目　　录

序 …… i
前　言 …… ii
第一章　概述 …… 1
1.1　相关掩模处理技术的背景 …… 1
1.2　相关掩模处理技术的基本概念 …… 4
第二章　相关掩模处理技术的工作基础 …… 7
2.1　模片的分类和制作 …… 7
2.2　模片叠掩规律 …… 13
2.3　处理结果显示 …… 16
第三章　处理方法 …… 22
3.1　反差调整 …… 22
3.2　彩色合成 …… 23
3.3　等照度变换 …… 26
3.4　黑白发色 …… 32
3.5　密度分割 …… 35
3.6　边界增强 …… 38
3.7　影象相减 …… 40
3.8　专题抽取 …… 41
第四章　实际应用 …… 46
4.1　应用范围 …… 46
4.2　应用举例 …… 48
附录Ⅰ　胶片特性及模片处理条件 …… 58
附录Ⅱ　染印法彩色合成的原理、器材和工艺 …… 67
附录Ⅲ　多光谱加色合成影象色度计算公式的导出 …… 77
附条Ⅳ　常用黑白显影液、定影液配方 …… 86
附条Ⅴ　度量衡换算表 …… 87
主要参考文献 …… 88
图　版 …… 89

第一章 概 述

1.1 相关掩模处理技术的背景

1.1.1 问题的提出

遥感图象相关掩模判读处理技术是如何发展起来的呢？这必须从遥感技术本身谈起。

遥感技术由以飞机为主要运载工具的航空遥感阶段，发展到以卫星为运载工具的航天遥感阶段，使人们能从一个新的高度——宇宙空间，大范围、快速、定期地观测地球上的各种自然现象及其变化；同时，随着遥感技术的发展，遥感的波段也从可见光区扩展到紫外、红外以及微波辐射区，从而使人类对地球的观察、研究进入了一个新的阶段[1]。

现代遥感技术系统（图1.1）主要由运载工具、遥感仪器、数据传输处理以及分析判读等四个部份组成。它是一种从室内到野外，从地面到空间立体交义作业的技术系统。遥感技术的应用实际上是指通过遥感技术的各个环节所取得的数据在各个领域中的应用。因此，这些环节均会对遥感数据及其应用产生不同程度的影响。前两个部份主要与原始遥感数据的获取及其质量密切相关；后两个部份则与原始数据的质量改善及实际应用有关。

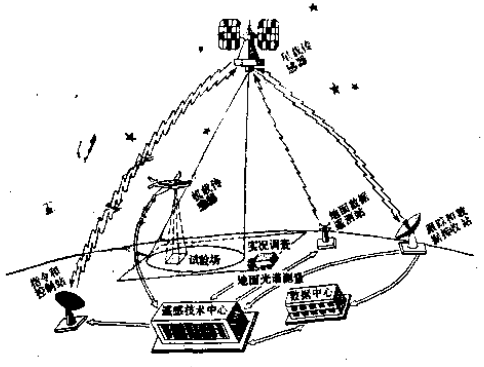


图 1.1 遥感技术工作系统[2]

在大多数情况下，用户所得到的遥感图象数据均经过一定程度的处理。这种处理（一般称为图象处理）包括传感器输出信号的复原（由视频信号变为二维影象）、变换（视频磁带变换为计算机用磁带）、消除模糊影象、几何校正、辐射校正以及必要的注记（如经纬网、摄影及处理条件）等。使用户得到一张使用方便、具有一定精度的象片影象或计算机用磁带。用户在得到这种经过处理的数据之后，他们还要根据分析判读任务的性质和特点，对这些数据作进一步分析判读处理，如影象增强、专题抽取以及自动分类等，以便帮助分析判读人员更好地解决各种实际问题。尽管从广义上来说，分析判读处理也属遥感图象处理范畴，但在实

1109787

际上它和前面所说的狭义遥感图象处理有很大的差别。主要表现在它们的性质和内容上的不同。从这一点上来看，分析判读技术与各种实用以及分析人员的专业知识、经验水平有着更为密切的关系。这些已不是纯粹的遥感技术本身的问题了。只有在各种专业人员密切配合下才能获得令人满意的结果。

遥感图象分析判读技术的使用，随具体分析判读任务的目的、要求和对象的不同而存在很大的差别。目前，分析判读技术的手段、特点、功能以及应用领域正在不断地发展。下面，我们分别对它们作一简要的介绍，并说明相关掩模技术的由来。表 1-1 给出了多种遥感图象判断处理技术的手段、功能以及它们的有效性。

表 1-1　几种遥感图象分析判读处理技术的手段、功能及有效性

有效性 / 手段 \ 功能	影象增强									识别分类	
	反差调整	边界增强	空间过滤	影象相减	彩色合成	等照度变换	黑白发色	密度分割	比值制图	专题抽取	统计分析	识别分类
摄影处理	○				○							
光电处理	○**	○**		○**	○	○**	○**	○				
相关掩模处理	○	○		○	○	○	○	○		○		
相干光学处理		○	○	○								○***
计算机处理	○	○	○	○				○	○	○	○	○

* 用彩色染印法处理　** 相关掩模片和合成仪配合　*** 和计算机配合

由表 1-1 不难看出，根据判读处理技术的功能可以把它们分为两大类：一类是影象增强技术，它主要通过各种技术手段，使有价值的目标影象或微弱的影象信息从背景中突出地显示出来，帮助分析判读人员提高对它们的识别能力。从某种意义上来说，它们只是目视经验判读的延长。尽管它们可以帮助分析判读人员大大提高对某些影象微弱信息的识别能力，但却不能直接给出最终的判读分析结果(分类)。这种结果仍然只能由分析判读人员根据他们的分析判读经验作出。另一类是特征识别分类技术(亦称为图形识别技术)。对于影象特征的识别分类主要由计算机根据一定的程序设计完成。这种技术可以最大限度的利用各种影象特征，如空间、时间、光谱以及偏振（极化）等特征，并把遥感数据和地面实况数据结合起来考虑，具有速度快、容量大以及准确的特点。经过这种处理，我们可以直接获得遥感数据分析判读的结果。同时在计算机识别分类过程中，减少了分析人员经验判读的人为差异；也就是说分类结果的客观性加强了。从发展的观点来看，计算机识别分类技术是遥感图象数据分析判读技术的一个飞跃。目前，尽管这种技术还很不完善，但是作为一种趋势，已经显示了强大的生命力。

