

地球资源的多光谱摄影术

〔美〕 S.温德罗斯 R.卡利阿 著
E.约斯特 R.安德森

舒守荣 译

陈健 校

地质出版社

MULTISPECTRAL PHOTOGRAPHY FOR EARTH RESOURCES

Sondra Wenderoth Rajender Kalia
with
Edward Yost Robert Anderson
Second Printing 1975
With Revision
Remote Sensing Information Center
Greenvale, New York

地球资源的多光谱摄影术

〔美〕 S. 温德罗斯 R. 卡利阿 著
E. 约斯特 R. 安德森
舒守荣 译
陈健 校

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张: $15^{1/2}$ ·字数: 368,000

1980年11月北京第一版·1980年11月北京第一次印刷

印数1—1,550册·定价4.60元

统一书号: 15038·新555

中译本前言

遥感是六十年代迅速发展起来的一门近代探测技术。由于它吸收了空间科学、电子学、计算机、光学、物理学等近代科学的最新成就，所以短短十多年来取得了惊人的进展，目前已成为全球性的研究课题。遥感技术的应用，除了军事侦察以外，现在已扩大到资源、地质、地理、农业、林业、海洋、环境保护等 40 多个领域。遥感技术本身是近代科技的综合成果，遥感技术的发展反过来又推动着地学、资源、天文、环境科学的发展，所以世界各工业国家均把遥感作为优先发展的科技项目。

本书是遥感技术方面的一本比较好的著作。诚如作者序所说，虽然目前已出版了大量的遥感书籍，但这些著作都是为遥感摄影系统的工程师、设计师和摄影师而写的，由于专业性太强，并不适合一般读者的需要。本书正是为了弥补这种空白而写作的，它详细地介绍了多光谱摄影术的基本原理和基本工作方法，从地面参考靶标的正确使用到最终的任务设计，诸如彩色影象的测量，地面现象与胶片密度和彩色测量的关联方法，地面实况调查，地物光谱辐射特性的测量，多光谱负片和正片的曝光和冲洗，加色表现及其测量，均一照明技术的应用等等，均为一般遥感著作中较难找到的内容，但是这些内容对多光谱遥感来说却是实用价值最大的部分。

我们期望本书对多光谱遥感，尤其是地质系统的多光谱遥感工作能起到促进作用。由于多光谱摄影术涉及的学科较多，再加原著的错误不少，虽然作了认真的勘校和增补，囿于译者水平，疏漏乃至谬误仍然难免，恳请读者不吝指正。陈健同志细致地校阅了本书的译稿，朱学稳和朱德浩两同志在地质方面提供了宝贵的意见，王美容同志在图书资料方面提供了大量协助，在此一并表示深切的谢意。

译者

序 言

“没有任何事情比一个时机成熟的好主意更能获得成功”，多光谱摄影术在 1974 年就是这样的一种好主意。

这本手册是为那些利用（或打算利用）多光谱摄影术作为常规工具对环境进行航天或航空遥感评价的读者写的。属于这个范畴的读者有以下几种类型：一般的遥感应用工作者，其主要兴趣在最后结果的照片解译上；照片的冲洗工作者，他们主要关心多光谱照片的精密加工问题；学生，他们希望了解多光谱摄影术到底是怎么回事；航空摄影师，他们要求扩充在多光谱摄影术方面的背景知识。

现在已经有了许多为航空摄影系统的工程师、设计师和摄影师而写的遥感书籍，但是这些书籍对于想把多光谱技术应用到自己工作中去的人，以及对航空摄影可能还不具备基本知识的人都不合适，因为从这些书籍中几乎得不到他们所需要的资料。本手册的写作目的就是为了满足这类读者的需要。我们恳请读者提出评论、建议和批评。

作者希望对下列各位表示深切的感谢，他们在本书的准备过程中提供了大量的协助：Fred Pearce（国家宇航局载人宇宙飞船中心），Carl Anderson 和 Richard Rehrig（光谱资料公司），Peggy Stollar（长岛大学）。

John Wiley & Sons 出版公司和 Morgan & Morgan 出版公司惠予借用它们的插图，在此谨表谢意。

目 录

第一章 引论	1
手册的目的	1
颜色是什么?	1
加色成色	3
多光谱摄影术 (或加色摄影术)	3
减色成色	5
三底或减色摄影术	6
总结	9
第二章 彩色和彩色红外胶片的性能和缺点	10
彩色胶片的性能	10
彩色胶片的缺点	11
可以控制的彩色误差原因	13
不能控制的彩色误差原因	16
加工出来的颜色和标准测试标板的颜色之间的关系	18
总结	20
第三章 彩色影象的测量	22
蒙赛尔系统	22
国际照明委员会色度系统 (CIE 色度系统)	25
表示颜色色度指标的 CIE 分光光度系统	38
彩色密度	53
总结	54
第四章 地面现象与胶片密度和彩色测量的关联方法	56
地面参考靶标	56
参考靶标的有效利用及其校准	60
地面实况调查	66
总结	71
第五章 感光度学	72
感光测试方法	73
曝光量	73
感光仪	74
加工	76
定影和水洗	78
加工方面的总结	79
感光数据的测量	80
密度计	81
密度计的操作	84
感光测定数据表的设计	85
总结	91

