

彩色胶片

张景禹 编著



CAI SE JIAO PIAN
SE JIAO PIAN
CAI SE
JIAO PIAN



轻工业出版社

彩色胶片

张景禹 编著

轻工业出版社

内 容 提 要

本书共分九章；首先对光、色与视觉做了深入浅出的叙述。然后系统地较详尽地阐述了彩色胶片的彩色影调还原、性能测定、片基、照相乳剂、补加剂、涂布、配方合成等项。最后对彩色胶片的加工原理、加工工艺和配方以及加工液的成分与作用比较具体地予以介绍。

本书可作为感光材料厂生产技术人员学习参考资料，也可供有关院校感光材料制造专业师生以及一般摄影工作者、摄影爱好者阅读参考。

彩 色 胶 片

张景禹 编著

轻工业出版社出版

（北京广安门南滨河路35号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米1/32 印张，12¹/₈，插页，2。字数：266千字

1987年3月 第一版第一次印刷

印数：1—3,400 定价：2.35元

统一书号：15042·2103

前 言

彩色胶片是集中了照相科学及照相工业的多方面成就而发展起来的。彩色胶片的出现和发展使感光材料在科学研究和工业生产方面向前推进了一大步，并在电影、电视、民用和航空等许多应用领域有尽快代替黑白胶片的趋势。它已经成为感光材料中的主导部分。

我国彩色胶片研究始于五十年代末，而成批生产则是在六十年代初。二十多年来所取得的成就是可喜的；但距世界先进水平尚有相当差距，特别是在某些基础研究和工艺装备水平上这种差距更大。尽快地提高和改善这种状况已成为当务之急。

已公开发表的彩色胶片技术成果和研究资料，远不如黑白胶片那样具有严谨的科学性和指导意义，至多具有参考价值。本书也只能起一点类似的作用。

写作本书是作者多年的宿愿，今天得以实现。做为感光材料工业的一名工作者，愿在实现四化的征途中，为自己从事多年的专业添上一块砖瓦。但由于水平所限，错误之处肯定不少，欢迎读者批评指正。

书中引用了我国许多同行业工作者的成果，并提到了他们的名字。张东生同志对本书提出了宝贵的意见，陈守源同志对本书写作给予多方面的支援。在此向他们表示衷心的感谢。

本书书稿是由北京化工学院的张丹同志清稿并核对的。

目 录

第一章 光、色与视觉	(1)
一、光.....	(2)
二、色.....	(8)
三、视觉.....	(23)
第二章 彩色影调还原	(37)
一、被摄体.....	(38)
二、彩色影调还原的过程和机理.....	(42)
三、减色法感光胶片的结构和特征.....	(44)
四、胶片的传色性能及其评价.....	(54)
五、彩色胶片彩色影调还原性能的改进.....	(67)
第三章 彩色胶片性能测定	(80)
一、彩色感光测定.....	(80)
二、影象物理质量的测定.....	(97)
三、其他性能的测定.....	(111)
第四章 片基	(120)
一、片基的结构和基本性能.....	(120)
二、三醋酸纤维素酯片基的制造.....	(125)
三、涤纶片基的制造.....	(134)
第五章 照相乳剂	(145)
一、照相乳剂合成工艺.....	(145)
二、乳化及物理成熟的机理及影响因素.....	(150)
三、化学成熟的机理及影响因素.....	(169)
四、乳剂合成新工艺.....	(182)
第六章 补加剂	(191)

一、光学增感染料·····	(91)
二、稳定剂与防灰雾剂·····	(206)
三、表面活性剂·····	(215)
四、坚膜剂·····	(226)
五、其他补加剂·····	(235)
六、成色剂·····	(241)
第七章 涂布 ·····	(259)
一、涂布工艺过程·····	(259)
二、浸渍涂布·····	(273)
三、挤压涂布·····	(286)
第八章 配方合成 ·····	(305)
一、照相明胶的选用·····	(306)
二、配方合成的顺序与原则·····	(313)
三、乳剂配方从小量试验到工业生产的过渡·····	(321)
四、混合乳剂和分层涂布·····	(325)
五、调整彩色平衡·····	(329)
六、实用配方举例·····	(337)
第九章 彩色胶片的加工 ·····	(351)
一、彩色片加工原理·····	(351)
二、彩色片加工工艺和配方·····	(359)
三、加工液的成分与作用·····	(373)