如果从使用的技术手段来看，遥感图象判读处理可根据研究任务的性质和对象、原始遥感数据的特征和质量以及现有的仪器设备条件，采用摄影处理、光-电处理、相关掩模处理、相干光学处理以及计算机处理技术中的一种或几种结合起来进行。但是，对于这些处理来说，除摄影处理所需的仪器设备比较简单而外，其余均需装备专门用的仪器设备。例如：光学-电子学处理（即所谓的“假彩色影象增强技术”）需要彩色合成和彩色数字化系统（即密度分割仪）；相干光学处理需要一套相干光学图象处理系统；计算机处理除了需要有足够容量的计算机而外，还要有相应的输入和输出外围设备等等。然而，这些设备并不是每个单位和部门

都有条件能装备得起来的。由于缺少必要设备，许多单位对遥感影象的使用，目前仍停留在简单的目视判读阶段，不能充分地利用遥感数据中的有用信息来解决他们所遇到的一些问题，限制了遥感技术的广泛、深入应用。为此，我们在摄影处理及光学-电子学处理基础上，发展了所谓"遥感图象相关掩模判读处理技术"。在不需要复杂仪器设备的情况下，利用这种技术，可以进行反差调整、边界增强、影象相减、彩色合成、等照度变换、黑白发色、密度分割以及专题抽取等一系列处理。在许多领域中可以得到广泛的应用。鉴于这种技术的特点和可能的应用范围，我们把它作为一种独立的判读处理技术，与其余四种处理技术相并列在表1-1中。

1.1.2 发展过程

任何技术的发展都有一个过程，都离不开前人不断实践、探索。遥感图象相关掩模判读处理技术的发展也不例外。

在印刷和电影特技摄影处理中，蒙片法（或马斯克方法）广泛应用是尽人皆知的。这种方法与我们这里所说的相关掩模处理方法在本质上是一样的。就是在遥感图象处理技术领域中，国内外许多工作者也做过这样的工作。对这些作一简要的回顾是极为必要的。

相关掩模处理技术，在1972年美国地球资源技术卫星发射前后有很大的进展。一般来说，在七十年代初以前，掩模片（或影罩片）在摄影处理中已有广泛的应用。但是它们多局限于影象反差的调整。特别是彩色影象的反差调整，以获得良好的色彩（或艺术）效果；而在地球资源技术卫星发射前后，由宇宙空间发回大量多光谱遥感数据，为了充分利用这些数据，出现了许多属于相关掩模判读处理技术范畴的处理方法。

F·J·Wobber等人1972年在处理亚利桑那带Flagstaff地区阿波罗9号拍摄的象片时，使用了正、负片重叠，然后产生一个微量的相对移动，以增强影象中的线性要素。尽管摄影时该地区已降雪75厘米厚，但断裂线、岩性界线以及人工线性地物（如公路等）的影象均得到了很好的显示[3]。

L·K·Lepley等人通过把两张不同时间取得的第7光谱段ERTS影象分别处理成一张正片和一张负片，然后使之重叠在一起，成功地从图象中获得了加里福尼亚湾北部单一的潮间带的影象[4]。

S·Wenderoth和E·Yosf等人1974年发展了等照度处理技术，消除多光谱合成影象中由地形的坡向、坡度以及各种遮挡物，如云层、高大地物等造成的局部光照水准差异的影响。使水中或阴影区里的物体影象和陆地上或光照区里的物体影象，得到了同样正确的彩色显示，同时也使不同光照水准区域中的同类物体得到了同样的彩色显示[5]。

松野久也等人采用专题抽取方法，对日本关东地区1972年11月26日的ERTS影象进行了处理，分别抽取出森林、耕地、高密度市街区、水域以及污染水域等五个专题类型[6]。

江森康文等人详细介绍了一张黑白影象如何变为彩色影象的处理方法，同时也说明了专题抽取处理的原理、方法，并对这种方法的效果进行了分析。结果表明抽取出来的植被区与地面实况数据有很好的一致性[7]。

在分析总结国内外有关这类处理方法的基础上，我们于1979年进行了一系列试验研究，提出"遥感图象相关掩模处理判读技术（简称相关掩模处理技术）"这一术语来概括这一系列的处理方法，并对这处理方法作了初步总结，阐述它们的原理、方法和应用。在试验中除重复了已有的各种处理方法外，还发展了利用不同正、负片组合、叠掩以及多次染印的方法进

行彩色密度分割的技术，在许多具体应用，特别是在海岸带泥沙分布、海水动态以及海底地貌等研究方面显示了其优越性。

1.2 相关掩模处理技术的基本概念

1.2.1 定义

相关掩模判读处理技术是利用遥感影象产生的彼此能精确重叠，且具有不同特征的一组正、负拷贝片，通过不同组合搭配及相互叠掩的办法，以满足遥感图象分析判读需要的一系列图象处理技术的总称。在处理过程中使用的正、负拷贝片称之为相关掩模片（简称模片）；而用以产生模片的遥感影象胶片称之为母片。

这些正、负拷贝片之所以称为相关掩模片，在于它们之间存在相关性。尽管它们可能是由一组多光谱影象或由一组不同时间影象的拷贝所产生，不同模片和其母片之间的密度响应特性也可以不同，但它们的基本影象特征在空间上却是彼此能够精确重叠的。因此，模片基本影象特征彼此能够精确重叠或配准即是其相关性的主要体现，也是各种相关掩模处理得以实施的前提条件。此外，不同相关掩模处理方法需要使用具有不同特性的模片，因此不同类型模片的制作就成了这些处理技术的关键所在。

产生模片的遥感影象，可以是常规的黑白影象，也可以是红外、雷达的黑白影象；可以是单光谱段的影象，也可以是多光谱段的影象；可以是同一时间摄取的影象，也可以是不同时间摄取的影象。由于相关掩模处理使用的模片必须是相关的，因而其对应的遥感影象（母片）也必须是相关的。也就是说，产生相关掩模片的一组遥感影象本身或者经过一定改正（如放大、缩小以及姿态纠正等）之后，在空间上必须是能够精确重叠或配准的。