第六章 感光数据的处理	92
密度-密度曲线 (即相对 $\log E$ 曲线)	92
$D-\log E$ 曲线	93
特性曲线的应用	95
倒数律和倒数律失效	113
总结	114
第七章 多光谱黑白负片摄影的曝光和冲洗	116
选择多光谱摄影胶片和曝光量需要考虑的问题	116
多光谱影象的加工控制	134
负片的密度测量	136
总结	139
第八章 多光谱黑白负片的正片复制	140
多光谱正片的印制	140
多光谱透明正片的特点	142
复制感光材料的特性	145
色调的再现	145
总结	150
第九章 加色表现及其测量	151
资料整理程序	151
多光谱观察器	153
总结	155
第十章 选择多光谱照相机和元件应该考虑的问题	156
多光谱摄影透镜	156
摄影分辨率	159
多光谱滤色镜的特性	164
快门和快门的同步	166
四透镜多光谱相机和四相机多光谱阵列的比较	168
总结	168
第十一章 彩色和黑白摄影材料	170
黑白胶片	171
彩色胶片	173
彩色反转片	174
复制胶片	174
第十二章 均一照明技术的应用	175
均一照明技术	175
应用	178
第十三章 任务设计	231
照相机	231
胶片和滤色镜	233
季节和天气条件	233
摄影日	234
总结	234
词汇	236
参考文献	240

第一章 引 论

手册的目的

对这种论点,即采用彩色摄影术可使复杂地面景物的照片的解译大大简化,人们心中多少有些怀疑。在地球资源这门学科中,现象错综复杂,难以捉摸,因此黑白摄影基本上全部被彩色摄影所代替是理所当然的。生理学家告诉我们,正常的眼-脑组合,可以检知的不同颜色可达七百五十万种,但是能予区别的不同深浅的灰影却只有二百种。我们常常发现,需探测的现象由于差别过于微细,即使在普通的彩色胶片和红外彩色胶片上亦无法辨认,所以导致一种新技术——多光谱摄影术的诞生,它能使特定的感兴趣的目标之间的颜色差别扩大而予以判读。遗憾的是,将多光谱摄影术应用到地球资源问题上,过去一直停留在探索性的研究阶段。作为一种新的遥感工具,多光谱摄影术已产生了相当惊人的效果,目前已激起全球性的兴趣和热潮。

由于多光谱影像的曝光和加工所要求的精度都较高,为了保证获得丰富的信息,普通的航空摄影程序已不再适用。因此,不遵循正确的摄影程序所得到的多光谱照片,大多数均会使我们的希望落空。

本手册有两个目的。首先,在多光谱摄影术的地球资源应用方面,希望它是一本指南,利用它可以得到准确的多光谱结果。本书所提供的程序,在表达上力求节省读者的学习时间,对于业已完成的研究,尽量不使读者枉费精力再作探究。其次,为了使本书所述的程序更易理解,在颜色和多光谱摄影术这两方面,给读者提供了理论和分析的概念。手册在写作方式上,尽量浅显易懂,列出的书目均为书中所述概念方面的比较详细的论文。

1.1 颜色是什么?

为了对颜色(color)形成一个准确的概念,首先考察一下整个的电磁波谱是很有用的。电磁波谱由各种辐射能组成,这些不同波长的辐射能以波的形式在空间传播。波长最长的是广播电台的无线电波,最短的是宇宙射线。不难看出,电磁波谱的各个波段,在性质上极为相似,其差别仅是波长(一个波的长度)。图1的上部表示电磁波谱的基本划分。辐射能的波长以毫微米($=10^{-9}$ 米)表示。从380到760毫微米这个较窄的波段,由可见辐射能(通称“可见光”)组成,并表示在图1的下部。可见波段又可分为许多小部分,每一小部分具有一定的颜色,例如

波长范围	380—430 毫微米	430—475 毫微米	475—510 毫微米	510—560 毫微米	560—590 毫微米	590—620 毫微米	620—760 毫微米
视觉颜色	紫	蓝	青	绿	黄	橙	红