第一章 光、色与视觉

我们所观察到的客观世界之所以如此生动壮观，就是因为它是有颜色的。湛蓝的天空，碧绿的海水，茵嫩的草原，巍峨的青山，鲜艳的花朵，色彩缤纷的城市建筑等等。用五颜六色装扮起来的大自然是如此和谐、如此具有生命力，给人们以美的享受，给生活增添无穷情趣。无怪古今中外的艺术家们为之倾倒，创造出无数反映大自然壮观景色的艺术作品，成为人类文明的瑰宝。如果没有颜色或感觉不到颜色的世界的景象，将是可怕的，将会象没有声音的世界一样给人以沉闷阻滞、单调无聊的忧郁感，而且也会给人类的生存斗争带来极大的困难。

现代彩色照相、电影和电视的出现并进入生活之中，是科学技术发展和人类文明进步的重要里程碑。它不仅在宣传、教育以及满足人们精神生活和艺术欣赏方面起了极大的促进作用，而且在科研、生产及其他各个领域起着越来越显著的作用。

年轻的彩色照相、电影、电视技术尚处于发展阶段，在真实客观地再现大自然绚丽多姿的色彩、影调、层次方面，还有许多缺陷和不完善的地方。因此有大量工作要做，积极促进彩色电影、电视的发展，是电影、电视技术工作者义不容辞的责任。

1106234

1

一、光

(一) 光的基本特征

光是一种电磁辐射，在广阔的电磁波谱中，光辐射仅是一个很窄的波域，而引起人的视觉兴奋的可见光仅仅为波长400~700nm。光辐射以波的形式传播，其两波之间的距离为波长，光在真空中传播的速度为每秒钟3亿米。光在行程中每秒重复振动的次数为频率。光速、波长与频率之间有如下关系：

$$V = f\lambda$$

式中 V ——光速

f ——频率

λ ——波长

光辐射来源于原子中外层电子能级的跳跃，因此光是一种能，这种能可利用于光化学反应中，照相科学及感光材料的发展就是基于这种以光为能量的化学反应上。现代关于光的本质的波粒学说阐明了光能的最小单位是光子。光的波动说解释了光的直线传播、光的干涉、光的衍射、光的色散等物理现象，而光的粒子说则解释了另一些现象如光电效应等。照相科学广泛地利用光的许多物理化学现象，因此可以说光是照相科学发展的基础和动力。

表1-1是可见光谱的一些特征。

光通过玻璃三棱镜或光栅后由于各波长的折射率不同而发生色散，我们可以看到在色散而成的可见光谱中，从波长700nm到400nm出现了美丽的红橙黄绿青蓝紫七色光谱，见图1-1。

表 1-1

可见光谱的一些特征

波 长 (nm)	频 率 (赫 $\times 10^{12}$)	色 散 的 颜 色	相 对 亮 度
700	428.7	 红 ↓ ↓ ↓ 橙	0.004
680	441.1		0.017
660	454.5		0.061
640	468.8		0.175
620	483.7		0.381
600	500.0		0.631
580	517.3		0.870
560	535.6	↑黄	0.995
558	537.6	↓	1.0
540	555.6	↑绿	0.954
520	577.0	↓	0.710
500	599.8	↑青	0.323
480	625.0	↓	0.139
460	652.3	↑蓝	0.060
440	681.6	↓	0.023
420	714.3	↑紫	0.004
400	750.3		0.0004

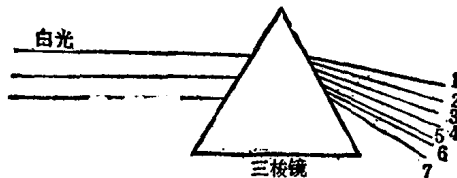


图 1-1 光的色散

1—红 2—橙 3—黄 4—绿 5—青 6—蓝 7—紫

把七色光谱再通过一个三棱镜，仍聚合成一束白光。当把可见光谱中不同的单色光以合适的比例混合在一起时就变

成了白光。光的这一特征是我们研究的颜色视觉和彩色影调还原的主要因素之一。

光的波长不同不但给人的视觉带来了不同的颜色，而且在光化学反应中带来了不同的能量，短波的蓝紫光的能量显著地大于长波的红橙光，前者能使卤化银晶体曝光后形成潜影，再经过显影而使其还原为金属银粒。而后者由于能量低不能产生这种作用，只有加入一些能吸附于其表面而本身又能吸收这些波长的光的某种特殊的染料——菁染料，才能借助于这种染料把能量传递给卤化银晶体而使其曝光。正是借助于不同波长的光具有不同能量这一重要特征，才可能研制成了现代的彩色感光胶片，这类胶片通过利用光的上述特征把彩色景物分解合成而达到再现原景物的目的。