进行不同模片的组合和叠掩，不仅要掌握模片叠掩后影象密度发生变化的一些基本规律，而且还要有丰富的专业知识和经验才能取得良好的效果。例如，想抽取出植物的影象，使用哪几个光谱段的模片最好，必须对植物的反射光谱特性以及它们在各光谱段影象上的特征有深入的了解才能给出正确的答案。同样，对抽取其它地物的影象来说也必须对它们的光谱特征及影象特征有深入的了解。

1.2.2 内容

遥感图象相关掩模判读处理技术的主要环节和内容如图 1.2 所示。

在处理过程中，首先要明确判读处理的目的和要求、感兴趣的目标和现象是什么。这些问题明确之后，才有可能选择出适当的处理方案和作为母片用的遥感影象。通过对制作模片用的感光胶片性能及遥感影象质量、特征的测量分析，并借助分析人员的经验，关于模片制作的各种要求以及每个具体模片应达到的技术指标，如最大、最小影象密度、反差系数以及阈值密度等问题，便可以确定下来。

当处理方案制定好之后，便可进入模片实际制作阶段。如何能制作出具有不同特性并能满足各种实际需要的模片，这是相关掩模处理最关键的一环。关于模片分类及制作的细节，我们将在第二章中加以说明。

具有不同特性的模片制作出来以后，通过测量它们的密度特性，确定它们是否均能满足处理的一定需要。然后把符合需要的模片挑选出来，并按正、负模片及一定技术指标（如阈

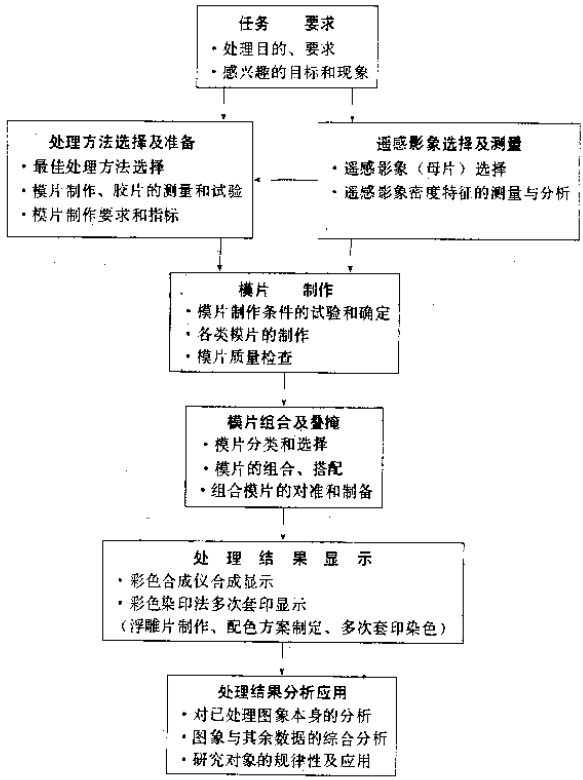


图 1.2　相关掩模处理技术流程

值密度等）分类供组合、搭配使用。经过分类的模片要进行叠掩试验(可以在透图台上或手持对光进行)，观察叠掩后是否能达到预期的效果。在此过程中不断调整或更换其中的一些模片是不可避免的事情。叠掩好的组合模片(一般由两张模片，有时也用三张叠掩构成)，要经过严格的配准以保证组合影象有良好的象质，然后把它们用透明胶纸粘在一起，固定好供拷制浮雕模片之用。

进行相关掩模处理时，有的方法要求使用六、七张以至更多张的单一模片和组合模片。这样多的模片重叠在一起，最后获得一张经过处理的图象。其结果的显示是很重要的一个问题。一般来说，处理使用模片的数目大于 3 或 4 时，彩色合成仪就无法使用了。这时需要采用彩色染印法或重氮片等方法加以处理。在染印过程中，能够使用的染料仅有黄、品、青三种，但是任何一张浮雕模片都可以多次改变或不改变染料颜色进行重复染色套印，因而处理结果可以获得十分丰富的彩色显示。当然，在这个过程中，制定一个有效的具体的多次染印配色方案是十分必要的。由于彩色染印法不需要使用贵重的仪器设备，同时又具有很大的灵活性，因而它在相关掩模处理中是一种最主要的显示技术手段。从某种意义上来说，相关掩

模处理技术是利用正、负拷贝片组合、叠掩以及多次染印而进行的一组图象判读处理技术的总称。本书中所给出的说明各种处理方法的特点和效果的彩色样片，均由此法制作而成。

1.2.3 特点

相关掩模判读处理技术和其它处理技术相比，具有如下特点：

第一，设备简单，推广容易，只需要有一般的摄影处理设备(如放大机和印象机)、感光胶片以及彩色染印法用的材料便可以进行。

第二，功能多样，应用广泛，相关掩模处理技术包括一整套处理方法，其中有反差调整、边界增强、影象相减、彩色合成、等照度变换、黑白发色、密度分割以及专题抽取等项，可以广泛地应用于各个领域，解决各种实际问题。如河口海岸带泥沙的扩散、土地利用分类等。对于解决某个具体问题而言，采用一种或几种方法对遥感图象进行相关掩模处理，往往会获得更良好的分析判读效果。

第三，道理浅显、效果良好。相关掩模处理的原理和方法均较简单，只要具备较熟练的摄影处理技能和经验，通过一段时间的摸索就可以掌握。其应用效果在许多方面不亚于、甚至超过一般光学-电子学处理技术。这主要表现在：①影象的空间位置准确。变形小。这同具有电视屏幕显示的系统相比尤为突出；②可以使用三张以上数目的（多至七、八张）模片进行叠掩和多次染色套印具有很大的灵活性，这是合成仪无法比拟的；③可以把同一景象中不同光谱段的影象信息按区域综合在一起。例如，研究海岸泥沙动态及分布时，可对影象进行密度分割处理。当我们采用这种处理技术时，深海区可用ERTS第4光谱段影象分割的结果，浅海区可用ERTS第6光谱段分割的结果，两者套印在一起就获得了整个海岸带泥沙动态及分布的完整概念。这在一般的密度分割仪上是无法做到的。