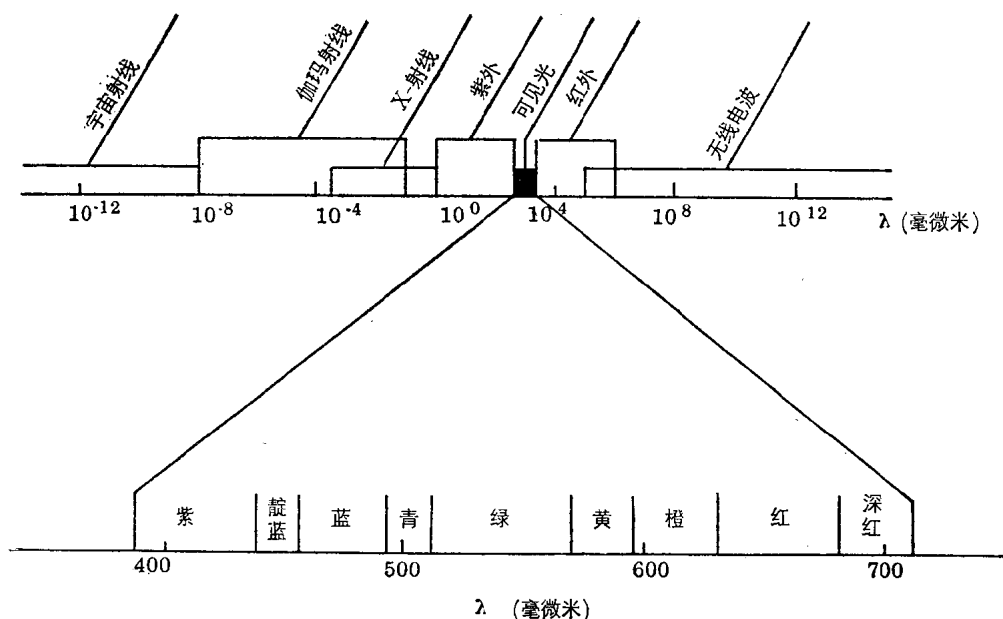


图 1 电磁波谱的各个波段及可见波段的放大图

可以这样来定义颜色^①：颜色是可见光的一种属性，也是一定波长范围内的可见光在人眼中所引起的视觉反应。颜色有三种特性，即色调 (hue)、色浓度 (saturation) 和亮度 (brightness)。

色调是反映颜色类别的一种特性，例如红色、黄色、绿色、蓝色等等，而这些红、黄、绿、蓝指的就是颜色的色调。除了色调以外，颜色尚有其它特性。颜色的色浓度是指色调的纯度或颜色中所含的白色的数量^②。在图版 I 中，水平方向的一组彩色样片 (paint swatches) 即表示几种色浓度级的红色调。最饱和的 (即最纯的) 色浓度级为 5 级，最不饱和的 (白色) 色浓度级为 1 级。当色调接近不饱和的极限时，该颜色将变成中性的白色或灰色。用更专门的术语来说，色浓度是一种颜色中的色调数量和该颜色中的总能量的比值。例如，设某一颜色内含有三个单位的蓝光和六个单位的白光，则

$$\text{色浓度} = \frac{3 \text{ 单位 (蓝光)}}{9 \text{ 单位 (总能量)}} = 33.33\%$$

换言之，在该颜色组合中，纯蓝色只占 33% 左右。

颜色的第三个主要特性是亮度。亮度是指颜色中所含黑色的多少。例如，紫红和棕红，艳蓝和海军蓝之所以不同，就是颜色的这种属性在起作用。再参考图版 I，竖直方向的各种颜色，其差别仅在亮度不同。一种色调的亮度越低，它越接近于纯黑色。

彩色摄影的目的是准确地再现人眼所感知的任何一种颜色的色调、色浓度和亮度特性。换言之，模仿人眼的视觉机构，复制出彩色图象的“硬拷贝” (hard copy) 供今后参考，这就是彩色摄影的目的。实现这一目的有两种主要途径：

1. 加色摄影术 (additive color photography)。首次用全彩色再现景物就是用这种

① 原文关于颜色的定义不甚明确，故改用译文中比较明确的定义——译注。

② 简言之，色浓度反映了颜色的深浅。所谓深红和浅红，深和浅指的是颜色的浓度。颜色越深，色浓度越高——译注。

方法。

2. 减色摄影术 (subtractive color photography)。这是目前大多数商业彩色摄影所采用的方法。

利用加色和减色方法来产生颜色的理论及有关技术, 叫做多光谱摄影术 (multispectral photography, 或多波段摄影术) 或多层摄影术 (multilayer photography)。

1.2 加色成色 (Additive color formation)

1861 年克拉克·麦克斯韦 (Clark Maxwell) 发现, 一种颜色的视觉感觉, 可用红、绿、蓝三种基色以适当的比例混合而再现。若按不同的比例将这些基色混合, 则可得到一切颜色。在图版 II 中, 这一概念可得到清楚的说明。红色和绿色相组合产生黄色, 蓝色加绿色产生青色, 蓝色加红色得品红色。将三种基色相混合则得到白色。应该指出, 颜色的加色成色作用是以将每种基色分别投影到同一屏幕上为基础的。麦克斯韦首先将这一原理应用于摄影过程, 最终导致现代多波段或多光谱摄影术的诞生。

1.3 多光谱摄影术 (或加色摄影术)

多光谱或加色摄影术有三项基本内容:

——利用滤色照片 (filtered photographs) 进行景物的彩色分析或彩色分解;

——胶片的加工处理;

——在加色投影系统中进行彩色合成或再组合。

假定我们用加色摄影术来拍摄一组彩色谱的照片, 这组彩色谱的构成如图 2 a 所示。

为了得到图 2 b 所示的分色负片, 需采用下列方法:

——在照相机的透镜上加红滤色镜, 装上黑白底片, 拍摄景物照片。

——不移动相机, 用绿滤色镜代替红滤色镜, 再用黑白底片拍摄景物照片。

——用蓝滤色镜代替绿滤色镜, 再拍摄景物。将三张底片冲洗出来, 其密度如图 2 b 所示。

在加色投影之前, 将上述负片印成正片, 如图 2 c 所示。显然正片的影象密度 (或叫灰度, grayness) 和负片正好相反。

然后在观察屏幕上将三张正片进行再组合或合成, 方法如后。将三张正片分别放在三个投影仪中 (图 2 d)。在放置用红滤色镜所得正片的投影仪中, 在光源前放一红滤色镜, 其它则相应放置绿和蓝滤色镜。把三个投影仪靠近在一起, 使屏幕上的三个投影图象严格重合。参照图版 II 所示的颜色的加色再现原理, 三张正片通过投影组合, 使原景物的颜色获得了再现 (图 2 d)。

