760 $m\mu$ —0.3 mm	4×10^{14} — 1×10^{13}

由上面所列举的数据可知，電磁振盪的頻率由一秒內數百萬億次振盪所組成。光譜的可見部分是光綫中的一小部分，按波長而言，它是分布在 $\frac{1}{10}$ 微米的區間內，但是借這些光綫卻能得到很多種顏色和色彩。

图 2 及表 2 中的数据以闡明光譜顏色及波长之間的相互关系:

表 2

波 长 (m μ)	顏 色
400—430	紫 色
430—470	藍 色
470—490	青 色
490—550	綠 色
550—590	黃 色
590—620	橙 色
620—760	紅 色

每一波长与光綫的一定顏色相应, 如果它是由同一波长的振盪所組成, 則称为单色 (一色), 那就不能把它分解成各种組合色彩。实际上, 所获得之单色是由各种长度的波組成, 而且最长及最短波长的光綫的顏色相差是不大的。

在光譜的各个顏色之間, 从这一顏色轉換到另一种顏色, 不存在明显的界限, 并且在連成一片的光譜內, 用眼就可区别出将近 150 种色彩。

在光譜色調的天然分划中无品紅色, 而品紅色在彩色摄影中具有很大的作用,

这种顏色是由紫色和紅色光綫混合而成, 并具有 30 种轉化色調。

用眼能在光譜內和許多品紅色中区分出共計 180 种的色調。

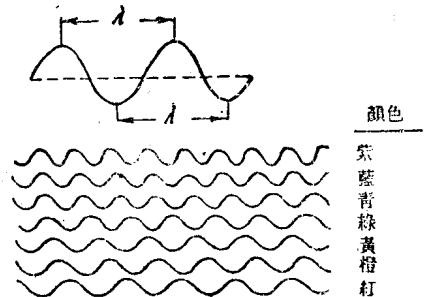


图 2 各种顏色的光波

§ 2. 光源的色溫

光源輻射的质量特性是取决于它的色溫。为了对光源的这种特性有所了解, 就必须了解溫度輻射定律。

众所周知，在对某种物体加热时，首先增加了不可見的热輻射，当溫度再繼續增加时，这一物体便开始放射出暗紅色光綫，而后不但放射紅色的，而且放射橙色的，其次又放射出另外一些波长較短的光綫，这时已（加溫到最大程度了）白热化了。因而发光从紅色变为橙色，而黃色，最后到白热溫度时，而为白色，并且同时加强了发光的总亮度。

溫度輻射在我們周围的自然界内起着重大作用。地球上人类生活所必需的热源和光源即为太阳，太阳是具有极高温度的宇宙体。普通的光源，如原始燃烧的树木、烛光，及現代的电灯皆为溫度輻射体。由所举例中可看出，随着溫度的增加，不仅改变了总强度，而且也改变了輻射的光譜质量分布。这种情况在摄影学中有重要意义，因为各种摄影干板及軟片对可見光譜各光綫的感光程度不同。

溫度輻射不但与物体的溫度有关，而且也与其物理属性有关。如把一小块煤和一小块粉笔放在煤气炉的火焰中，則能发现，虽然这两物体加热至同一溫度，但发光則不同：煤比粉笔亮得多。由此确定，物体吸收投射到它上面的光綫愈多，則在加热时它輻射的光綫也愈多。黑色物体具有最大的吸收能力。能吸收全部投射到它上面的光綫的物体，称为絕對黑体。

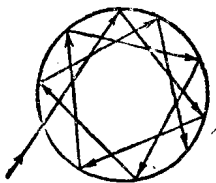


图 3 絕對黑体内的光綫略图

天然的絕對黑体，在自然界内不存在，但这样的物体可以人工制造，它是由耐火金属制成，具有一小孔及内表面涂黑的空心圓球。从图 3 中可看出：通过小孔进入球内的光綫，大部分为黑色表面所吸收，一部分則反射，反射的光綫遇到涂黑的表面，又大部分被吸收，内表面反射出的光已經是非常少的一部分，經一系列的逐次的反射后，光实际上已全部被吸收。因此，空心圓球的小孔即是絕對黑体，因为投射到球体内的所有光綫为其内壁腔所吸收。从外部看，球体可能不是黑色，但其小孔，在室内溫度下，它是絕對黑色的。当将此

球体加热时，其内表面将辐射出光，并随着加热的温度，小孔首先发出深红色的辐射光，而后黄色的，最后发出白色光。

随着绝对黑体加热温度的变化，其辐射的光谱成分亦变化。在同一温度条件下，绝对黑体的辐射能力较任何其他非黑色的物体的辐射能力为大，并在辐射体温度不变时，总是在质量与数量方面是一致的。