这种技术的不足之处，主要表现在两个方面：

第一，模片制作，特别是阈值密度的控制，目前仍靠处理人员的经验和不断的试验。一般成品合格率较低，制作起来也较困难。如果模片的制作直接由计算机控制产生，情况将会改观。

第二，最终处理出来的图象往往要经过多次染色套印。而套印一般由人工操作完成，因而影象的重叠精度不高，往往会影响到最终图象的清晰度和分辨率，增加了分析判读的困难。这只有通过不断加强处理过程的自动化，改善设备条件来解决。

在这里，我们还要提一下，这种处理技术往往可以和其它分析判读技术配合使用，取得更好的效果。例如，通过相干光学处理，可以直接得到遥感影象中线性构造形迹的构造玫瑰图。如果使其输入的原始影象变为经过相关掩模边界增强处理的图象，显然将会获得更好的处理效果。又如，它可以和计算机处理技术配合，使后者的黑白输出图象变换为彩色图象；而其模片也可以由计算机直接产生，使处理过程大为简化。关于这方面的问题尚有待进一步的研究。

最后，还应该指出：这种相关掩模处理技术不仅可以用来处理遥感图象，还可以用来处理其它图象，如X射线摄影，显微摄影等取得的图象。关于这方面的情况已超出本书的范围，在此就不予赘叙了。

第二章　相关掩模处理技术的工作基础

遥感图象相关掩模处理技术的工作基础主要包括：模片分类制作、模片叠掩规律和处理结果显示三个方面。制作出各种不同类型的模片是进行相关掩模处理的先决条件；模片叠掩规律是具体完成各种处理方法的基础原理；处理结果显示则直接影响到这种技术的实际应用效果。

2.1　模片的分类和制作

2.1.1　模片的分类

在相关掩模处理技术中，模片就象“积木块”一样是一种基本的构件，利用它们可以构造各种各样的“建筑物”。尽管不同“建筑物”的模片，具有千差万别的具体特征，但是根据其特点、作用以及与母片的相应关系，能把它们分成一些基本的类型。对于模片的分类，若从不同的角度出发，将会有不同的分类方法，下面，我们将介绍两种常用的分类系统。

根据模片密度和地面景象亮度的相应关系，可以把模片分为正、负两种。正模片的密度和地面景象亮度呈反比关系，即地面景象亮度大时，在模片上密度小；反之，亦然。负模片的密度和地面景象亮度呈正比关系，即地面景象亮度大时，其模片密度也大；反之，亦然。

由于原始摄影负片往往存档保存，很难为广大用户直接使用。因此，作为相关掩模处理使用的母片，可以认为是由原始负片第一次拷贝产生的正片。在这种情况下，令母片密度为 D_{xy} 则负模片的密度 $\overline{D}_{xy}$ 可写成：

$$\overline{D}_{xy} = D_{max} - \overline{\gamma} D_{xy} \qquad (2\ 1)$$

式中，D_{max} 为负模片在某种考贝处理条件下的最大密度；$\overline{\gamma}$ 为负模片影象的反差系数。

（2-1）式描写了母片和负模片密度之间的相应关系。也就是说，母片密度大，在负模片上的密度就相应小；母片密度小，在负模片上的密度就相应大。

用母片产生的第一次负模片拷贝可以得到正模片。在这种模片上，影象密度的相对变化关系和母片的是一致的。即母片密度大的影象，在正模片上密度也大；反之亦然。正模片的密度 D_{xy} 与母片密度 D'_{xy} 的这种关系可用下式描写：

$$D_{xy} = D_{max} - \gamma \overline{D}_{max} + \gamma \overline{\gamma} D'_{xy} \qquad (2\text{-}2)$$

式中，D_{max} 和 γ 分别为正模片的最大密度和影象反差系数。特别是当 $D_{max} = \overline{D}_{max}$，且 $\gamma = 1$ 时，上述关系更可由式（2-2）一目了然。

如果根据模片影象密度变化的规律及与母片的相应关系分类，正、负模片均可进一步分为：γ 模片、二元模片及等密度模片（或灰片）三大类。

1.　γ 模片

它的影象密度在整个动态范围（指最大最小密度之间的范围）内是连续变化的。而且一般来说 $\gamma < 2.4$。这种模片与母片之间的密度相应关系可用式（2-1）和（2-2）表示。但是，

根据两者反差系数之间的数量关系又可再分为：

等 γ 模片　这种模片的反差系数与母片的相同。它在正、负模片叠掩、消除不需要或没有变化的影象时使用，如边界增强、影象相减以及专题抽取等处理均需这种模片。等 γ 模片可简称为等 γ 片。可写作：

$$\gamma = \gamma_0 \tag{2-3}$$

式中 γ 和 γ_0 分别为模片和母片的反差系数。

半 γ 模片　这种模片的反差系数为母片的二分之一，可简称为半 γ 片。它主要在等照度变换处理时使用。这种模片的数学表达式为：

$$\gamma = \frac{1}{2}\gamma_0 \tag{2-4}$$

变 γ 模片　这种模片和母片的反差系数在数量上的关系，没有上述两种要求严格。它的取值可视影象反差调整处理的要求和母片反差大小而定。由于变 γ 模片一般用来提高或降低影象反差，因而对模片最大、最小密度有较高的要求、而不太注意反差系数的大小。应注意的是，反差和反差系数是两个关系密切，但彼此不同的概念、不能混淆。这种模片的数学表达式为：

$$\gamma = c\gamma_0 \tag{2-5}$$

式中，c 为一可变的系数，一般取值在 $0<c<3$。

2. 二元模片

这种模片在理想情况下只有两种密度，即最大和最小密度，分别对应于通光和不通光的情况，其间没有过渡的密度层次。但是，这种情况实际上是不可能完全做到的。因而在最大与最小密度值之间，往往还有少数中间密度等级作为过渡。一般来说这种模片的反差系数大于 3.0。它们和母片在密度相应关系上存在严重失真的现象。而且在不同模片上密度突变点与母片上的密度值有不同的对应关系。也就是说，在模片上黑、白影象（是最大和最小密度）的分界线将对应于母片上的某个密度值。该值称之为阈值密度，以 D_b 表示。D_b 的取值可以通过母片影象密度测量、分析以及相关掩模处理要求来确定。根据模片密度与阈值密度的相对关系，又可以把它们进一步分类为：