由上可见, 具有多种颜色的单一景物, 可用加色方法使其彩色准确再现, 只要采取如下步骤:

1. 将反射能量分解成红、绿、蓝三种光谱波段, 并记录在三张黑白胶片上;

2. 负片印成正片后, 再采用相同的滤色镜 (即负片曝光时所用的滤色镜) 将每一正片投影;

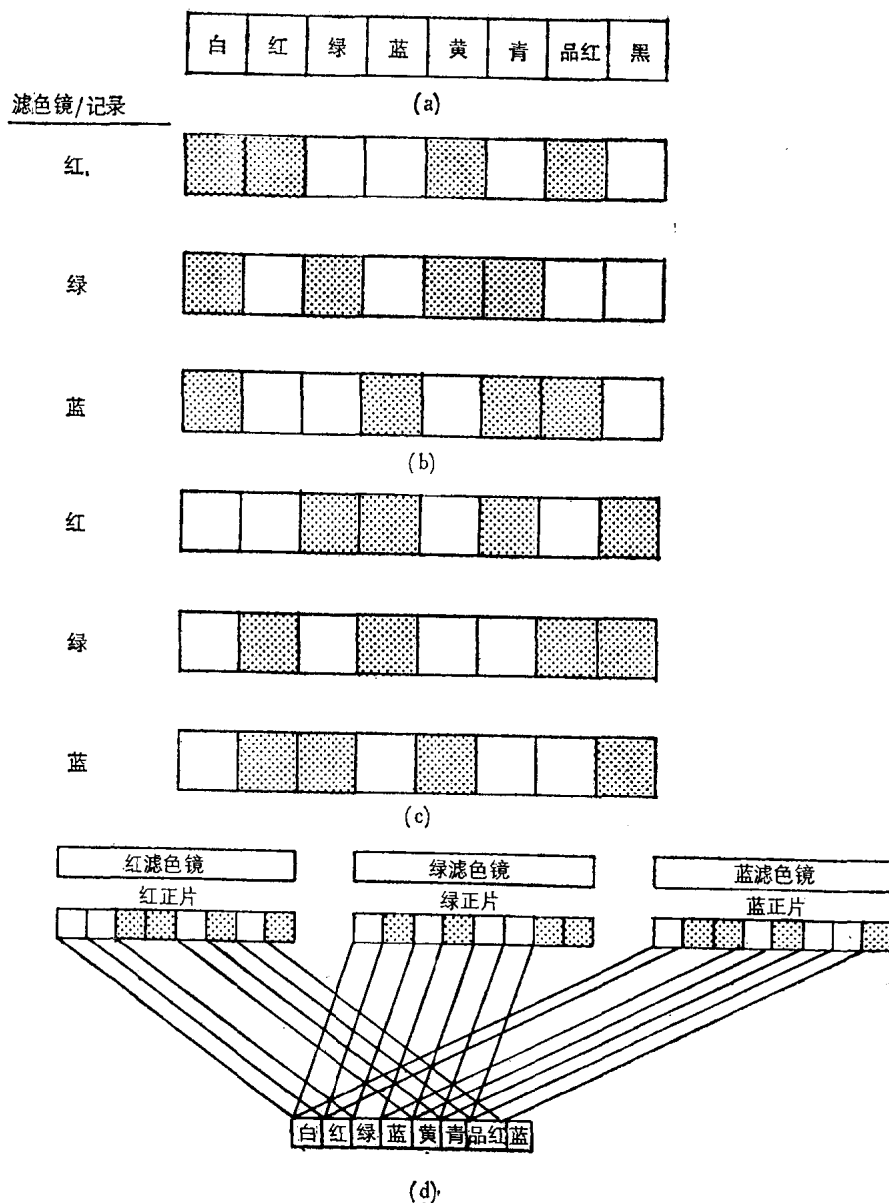


图 2 利用加色多光谱技术使彩色再现

a—原景物，b—卤化银微粒经相机曝光和显影后，多光谱负片记录的剖面图，c—从负片印成正片经冲洗加工后，多光谱正片记录的剖面图，d—原彩色谱的加色再现

彩色谱的颜色	合成或加色后的颜色
黑色	它的影象在三张正片上均完全不透明，由于没有光线投向屏幕，故该彩色谱片在合成后为黑色
白色	它的影象在三张正片上均透明，故红、绿、蓝三种光线均能通过该影象而投向屏幕。由图版 II 可见，红、绿、蓝合成后呈白色
红色	其影象仅在红正片上透明，故只有红光投向屏幕，绿、蓝光则被照片上的高密度所挡住
绿色	其影象仅在绿正片上透明，红、蓝光均不能投影到屏幕上，故得到的影象为纯绿
蓝色	其影象仅在蓝正片上透明，绿、红光均不能被透过，故影象呈蓝色
青色	其影象在绿和蓝正片中透明，红光不能被透过。绿和蓝合成得青色
黄色	其影象在红和绿正片中透明，由图版 II 可见，红和绿相加呈黄色
品红色	在绿正片中，其影象不透明，但在红和蓝正片中，其影象透明，红和蓝光透过影象后在屏幕上形成品红色