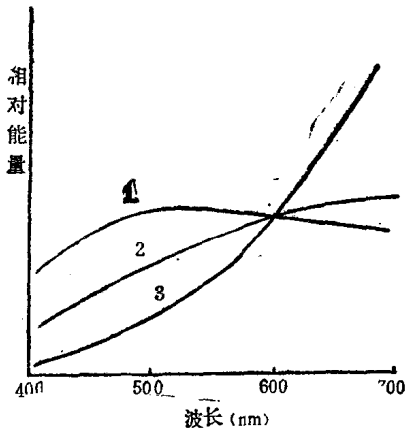
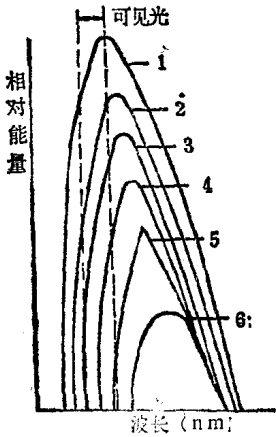


图 1-2 不同色温辐射体能量分布

图 1-3 各种光源能量分布

- 1—4000°K 2—3000°K 3—2500°K 1—太阳光 2—弧光 3—钨丝灯
4—2000°K 5—1500°K 6—1000°K

光来自发光体。发光体受热升温到一定程度时，物质原

子中的外层电子发生能级跃迁，在跃迁的同时产生辐射。试验证明任何物质的温度升高到某一临界值后都能产生辐射。温度愈高辐射的能量愈大，也即辐射的波长愈短。因此不同发光体发出的可见光中的波长和颜色的配比是不同的，这种不同，取决于发光体的温度。色度学上用黑体加热到不同温度所发出的不同光色来表达发光体的颜色，称作色温。不同色温的光的能量分布及颜色成分是不同的。图1-2和图1-3表明了这种情况。表1-2列出了常见光源的色温。

表 1-2 常见光源的色温

光 源	色温 (°K)	光 源	色温 (°K)
标准烛光	1930	平均中午日光	5400
早 霞	2000	电子闪光灯	6000
真空钨丝灯	2400	昼光(日光加天空光)	6500
照相钨丝灯	3200	蓝 天	15000
闪光灯	3800		

非常明显，在整个照相过程中，特别是彩色照相中要非常熟悉不同色温下光的能量分布情况并准确地掌握和利用色温对彩色还原的影响。

(二) 光的计量

为了在照相过程中准确地控制光的利用，常常用到光的各种计量单位。为此这里简述照相过程中常用的光的计量，以供参考。

1. 光强 (L)

发光体发射的光的强度为光强。现在国际上规定：一光

源在给定方向上的发光强度，该光源发出频率为 540×10^{12} 赫兹的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为 $1/683$ 瓦特每球面度，单位为坎德拉，符号为 Cd。

2. 光通量 (F)

光源发光时，不断地向四周空间辐射出光能，人们规定光源辐射出的光能跟辐射所经历的时间之比为光源的光通量。光通量的计量单位是流明。规定 1 烛光的点光源从单位距离处投射到与之成直角的单位表面上的光通量为 1 流明。流明简写为 Lm。

3. 照度 (I)

物体单位面积上所得到的光通量叫做照度。照度的计量单位是勒克司。规定被均匀照射的物体，在 1 平方米面积上得到 1 流明的光通量时的照度为 1 勒克司。勒克司简写为 Lux。


4. 曝光量 (E)

摄影上规定曝光量为被摄物体接受的光照量。它是照度 (I) 与时间 (t) 的乘积。即：

$$E = It$$

曝光量还可以表示成下式

$$E = C \times \frac{1}{M^2} \times t$$

式中 C —— 光强
M ——  光源到被摄体的距离
t —— 曝光时间

该式表明曝光量与光强和曝光时间成正比；与距离的平方成反比。

5. 亮度 (B)