高通模片　它系指在母片中密度大于 D_b 的影象部分，相应在模片中具有最小的密度。也就是说，在模片中对应于母片密度大于 D_b 的影象部份均可通过最多的光量，故称之为高通模片。对这种模片而言，如果 D_b 的数值发生变化的话，其通光影象部分的范围将随之发生相应变化。

低通模片　这种模片和高通模片正好相反，其对应于母片密度小于 D_b 的影象部分为通光者，而大于 D_b 的范围光不能通过，故称低通模片。同样，当 D_b 改变之后，其通光影象部分的范围也发生改变。

带通模片　这种模片在相应于母片某个密度范围内的影象部分是通光的，而在此密度范围以外的相应影象部分具有最大密度值，是不通光的。因此，它对应于母片有两个阈值密度：D_b' 和 D_b''，分别称为下限和上限阈值密度。从某种意义上看，这种模片可以认为是具有不同阈值密度的高、低、通模片组合的产物。这时，D_b' 相应于高通模片的阈值密度；D_b' 相应于低通模片的阈值密度。当它们组合在一起时，只有相应于母片影象密度在 D_b' 和 D_b'' 之间

的影象部分在模片上才是通光的。事实上，具有不同带通的模片就是用这种办法获得的。

如果用一些简单的数学表达式来描述这些模片的话，可以有：

高通模片：$D_{xy}=D_{\min}$　　当$D'_{xy}\geqslant D'_0$　　(2-6)

低通模片：$D_{xy}=D_{\min}$　　当$D'_{xy}\leqslant D'_0$　　(2-7)

带通模片：$D_{xy}=D_{\min}$　　当$D_0^{l\prime}<D'_{xy}<D_0^{U\prime}$　　(2-8)

式中，D_{xy}表示模片的密度；$D_{\min}$为模片的最小密度；相应透过率最高；D'_{xy}为母片的密度；D'_0，$D_0^{l\prime}$和$D_0^{U\prime}$分别为母片阈值密度及下限和上限阈值密度。

如果高通、低通和带通模片分别再经过一次拷贝，则可产生相应的高阻、低阻和带阻模片。它们和高通、低通以及带通模片配合使用，可以进行黑白发色、密度分割以及专题抽取等项处理。由于上述模片在不同部分，分别对光具有畅通和阻碍的特性，故亦可称为通阻二元模片，或简称二元模片。

高阻、低阻和带阻模片的数学表达式，分别与式（2-6）、（2-7）、（2-8）相应：

高阻模片：$D_{xy}=D_{\max}$　　高$D'_{xy}\geqslant D'_0$　　(2-9)

低阻模片：$D_{xy}=D_{\max}$　　高$D'_{xy}\leqslant D'_0$　　(2-10)

带阻模片：$D_{xy}=D_{\max}$　　高$D_0^{l\prime}<D'_{xy}<D_0^{U\prime}$　　(2-11)

式中，$D_{\max}$为模片的最大密度值，相应于不透光的情况。其余符号的含义同前。

在使用二元模片时，有时着眼于其通光部分，为了使相应的影象部分保留下来；有时着眼于其阻光部分，用来遮挡消除处理过程中不希望保存的影象部分。因此，我们可以用“选通模片”这个术语来概括高通、低通以及带通模片；用“选阻模片”来概括高阻、低阻和带阻模片。

3. 等密度模片（灰片）

这是一些具有不同密度值，但反差为零的模片。由于它们是一些具有深浅不同，但在整个模片范围色调均一的中性灰色模片，因而亦可简称为灰片。在相关掩模处理过程中，欲调整各模片整体曝光水准差异时，常会使用到这种模片。它们可以用式（2-12）表征：

$$D_{xy}=D_l \qquad (2\text{-}12)$$
$$\Delta D_{xy}=0$$

式中，D_l为任意一个具体的密度值，一般取值$0<D_l\leqslant 3$；而ΔD_{xy}为该模片的反差，$\Delta D_{xy}=D_{\max}-D_{\min}$

上述各种模片的类型、特点和用途可用表2-1进行简单的总结。

2.1.2 模片的制作

不同类型的模片在制作时有不同的要求和方法。

γ模片制作的关键问题是如何根据处理要求，准确地控制模片的γ值。影响模片γ值的因素很多，除胶片及显影液化学成分的差异而外，显影时间、影液温度以及搅拌程度等因素的变化都会使模片γ值发生明显的改变。为此，在制作模片之前，必须对影响γ值的诸因素，如感光材料、显影液性能以及处理条件进行系统的研究。

在研究过程中，应分别对不同的胶片类型、显影液配方或浓度，建立一系列模片反差系数（γ）与显影时间（t）的关系曲线（图2.1）不同反差系数的显影时间与温度的关系曲

表 2-1 模片的类型及用途

分类			特征*	应用
γ模片	等γ模片	正等γ模片	$\gamma=\gamma_0$	边界增强 影象相减 专题抽取
		负等γ模片	$\gamma=\lvert\gamma_0\rvert$ **	
	半γ模片	正半γ模片	$\gamma=0.5\gamma_0$	等照度变换
		负半γ模片	$\gamma=0.5\lvert\gamma_0\rvert$ **	
	变γ模片	正变γ模片	$\gamma=c\gamma_0$	反差调整
		负变γ模片	$\gamma=c\lvert\gamma_0\rvert$ **	
二元模片	选通模片	高通模片	$D_{xy}=D_{\min}$ 当 $D'_{xy}\geqslant D'_\delta$	黑白发色
		低通模片	$D_{xy}=D_{\min}$ 当 $D'_{xy}\leqslant D'_\delta$	密度分割
		带通模片	$D_{xy}=D_{\min}$ 当 $D''_\delta<D'_{xy}<D'''_\delta$	专题抽取
	选阻模片	高阻模片	$D_{xy}=D_{\max}$ 当 $D'_{xy}\geqslant D'_\delta$	黑白发色
		低阻模片	$D_{xy}=D_{\max}$ 当 $D'_{xy}\leqslant D'_\delta$	密度分割
		带阻模片	$D_{xy}=D_{\max}$ 当 $D''_\delta<D'_{xy}<D'''_\delta$	专题抽取
等密度模片（灰片）			$D_{xy}=D_i$ $\Delta D_{xy}=0$ $0<D_i<3$	曝光水准调整