3. 在同一屏幕上使三个投影影象重合, 就能使景物的彩色得到完全再现。

应该注意, 加色成色法不但能产生投影中所采用的基色, 还能产生绝大部分混合色 (或称合成色)。在第三章中讲到配色的部分我们将对加色成色进行更详细的讨论。

1.4 减色成色 (Subtractive color formation)

从一束白色光线 (含有红、绿、蓝成分) 中, 消除或减去一些不同波长的光线, 同样也能产生颜色。如图 3 a 所示, 在照明盒上装一个圆形的黄滤色镜 (除蓝色外, 所有的光谱色均能通过它), 则仅有黄光透射出来。如果再装上一个品红滤色镜 (除绿色外, 其它颜色的光线均能通过它), 并使两个滤色镜有部分重叠, 则重叠部分只能透过红光 (图 3 b)。同理, 若与黄滤色镜部分重叠的是青滤色镜 (它能使绿和蓝光谱成分自由通过), 则重叠部分仅能透过绿光 (图 3 c)。若使青和品红滤色镜重叠, 则透出蓝光 (图 3 d)。将以上三滤色镜重叠, 因为没有光线透出, 故产生黑色 (图 3 e)。减色成色法中的基色, 和加色成色法中的基色正好相反 (图 4)。此外, 减色法中的三种基色是不能被单独投影的, 因为从物理观点来看, 这些基色是彼此相交的, 能被投影的是基色之间的组合。

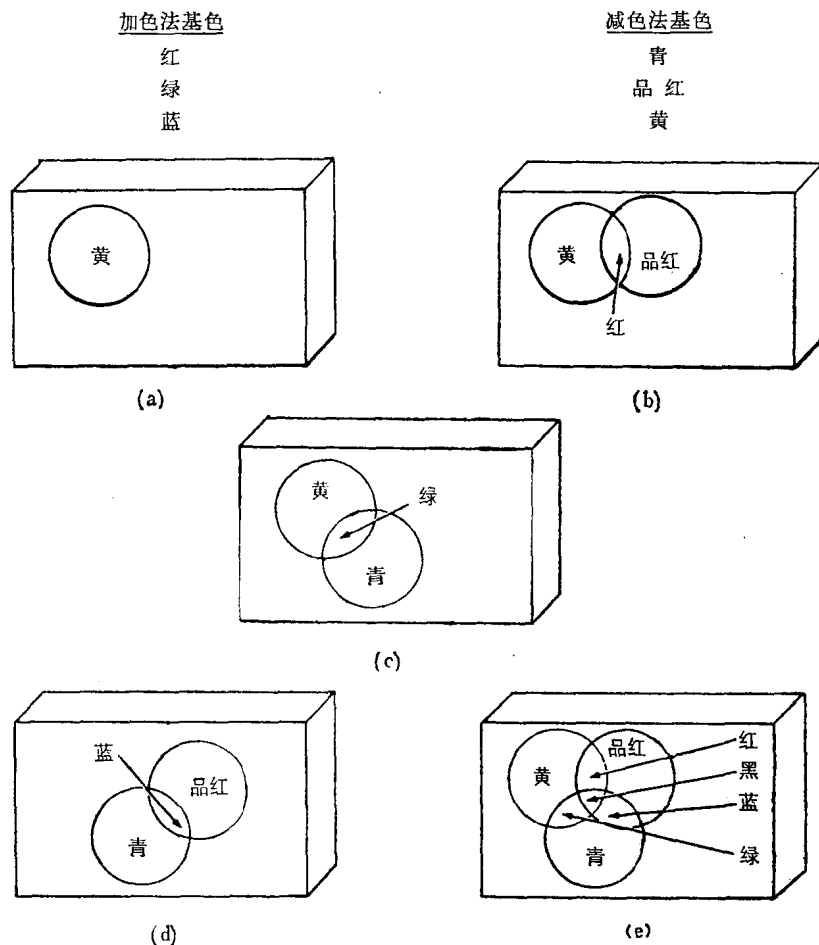


图 3

a—黄基色; b—黄基色和品红基色的减色法组合; c—黄基色和青基色的减色法组合; d—品红基色和青基色的减色法组合; e—黄、品红、青三基色的减色法组合

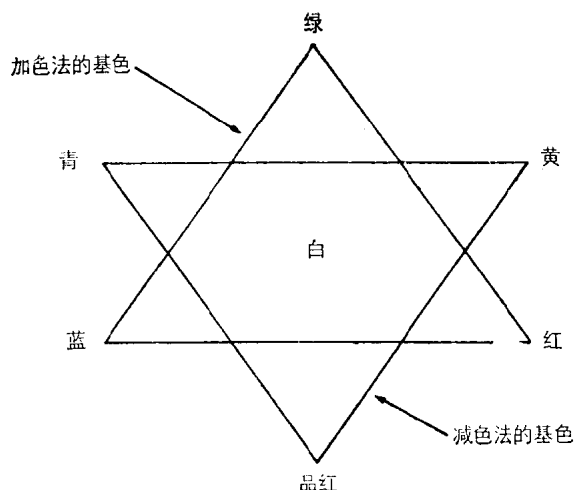


图 4 加色法和减色法中的基色正好彼此相反，它们互为补色

1.5 三底或减色摄影术 (Tripack or subtractive color photography)