在测定绝对黑体温度和温度辐射间的关系时，曾确定了温度辐射定律，定律的要点如下。

绝对黑体的全部辐射能量与这一物体的绝对温度的四次方成比例：

$$E = \sigma \cdot T^4,$$

式中 E ——绝对黑体的全部辐射能量；

T ——该物体的绝对温度〔即由绝对零度（摄氏 -273° ）计算之温度，绝对温度的分划以字母K表示〕；

σ ——等于 5.72×10^{-5} 尔格的常数，并表示绝对黑体的1平方厘米表面上，在 $T=1^{\circ}\text{K}$ 时，一秒钟内向 $T=0^{\circ}\text{K}$ 的物体辐射的全部能量。

这一公式证明，随着温度增高，辐射增长极快。

图4列出了各绝对温度的辐射曲线，在水平轴上分别列出波长，在垂直轴上列出以相对单位计的所发射光线的能量值。

三条曲线相应于三种不同的温度。从上图中不难了解，对于每一标出的绝对温度都具有与其最大辐射即曲线的最高点（极大值）相对应的波长。把各曲线比较一下，即可看出，每条曲线的极大值的位置是不相同的。如绝对温度增大，极大值就向左面移

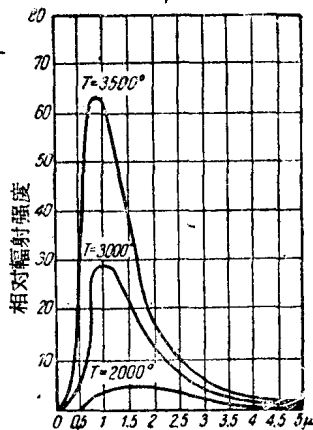


图4 相应于光源的各绝对温度之辐射曲线

动，也就是向波长较短的一边移动。这是和上述的論据相符合的，即物体在加热时，輻射的顏色逐渐改变，并且使所輻射的光通量最后变成白色。

研究証明，在最强輻射的波长与绝对黑体輻射的绝对温度間存在着简单的关系式，这关系式即：該波长与绝对黑体绝对温度的乘积为一常数，

$$\lambda_{\text{极大}} \cdot T = \text{常数}$$

如以微米表示波长，則

$$\lambda_{\text{极大}} \cdot T = 2886$$

由此，按上列等式，已知其中的一值，即可很容易地确定另一值：

$$\lambda_{\text{极大}} = \frac{2886}{T},$$

$$T = \frac{2886}{\lambda_{\text{极大}}}$$

現在，我們来解释輻射体色温的概念，因为太阳及各种人工光源輻射的光譜成分，以其色温来表示总是更加方便。

为了对任意一种光源的光譜成分作正确的說明，就必须求得绝对黑体的温度，在这温度条件下，其光譜中能量的相对分配与該非黑体光源的光譜中能量的相对分配相一致。这种绝对黑体的温度就称为該光源的色温。求得了任一光源輻射的色温，即可确定其輻射的光譜成分，因为对于绝对黑体在不同的温度条件下，輻射能量之光譜分配已精确确定。

由上述可知，色温使任何光源的輻射有了完全确切的物理特性；同时，当色温增大时，在輻射光的成分中，短波光綫（蓝色光綫）部分增长，而减少色温时，則长波光綫（紅色光綫）部分增长。

我們用例子来说明发光电灯色温的測定。

借分光鏡或摄譜仪，在該灯泡輻射光譜的可見部分上，求得能量順着波长之相对分配，加热绝对黑体，直到輻射光譜能量的

相对分配与灯泡辐射能量的相应分配相符合时为止。假设这时黑体的绝对温度为 2400°K ，则这一温度即为电灯泡辐射的色温。这并不是说灯泡中灯丝灼热的实际温度为 2400° ，而仅说明，电灯泡辐射光谱可见部分的能量分配与绝对黑体在温度 2400°K 时辐射的能量分配相同。

表3列出了几种光源的色温数据：

表 3

光 源	色 温
白热钨丝真空灯泡	2450°K
弧光灯（纯炭）	3780
人工日光灯	3570—4100
平常正午的太阳光	5000
夏季正午地面上太阳的直射光线	5300—5600
有云天空发射的光	6400—6900