亮度指物体接受光线照射后，其反射出来的明亮程度。它取决于照度（I）、物体表面反射系数（ρ）以及反射的形式。

$$\rho = \frac{\text{表面反射的总光通量}}{\text{投射到表面的总光通量}}$$

亮度的计量单位国际上没有统一标准。在英制系统中，亮度单位为英尺朗伯。如果一朗伯面射出的总辐射为1流明/平方英尺，则此表面的亮度为1英尺朗伯。我国常用的单位是熙提。在1平方厘米的表面上反射出1烛光的亮度为1熙提。

物体受光照射后，发生吸收、反射和透过三种现象。能透光的物体叫透明体，不透光的物体叫反射体。自然界中大部分构成照相对象的物体是反射体。因此由反射体表面的反射系数决定的亮度是照相过程中的重要概念。表1-3列出了某些物体的反射系数。

表 1-3 某些物体的反射系数

物 体	反射类型	反射系数	物 体	反射类型	反射系数
磨光的金属银	定向	0.87~0.92	白纸	漫射	0.80
镀银的镜子	定向	0.80~0.90	白涂料	漫射	0.75~0.88
铝箔	定向	0.85~0.87	大理石	漫射	0.40~0.60
磨光的不锈钢	定向	0.55~0.65	白布	漫射	0.30~0.60
光面白陶瓷	混合	0.60~0.80	白种人脸	漫射	0.30~0.40
硫酸钡	漫射	0.95~0.98	混凝土	漫射	0.20~0.30
硫酸镁	漫射	0.93~0.97	煤	漫射	0.10~0.15
雪	漫射	0.93	黑布	漫射	0.01~0.015
白石膏	漫射	0.90~0.92	黑天鹅绒		0.01~0.005

由于大部分物体对光的反射是有选择性的，因此呈现了各种颜色。图1-4为几种物体对不同光波的反射曲线。

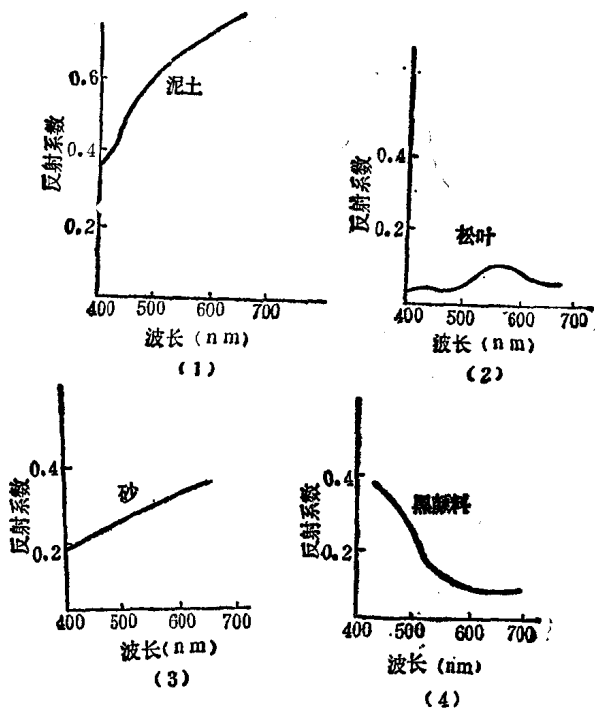


图 1-4 几种物体的光谱反射系数曲线
因此物体亮度是指各波长的总含量。

二、色

混合的白光照射于物体表面，由于物体表面的选择性吸收和反射，映于人们的眼睛，在形成立体几何影像的同时，也有了颜色的感觉。颜色是一种主观感觉，但这种感觉来源于光和自然物体，没有这种客观的物质存在，也就没有主观

的颜色感觉。这一相互关系生动地说明了唯物主义的反映论。

(一) 颜色的基本特征

颜色可分为两大类。第一类为黑白以及它们中间的各种亮度的灰色。第二类为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫及各种品色等多种多样的彩色。实际的自然物体的颜色并不只表现在上述光谱单色上，而是更多地表现于由多种颜色混合的各类彩色上，如玫瑰红、橄榄绿、蛋黄、各种棕色以及皮肤的肉色等等。各种各样的彩色到底以怎样的客观标准来区分和鉴别呢？这里提出鉴别和区分颜色的三个基本特征，即色别（色调）、纯度（饱和度）和亮度（明度）。括弧内的名称为同一意义的主观感受的名称，括弧外的为客观计量名称。

1. 色别

在色散光谱上光谱波长从700~400nm的波域中，我们能够区别出大约150种颜色。而光谱上没有的由光谱两端的红与紫相混而成的各种品色，我们又能分辨出约30种颜色。红、橙、黄、绿、青、蓝、紫只是大体表示了几大族色而已。