所有的彩色胶片（负片和反转片）均有三层乳剂。每层乳剂只对光谱区的某一波段敏感。此外，每层乳剂中均含有一种颜料，这种颜料的颜色和该乳剂层的敏感颜色互为补色。例如，蓝敏乳剂层中含有黄色颜料，绿敏乳剂层中含有品红色颜料，而红敏乳剂层中含有青色颜料。彩色胶片的剖面构造如图 5 所示。参看图 5 a，入射到胶片表面的蓝光使表层乳剂曝光。由于表层和中层之间存在黄滤色层，故蓝光无法透过表层而使中层乳剂感光。入射到表面的绿光，由于波长关系，不会使表层感光，但它能通过黄滤色层（因黄滤色层能同时透过红光和绿光）而使绿敏乳剂层感光。同理，红光对蓝敏和绿敏乳剂层都不起感光作用，但是能透过这两层乳剂而达到第三层——红敏乳剂层，并使之感光。当然，白光能使三层乳剂都感光，因为白色是由等量的红光、绿光和蓝光组成的。当被摄物体没有反射光时（黑色），则任何乳剂层都不发生感光。图 5 a 中的其余颜色即黄、品红、青三色，将按一定的比例在一层或两层乳剂中感光。彩色负片在显影加工过程中，每层乳剂都会产生一种彩色染料，其生成方式如下。由于每层乳剂中均含有一种叫做成色剂（couplers）的化学物质，显影剂和已感光的卤化银之间反应生成的氧化物和成色剂化合的结果，将在每一层乳剂内生成一种彩色染料，生成量正比于已显影的银量。已显影的银粒被漂洗掉以后，就留下负性的彩色染料影象，如图 5 b 所示。最后得到的负性透明片，在色调和颜色方面均和原景物成互补关系。残留的浅黄和浅红色的成色剂，使最终所得的负片整个呈橙色，这种橙色在彩色校正中可起自动蒙罩作用（automatic masking）。

彩色正片的彩色再现过程，基本上和彩色负片相同，不过在显影过程中胶片要经过反转，反转后即可得到正性影象。如图 6 a 所示，将正片对一组彩色谱曝光。第一显影液把被相机曝光的卤化银颗粒变成金属银，到这一步，显影作用已全部完成。用“停止液”终止显影。然后用室内灯光使胶片再曝光一次，或用化学方法灰化。这一步操作起着反转的作用，因为在第一次曝光中被感光的卤化银颗粒已被还原成金属银，故二次曝光对这些金

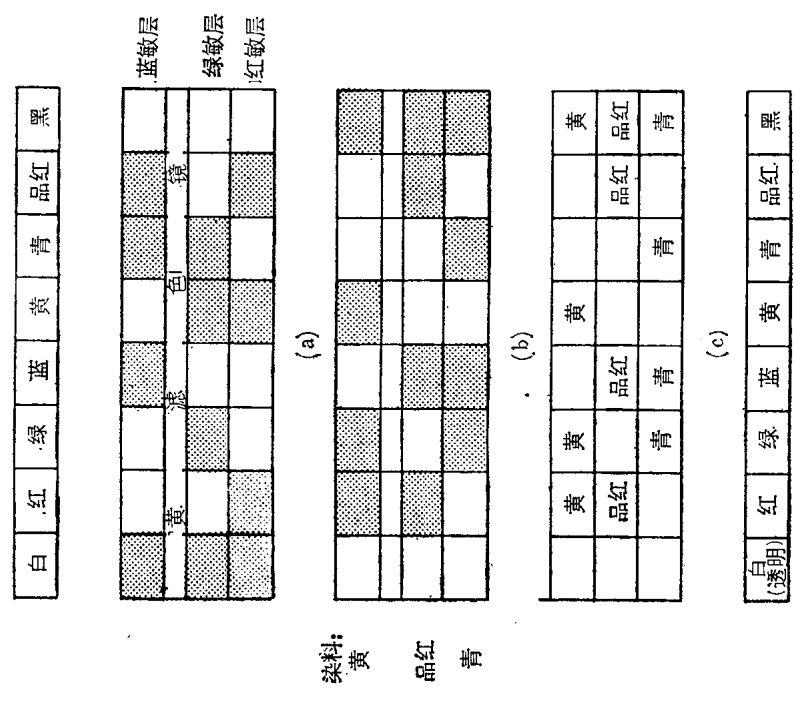


图 6 a—彩色正片对一组彩色光谱曝光后的剖面图; b—乳剂经过化学灰化后 彩色正片的剖面图; c—银粒漂去后在彩色反转片上留下的染料影象; d—从一组彩色谱得到的最终彩色反转影象