* D_{xy}、γ和ΔD_{xy}分别为模片的密度，反差系数和反差；D'_δ，D''_δ，D'''_δ分别母片的阈值密度。

** 母片为正片，因而负模片的γ与之符号相反，故用绝对值表示。

线.（图 2.2）以及搅拌程度对模片特性影响的关系曲线（图 2.3）[5]。在这些基础工作完成之后，我们就有可能按照相关掩模处理的具体要求，迅速地选择适当的胶片类型、显影液配方以及处理条件，获得具有所需γ值的模片。应该指出、在实际制作模片时，上述选定处理条件的保持和控制是十分重要的。为了保险起见，在模片处理的同时，应加入具有感光仪光楔潜象的同种类型的胶片条带，以监控处理条件及模片的质量和特性。

其次，制作二元模片必须采用具有高反差的胶片类型和显影液，并经过下述处理步骤：

（1）用一母片在不同曝光时间、相同处理条件下产生一组具有不同γ值的γ模片。如图 2.4 所示。它们实际上是制作二元模片过程中的一组中间模片。

（2）上述中间模片，在相同的曝光时间和处理条件下，产生一组高通模片，如图 2.5 所示。图中每条曲线均有不同的阈值密度D'_δ与之相应。

（3）用（2）产生的一组高通模片，在相同条件下拷贝和处理，获得一组高阻（或低通）模片，其特性曲线如图 2.6 所示。

（4）选择适当的高阻、低阻模片组合起来，可以获得具有不同上、下限阈值密度的带通模片，如图 2.7 所示。

在图 2.5、图 2.6、图 2.7 中，都分别描绘出了母片的密度特性曲线。这样，对确定上述模片的阈值密度就很方便。在确定模片的阈值密度时，首先要由模片的特性曲线上确定其密度突变点；然后由该点引垂直线与母片特性曲线相交，交点对应的母片密度值即为该模片的阈值密度。例如在图 2.7 中，由 70″ 低阻模片和 35″ 高阻模片构成的带通模片，其上、下密度突变点分别是两条曲线上的U和L点。由U和L点分别引垂线与母片特性曲线相交于u和l两点。在该曲线上，u和l点相应的密度值分别为1.04和0.5。因此，该模片$D'_\delta=0.5$，$D''_\delta=1.04$。此外，由该图亦可清楚地看出：母片密度大于D''_δ，小于D'_δ的影象部分，在模片上均为不通光的部分，而只有在这两个阈值密度范围里的影象部分才是通光的。当然，这