在彩色摄影时，光的光谱成分，亦就是光源色温之值有着极其重要的意义，因为，彩色软片只供在光源的一定色温下使用。不满足这一条件，则可使所摄物体的颜色大大改变。

在晒印彩色正片的影像时，由于光源的正常色温的偏差也大大地影响着晒印条件，并引起彩色表达之明显失真。

光源的色温可用光电仪器及目视仪器测定。

由全苏电影摄影科学研究所制造的色温计（ИЛТ）可作为目视仪器的一例。用这种仪器量测色温的要点是，测定“红蓝比例”与发光现象的方法结合。在单色的比较场时；这种发光现象可以应用眼睛视觉反差。

具有发射白熾光的相同光谱能量的光源，“红蓝比例”等于 $\frac{100}{100}=1$ 。这一比例的改变，即表示着光通量光谱成分的改变，而光谱组成的改变是以一定之色温表示的。

由此，辐射光源的色温可根据“红蓝比例”测定之。

光源辐射的色温与光的通量“红蓝比例”的数字关系列于表4内：

表 4

紅 藍 比 例	色 溫	紅 藍 比 例	色 溫
0.95	5500 °K	3.4	3000 °K
1.6	4000	4.2	2800
1.91	3750	5.4	2600
2.26	3500	7.1	2400
2.7	3250	10.0	2200

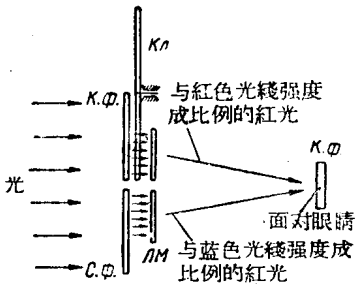


图 5 带有发光装置的目视双带仪器的作用原理

色温計的操作原理如图 5 所示，并如下所述，将所研究的光通量的橙红光綫 ($K\Phi$)，照在仪器上的一个比較色场上，第二比較色场也照以橙红光綫，但这橙红色光綫是在所研究光通量的蓝色光綫 ($ЛМ$) 影响下，由发光物质所輻射的。

这样一来，两个比較色场具有同一的橙红色。第一比較色场的光亮度与光譜的紅色光綫之强度成比例，而第二比較色场的光亮度則与所研究光通量的光譜之蓝色光綫强度 ($C\Phi$) 成比例。为了保証两色场顏色一致，在光綫到眼睛的綫路上安置一紅色滤光片，利用环形光学楔板 (KJI) 調节两比較色场的亮度，借这种仪器只能量測投射到摄影物体上的光之色温，要量測摄影物体的反射光之色温，利用这种仪器是不可能測定的。量測中，在两个半圓形的比較色场的光度达到均衡后，按色温分划取得讀数，在均衡时，色场两半的亮度相等，而两色场間的分綫几乎完全消失。

仪器接受光綫的敞开平面确保将近 180° 的“視角”。仪器讀数的精度与在 500 到 120000 勒克司范围内的照度、气温及观测者色视觉的性能无关。

§3. 物体的顏色

所有物体可分成两类：一类是向周围空間輻射光能的自发光体；另一类物体，不輻射光綫，而能在某种程度上吸收、透射或反射投射在它上面的光綫，这类物体有透明的，亦有不透明的。投射到透明体上的光可分为三部分，即为物体反射的，吸收的，以及透射的，而投射到不透明体上的光則分为两部分：即反射的及吸收的。

被物体吸收的光能轉化为另一种形式的能量（大都轉化为热能），各种物体吸光的程度是不同的。如果物体对于白色光綫中所有光譜之光綫都同样的吸收，則它具有非选择吸收性。

在不均匀吸收时，即当物体对一种光綫比另一种光綫吸收程度較大，則称它具有选择吸收性。

由于光的选择吸收，便产生了物体的顏色。

如果透明体具有光的选择吸收，則它的顏色須决定于它透射的光綫，在非选择吸收时，透明体是无色的。

具有选择吸收性的不透明体的顏色，是决定于它所反射的光綫。

在非选择吸收时，不透明体具有各种亮度的白色和灰色，其光亮度大小根据所吸收白色光的数量而定。白色光全部为之吸收时，即无反射光綫，物体将为黑色。

下面我们举几个透明体及不透明体顏色形成的例子。我們把选择滤光片作为透明体顏色的一例，这种滤光片可应用在分色摄影中，即在复照彩色原图时必须分成三种基本顏色：紅、綠、藍。