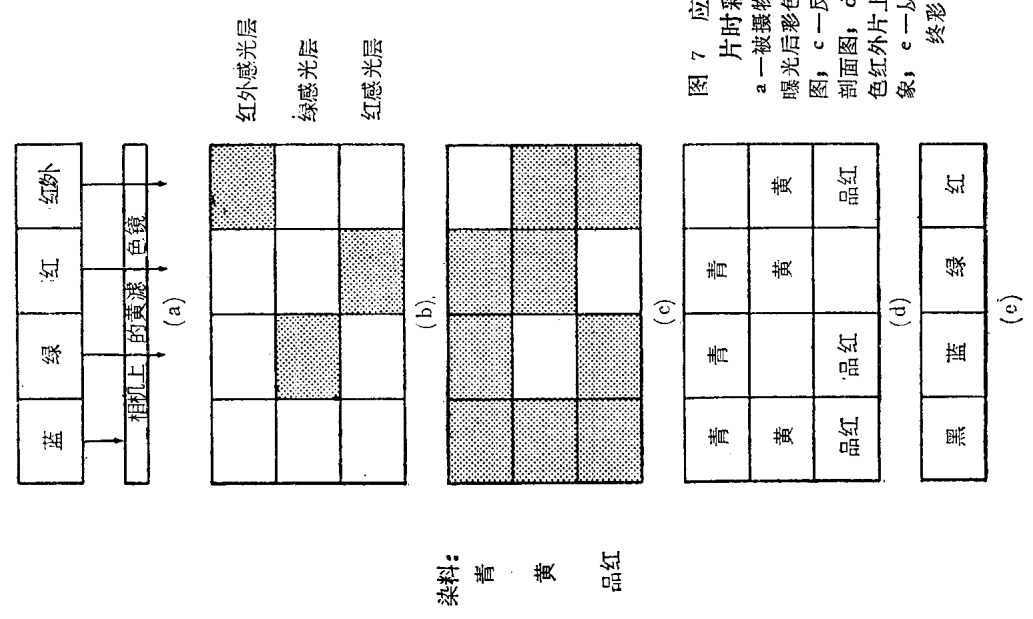


图 7 应用彩色红外正片时色彩的再现 a—被摄物; b—对被摄物曝光后彩色红外正片的剖面图; c—反转后红外正片的剖面图; d—银粒漂去后彩色红外正片上留下的染料影象; e—从原景物得到的最终彩色红外影象

上,叶丛的颜色将呈亮红色。当红外反射降低时,大致等量的绿色和红外辐射将在胶片上成象,故叶丛的颜色将从亮红变为品红色。

1.6 总 结

——电磁波由各种不同波长的辐射能组成。从380到760毫微米这个波长范围叫做可见波段,由不同颜色的光线所组成。

——颜色具有三种特性:色调、亮度和色浓度。

——彩色摄影术的基本目的是准确地再现色调、亮度和色浓度。

——多光谱摄影术的基础是加色原理。

——多光谱摄影术有两个基本步骤:用三个基色滤色镜使景物成象,然后在观察屏幕上使影象再组合。

——三底彩色胶片利用减色原理使彩色再现。

——彩色负片通常用于印片方面。

——彩色正片或彩色反转片可直接得到正性影象。

——采用特殊的增感材料,可以在近红外区域进行摄影。

——加色法和减色法中的基色互为补色^① (complimentary color)。

① 相加能获得白色的两种颜色,称为互为补色——译注。

第二章 彩色和彩色红外胶片的性能和缺点

人眼对于颜色差别的灵敏度，远比对亮度差别的灵敏度高。眼睛不能区分黑白照片上百分之十的亮度差别，但是一张彩色照片的蓝色平衡中若有百分之十的误差，则脸部的暖色调看上去就会变成苍白的尸色。为防止出现这种情况，彩色摄影的减色法三底系统应该在每一阶段都有准确的控制。累积色差 (cumulative color errors) 的最大容许值，一般定为百分之五。若大于此值，彩色影象就会发生畸变，甚至完全失真。一般说来，彩色胶片厂所生产的胶片，通常均能获满意的摄影结果，因为在每一阶段都采取了弥补不足的措施，如胶片制造、推荐曝光时间、在说明书中详细提供加工条件。在讨论具体的科学试验应选用何种胶片之前，首先必须知道彩色胶片的性能和缺点。

2.1 彩色胶片的性能

和多光谱加色摄影相比，三底彩色胶片的最大优点是，摄影者能在较短的时间和最方便条件下得到景物的彩色再现。为了保证景物的彩色再现，摄影者需要留神的只有照明调节和曝光控制这两项工作。由于彩色胶片的加工设备目前已有大量供应，大部分设备均能满足彩色加工中的高精度控制要求，因此使用者需费心的问题已所剩无几。无论是采用彩色负片（用于印片）还是采用彩色反转片（得到透明片），对于分析结果所需的设备均无特别要求，只要有一个照明台 (light table) 或投影仪供观察透明正片用就可以了。

由于三层乳剂均涂布在一张片基上，当光线射向胶片并使三层乳剂都感光时，三层乳剂上的影象必然是自动配准的。换言之，在物体的边缘部分不会出现彩色条纹 (color fringing)。而在杂志、教科书和连环漫画之类的照相印刷品中，却常常可以看到这类彩色条纹。因此，这种特点有明显的优越性，特别是在高空航空摄影中。