色别这一特征的意义就是把某种颜色归并于其相似的光谱色并与其他颜色相区分。如我们把草的颜色归并于光谱中相当于波长550nm的绿色上；把鲜桔的颜色归于光谱波长580nm的橙-黄色上；把红旗的颜色归并于光谱波长650nm的红色上等等。每个光谱波长都有确定的颜色，所以把光谱色做为色别的标准是最适宜的。但是许多有色物体的颜色不是单一的，例如各种棕色，这种色很难在光谱色中找到相同的部位，这时我们把主波长做为归类的色别标准。主波长即在光谱反射上占比例最高的那种颜色的波长。如图1-4中的松叶

几乎对光谱所有波域都反射，但占反射比例最高的是 540~550nm 的波段，因此它的色别应当是绿色。我们虽然在语言上为各种中间色起了许多名称，但这只能是语言艺术上的象征而不能做为颜色色别上的区分。

2. 纯度

颜色的第二个特征是纯度即饱和度。顾名思义它表示所含色的多寡。它的意义在于具有相同色别的颜色与同样亮度的灰色（无色）体之间的差别程度。这种差别程度越大表明它所含的颜色越多即纯度越大，也就是色别越明显。例如柑子与砂粒的色别是一样的，主波长都在 580~600nm 之间，又有相同的亮度，但我们还是很容易地分出了这两者在颜色上的差别，我们感觉柑子的橙色比砂粒的橙色要浓。这是由于柑子的颜色与相同亮度的灰色的差别要比砂粒与相同亮度的灰色的差别大。这就是纯度的意义。颜色的纯度与色别一样，也以光谱色为标准。光谱色的纯度最大，为 1。自然界的各种实际颜色的纯度都远远低于光谱色。

3. 亮度

亮度是颜色的第三个特征。颜色除了在色别和纯度上的区别外，在亮度上也有区别。例如展开尾屏的孔雀的绿色羽毛，在色别与纯度上可能近似于某些植物的嫩叶，但我们感觉到孔雀尾屏的颜色要比绿色植物叶光辉明亮得多，这是由于两者的亮度不同。亮度的含义在于具有相同色别与纯度的两个颜色之间，亮度大的颜色中所含的灰色少，因此使人感到清爽透亮。

自然界彩色的千变万化归根到底是由于色别、纯度和亮度这三个基本特征的变化。有时是一种特征发生变化，有时是两种，更多的时候是三种特征都在改变。而且当颜色的一

种特征发生变化时，另两种特征也往往随之变化。例如当某种颜色的亮度变亮之后，随之而来的是纯度变小了。

上面已经讲过按色别人的视觉能辨别出大约180多种颜色。按纯度光谱中某一种色从最饱和逐步过渡到白色(无色)，大约能辨别出8~12种，而按亮度甚至能辨别出近600种颜色。这样按三种特征所能辨别的颜色总量，按简单的数学连乘积为 $180 \times 10 \times 600 = 1080000$ 即一百多万种颜色。但事实上人眼不能分辨出一百多万种颜色，问题出在我们的眼睛所能辨别的颜色是随着亮度和饱和度变化而改变的，当饱和度变小时，人眼对色别的分辨能力大大减退了。当饱和度最小时各种颜色几乎都变成了两种色调，即偏黄的暖调和偏蓝的冷调。这样的人眼所能辨别的颜色也就大为减少了。但尽管如此，人眼所能辨别的颜色仍在一万种以上。根据艾母司(A. Ames)的资料这个数目相当于13000种。我们不怀疑自然界中存在着几十万种以上的颜色，甚至象孟赛尔(A.H. Munsell)用染料相混涂于纸上的色谱就有2000种之多。

(二) 颜色的分类和测量

1. 颜色的分类

人们在很早以前就开始整理分类颜色了。最早从事这一工作的是牛顿。他提出了著名的牛顿色盘如图1-5。把各种光谱色和光谱色上没有的由红和紫组成的品色分成七个部分，安排在圆的周边等分线上。圆心是无色的白光点，各种饱和色在圆周位置上。从圆心到圆周的半径上是该种色别的各种饱和度色，饱和度用色点距圆心的距离来表示。牛顿色盘虽如此简单，但作为对颜色分类的第一个尝试，对后人还是有很大的启发意义的。