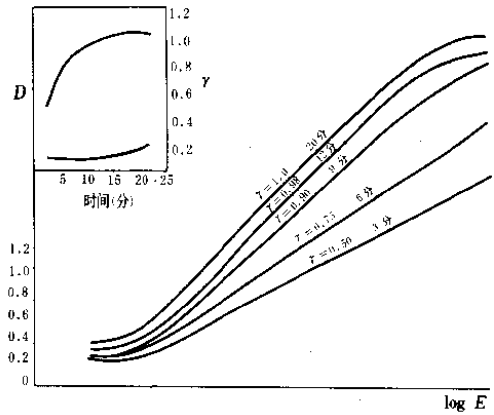


图 2.1 模片反差系数-显影时间关系曲线

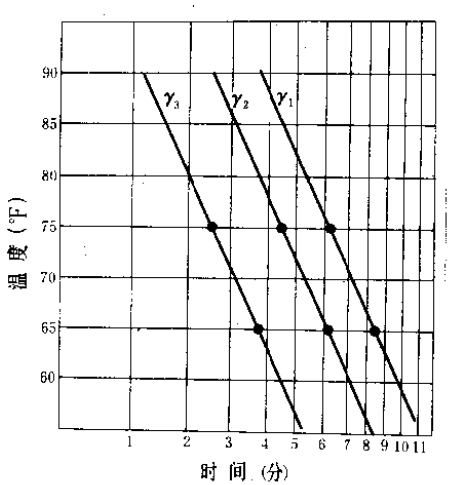


图 2.2 不同 γ 值时间-温度关系曲线

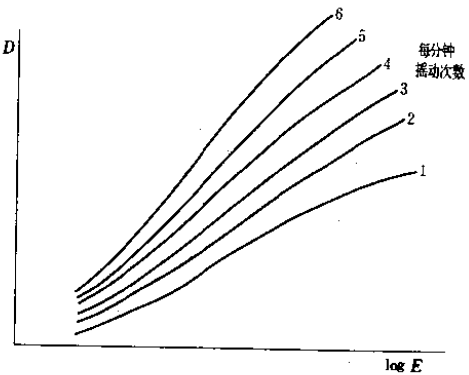


图 2.3 搅拌程度的影响

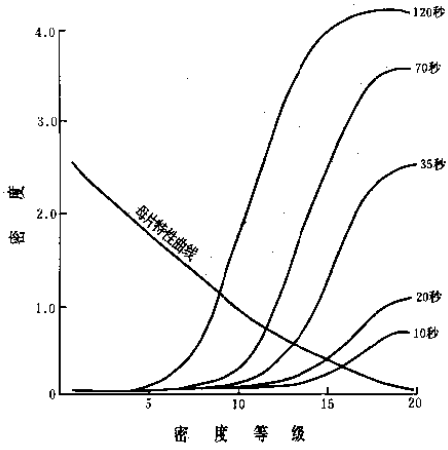


图 2.4 中间模片的特性曲线

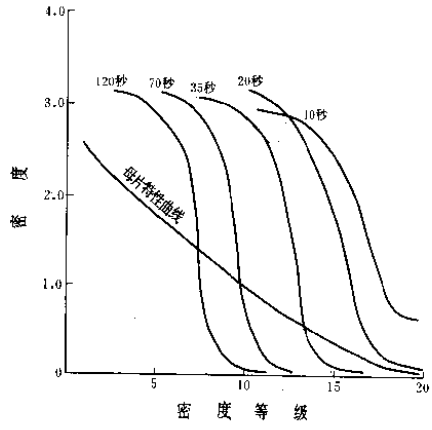


图 2.5 高通（或低阻）模片的特性曲线

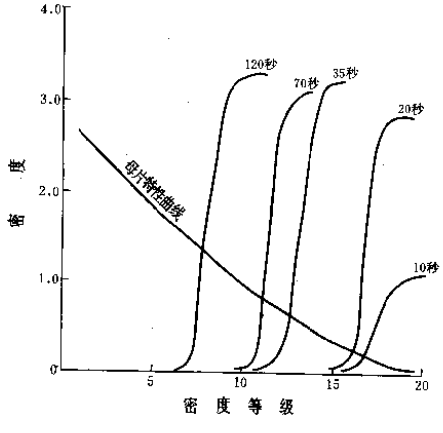


图 2.6 高阻（或低通）模片特性曲线

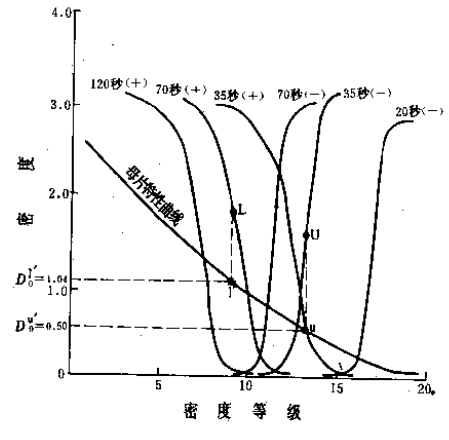


图 2.7 带通模片的产生

种带通模片只要再经过一次拷贝，即可获得相应的带阻模片。这就无须多说了。

在制作二元模片时，关键的技术问题是如何准确地控制处理条件，使模片能够在给定的阈值密度处发生密度的突变。也就是说，当我们要求例如密度大于阈值密度 D_0 的母片影象部分，相应地在模片上是透明的，而小于该值的部分不透明时，我们就能迅速地准确地制作出这种模片来。做到这一点是十分必要的。为此，我们必须了解胶片的特性，经过反复试验，找出规律，才能达到得心应手的地步。

最后，等密度模片可以在均匀的光照条件下，以不同的曝光时间使胶片曝光而得。这种模片看起来很简单，但是要真正做好，即保证整个模片密度均一，却要费一番功夫。对于这种模片的要求关键是要满足 $\Delta D_{xy}=0$ 这个条件。

2.2 模片叠掩规律

遥感图象的相关掩模判读处理，主要是通过不同类型、特性的模片相互叠掩而实现的。因而，研究并掌握由于模片叠掩而引起的模片影象密度变化的规律，就成了应用和发展这种技术的根本所在。

为了说明这个问题，我们假定在一组相关掩模模片中，任意两个模片的密度分布函数为 $D_m(x,y)$ 和 $D_n(x,y)$，这两个模片叠掩产生的合成模片为 $D_c(x,y)$，即 $D_c(x,y)=D_m(x,y)+D_n(x,y)$。$D_m(x,y)$，$D_n(x,y)$，与 $D_c(x,y)$ 的拷贝模片分别以 $\overline{D}_m(x,y)$，$\overline{D}_n(x,y)$ 和 $\overline{D}_c(x,y)$ 表示。注意：若 $D_c(x,y)$ 为正片，则 $\overline{D}_c(x,y)$ 为负片；反之亦然。

下面，我们将分别叙述模片叠掩的一些基本规律：

（1）密度分别为零和无穷大的等密度模片（相应于二元模片）。这是一种最简单和理想的情况。一般来说，模片密度为零时，其透过率为100%，在图2.8中，我们以白色圆表示；模片密度为无穷大时，其透过率为0%（对一般胶片而言，这种情况可以用 $D=3$ 近似）。在图2.8中以具有黑色斜线的圆表示。因而，在这种模片拷贝和叠掩时，

$$\text{若 } D=0 \quad \text{则 } \overline{D}=\infty \qquad (2\text{-}13)$$

$$\text{或 } D=\infty \quad \text{则 } \overline{D}=0$$

$$\text{若 } D_m=D_n=0 \quad \text{则 } D_c=0 \qquad (2\text{-}14)$$

$$\text{若 } D_m=D_n=\infty \quad \text{则 } D_c=\infty \qquad (2\text{-}15)$$

$$\text{若 } D_m=\infty,\ D_n=0 \quad \text{则 } D_c=\infty \qquad (2\text{-}16)$$

$$\text{或 } D_m=0 \quad D_n=\infty$$

图2.8形象地显示了这种拷贝及其叠掩规律。

（2）在一般情况下，模片的密度变化于两个极端值0和∞之间，它们（大体相应于 γ 模片）彼此叠掩，影象密度及反差（ΔD）的变化规律，如图2.9所示。

这种变化规律可以用下述数学形式表征：

$$D_c(x,y)=D_m(x,y)+D_n(x,y) \qquad (2\text{-}17)$$

当 D_m 和 D_n 同为正模片或负模片时，

$$\Delta D_c=\Delta D_m+\Delta D_n \qquad (2\text{-}18)$$

其合成模片密度的变化规律或符号与所用的两个模片相同。如果两张负模片叠掩，合成模片亦为负模片，如图2.9(a)所示；如果两张正模片叠掩，合成模片亦为正模片，如图2.9