加色表现的最终分辨率比彩色胶片低，原因是前者要用一组投影仪将多个影象以手工方式重叠。下面举例说明彩色胶片的分辨率为什么比多光谱表现高。假定用同一比例尺拍摄某一景物，一个用彩色反转片，另一个用多光谱加色法。设每张照片的分辨率均为40线/毫米。彩色片用1:1放大率投影，三张多光谱胶片亦以同一放大率投影。按图8所示方式将多光谱影象重叠后，即得到彩色影象。

如果投影仪光学系统所造成的分辨率损失可以忽略不计，彩色片的影象分辨率在屏幕上仍为40线/毫米，而多光谱表现的分辨率，只有当投影仪之间的位置误差小于0.0005英寸时才能达到40线/毫米的分辨率。

三底彩色胶片的制造厂商，通常在技术数据表中列出胶片的分辨率。例如伊斯曼·柯达·埃克塔克罗姆多光谱胶片 #2448 (Eastman Kodak Ektachrome M-S film #2448)，当反差比 (contrasts) 为1000:1时，其分辨率为80线/毫米，当反差比为1.6:1时，则分辨率为40线/毫米。反差比达1000:1在航空摄影中极为罕见，反差比1.6:1却很普遍。即使在后一种情况，彩色片所达到的分辨率仍然是很理想的。

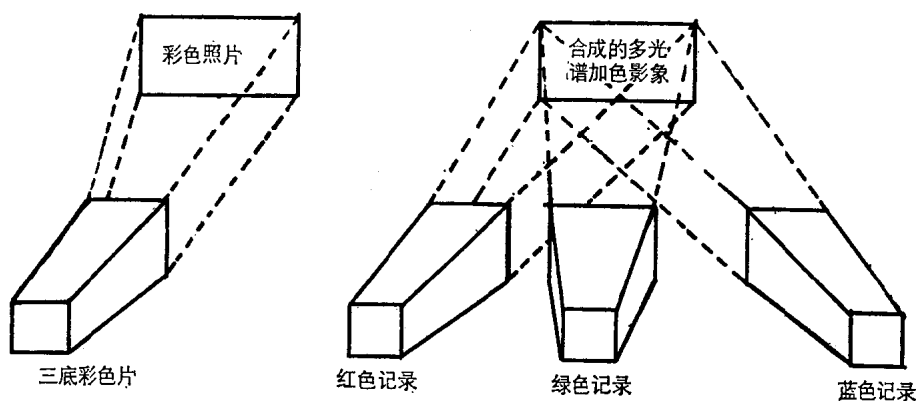


图 8 利用投影对彩色片和加色表现的分辨率进行比较

在结构上,单透镜相机与多透镜多光谱相机和多相机摄影系统都不同。采用单透镜相机拍摄彩色胶片,操作简便,价格低廉,且不需要特殊校准。因此,利用三底彩色片拍摄彩色照片最为简单。只要照明和曝光正确,就能获得满意的彩色或彩色红外照片。这种照片,不仅用眼睛观看舒适,而且和景物中的颜色十分接近。

2.2 彩色胶片的缺点

三底彩色胶片并非没有局限性和缺点,当应用于科学工作——诸如航空摄影时,其缺点尤为明显。

应用彩色胶片遇到的主要困难之一是,每一层乳剂对光线的曝光量比值是固定的。例如,欲在彩色胶片上使景物中的蓝色部分再现,但景物所反射的蓝光又十分微弱,在这种情况下,红色和绿色的反射光将部分掩盖或甚至全部掩盖蓝光的感光作用。和三底彩色片相反,加色摄影术中就不会发生这种情况。因为在加色摄影中采用几个单独的透镜产生影像,我们可以只打开蓝透镜的可变光阑,而关闭红和绿透镜的可变光阑。经合成后,最终的彩色影像中就能保留适量的蓝色。

举例说明,假定景物的反射光中红色和绿色的成分比蓝色成分大16倍。当使用彩色胶片时,每当蓝敏层接收到2个单位光线,红敏层和绿敏层就应接收到32个单位的光线。从曝光量方面来说,16倍的差别相当于曝光量相差4档。4档的曝光量差别肯定足以掩盖景物反射光中的蓝色成分。如果采用多光谱摄影术拍摄同一景物,我们可以把蓝透镜的光圈放在 $f/4$,而把红和绿透镜的光圈放在 $f/32$ 。在这种条件下,蓝色多光谱影像接收到的曝光量将与红和绿影像完全相同。换言之,景物中的蓝色成分反映在照片上将和红和绿成分一样亮。利用这种方法,就可以使景物中微弱难辨的颜色——蓝色得到“增强”效果。

彩色胶片的第二个缺点是,每个乳剂层只对某一固定范围的颜色,即红色、绿色和蓝色敏感(彩色红外片则对绿、红、红外敏感),因此要区别两种不同的绿色就不可能。绿感光层对两种不同的绿色,其感光效果完全一样,故无从鉴别。例如有两种水体,除光谱的绿波段存在两个差别以外,其颜色完全一样。图9是这两种水体的反射光谱曲线。若用普通彩色胶片,就无法区分水体A和B。在采用加色摄影术时,可用滤色镜使一个相机的透镜滤掉550—565毫微米范围的光线,而使另一相机的透镜滤掉580—600毫微米范围的光