滤光片透射的光譜特性，也就是它的顏色，可以用光譜吸收曲綫图解說明之。光譜吸收曲綫是表明滤光片透射及吸收可見光譜中任一光綫的程度。

从图6所示的滤光片吸收曲綫中，可看出滤光片的紅色，是由滤光片透射波长为750—600 $m\mu$ 的紅色光譜帶的光綫所形成的。透射光的波长范围在600到500 $m\mu$ ，即青色、綠色、部分的黃色

及橙色，但綠色光綫所占成分較多的濾光片是具有綠色。藍色濾光片透射波長在400到500nm範圍內的光譜的紫色、藍色及青色光綫。

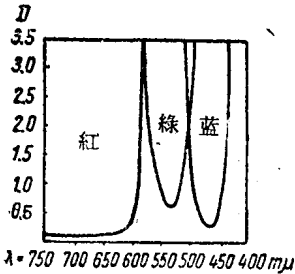


圖 6 一組濾光片的吸收曲綫

不透明體產生顏色時，吸收現象中交雜着光的部分反射及散射。從物體表面完全反射出來的光是不改變其顏色的。表面磨光的樹木、大理石上的白色光澤，藍色天空的被水面反射以及其他，均可作為這種現象之示例。

穿過物體內部的光不僅要被吸收，並且受到內部選擇的反射及散射，這一現象也確定物體的顏色。我們來研究一下畫在白紙上並為日光所照明的染料層。

染料層是由分布于漿糊、油質及膠水等連結介質中的微小顏料質點所組成。圖 7 所示為染料層產生顏色時的光學現象簡圖。

投射到染料層的一部分光綫，從其表面上反射出來沒有改變自己的光譜成分，其餘部分滲透到染料層的內部，在穿過具有選擇吸收的顏料質點時，將改變自己的光譜成分。光穿過染料的第一層後，即射到其第二層，從第二層表面反射出光的一部分，而其餘部分射到第三層，並將一層進一層地繼續透射。顏料質點反射的部分光綫射出物體表面，便確定了表面的顏色，從染料層深處的白紙表面反射出來的光，具有強度最大的顏色，此後重新經過質點層射到染料層表面。

因此，所見的染料層的顏色即是各種波長的光綫，及在各深度上顏料質點和部分由外表面所反射的光綫之綜合。

投射到物體上光的光譜成分改變時，當然其反射光綫亦為之改變，因而物體的顏色也改變。例如：在太陽落山時，景物呈現淡紅色調；在長波為黃色、橙色、紅色光綫的白熱電燈光下時，則藍色物體喪失飽和性，深藍色變黑，青色變綠，黃色變得更淡。

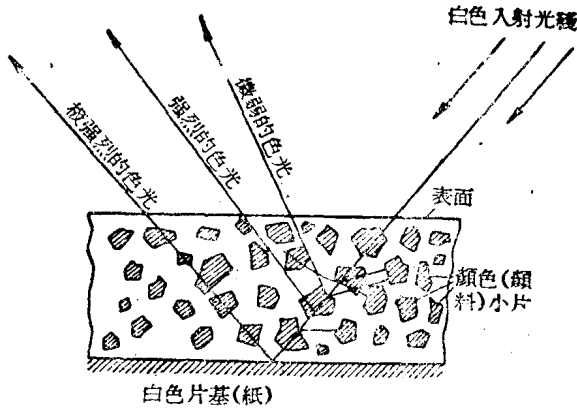


图 7 染料层产生颜色时的光学现象简图

在各种光源下物体颜色的改变，在彩色摄影学中，以及彩色摄影晒像的试片及成品的目视评定中有着重大意义。

§ 4. 消色色调和彩色色调

白色、各种浓淡的灰色，以及黑色色调称为消色色调（希腊文 *χρομα* 即彩色，*a* 即负值部分，*αχρωματιστικος* 则译成无色），它们是由于非选择吸收的结果而形成的。所有其他色调称为彩色色调，即颜色，它们是由于选择吸收的结果而形成。

如将消色色调配制成逐渐由黑色变到白色的行列，则得到一个所谓灰色阶板，它具有大量变色层次。

消色色调对各种波长的光线具有等量吸收或反射的一般性能。能把全部投射到它上面的光线向外扩散地反射之物体，称为理想白色物体。与理想白色色调最接近的是氧化镁层的表面，或者是能反射将近99%的投射于其上的白色光线的硫酸钡。

物体表面灰色浓度愈大，则对投射于其上的光线的吸收就愈多，而反射就愈少。如前所述，绝对黑体应吸收全部投射于其上的光线。与这类物体最接近的为黑天鹅绒，但它尚能反射投射于其上光线的2%。