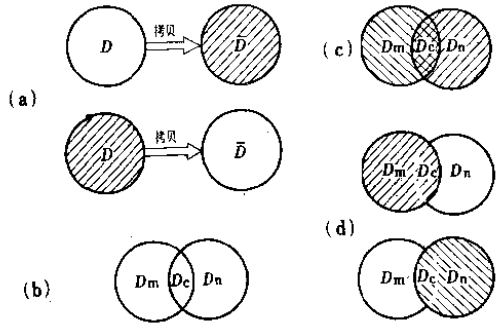


图 2.8 等密度模片的叠掩规律

(b) 所示。

当 D_m 和 D_n 分别为正模片和负模片时，

$$\Delta D_c = |\Delta D_m = \Delta D_n| \tag{2-19}$$

其合成模片密度的变化规律或符号，与反差大的模片一致，图 2.9(c) 和图 2.9(d) 所示。当 $\Delta D_m(-) > \Delta D_n(+)$ 时，合成模片具有与负模片密度变化规律一致的特点；反之 $\Delta D_m(-) < \Delta D_n(+)$ 时，合成模片为正模片。

作为式 (2-19) 的一种特例，当 $\Delta D_m = \Delta D_n$、且 $|\gamma_m| = |\gamma_n|$ 时，

$$\Delta D_c = 0 \tag{2-20}$$

这时，两个模片叠加的结果，使合成模片变为一等密度模片，原有的影象消失，如图2.9 (e) 所示。在相关掩模处理过程中，往往要求整个影象或局部影象在叠掩后出现这种情况。

由式 (2-18)，(2-19) 和 (2-20) 表明：同号模片相加，合成模片影象反差加大，且等于两个模片反差之和；异号模片相加，合成模片影象反差减小，等于两者之差；异号等反差模片相加，合成模片影象反差为零。但是这时还要求两者反差系数相等，最终才能使合成模片的影象完全消失，变为等密度模片。不难看出，充分掌握并灵活运用这些模片叠掩规律，在使用和发展相关掩模处理技术过程中是极为重要的。

(3) 任何一个模片的密度均可分解为两个部分。一部分是基准密度，其值在模片中不随空间位置而变化；一部分是调变密度，它的值随空间位置不断改变。因此我们可以把任何一个模片看成是基准密度模片（灰片）和调变密度模片合成的结果。如图 2.10 所示。基准密度模片的密度 D_0 一般与模片影象的最小密度相等；而调变模片的密度变化范围与原模片影象的总反差相等。因此有：

$$D(x,y) = D_0 + \tilde{D}(x,y) \tag{2-21}$$

$$D_0 = D_{\min}$$

$$\Delta\tilde{D} \leqslant \Delta D_{\max}$$

式中，D_0 和 $\tilde{D}(x,y)$ 分别为模片密度 $D(x,y)$ 的基准密度和调变密度分量；$D_{\min}$ 为模片的最小影象密度；$\Delta\tilde{D}$ 调变密度的动态变化范围；$\Delta D_{\max}$ 模片影象的最大反差值。

在进行相关掩模处理时，我们可以通过加入不同密度的等密度模片或减少拷贝曝光量等

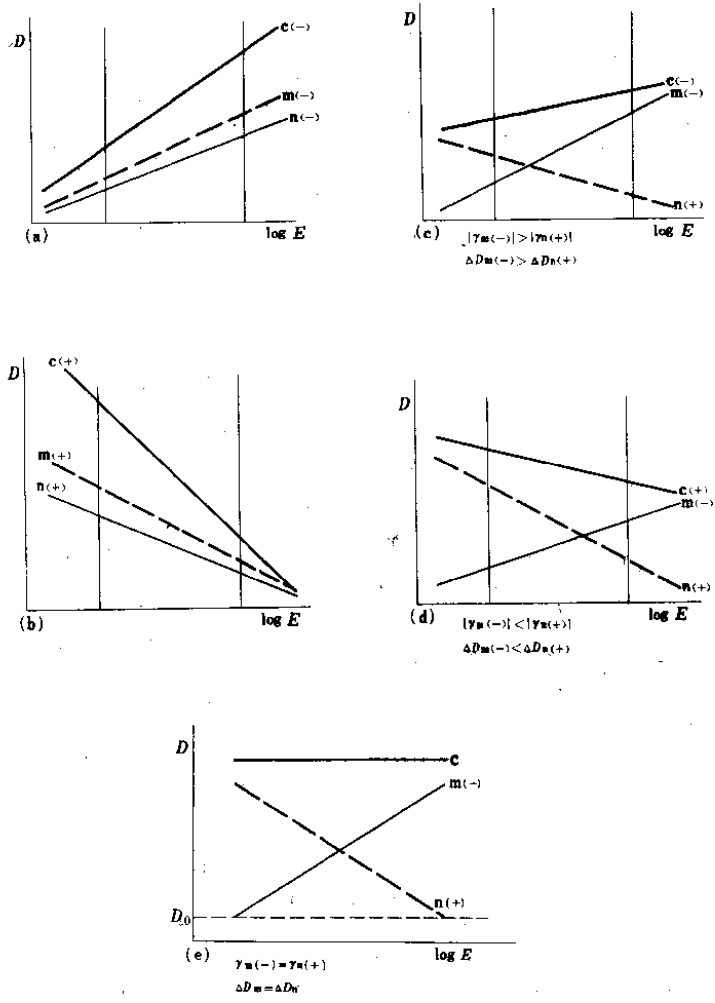


图 2.9　模片叠掩密度、反差的变化

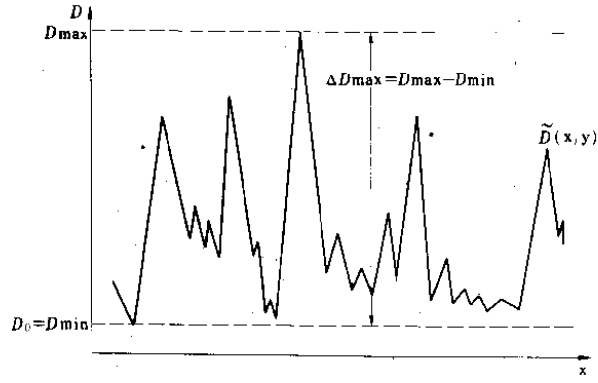


图 2.10 模片影象密度的分解

办法，使模片的基准密度升高或降低，以满足具体处理的要求。

2.3 处理结果显示

对遥感影象进行相关掩模处理，至少需要使用两张（组）模片，最多可达八、九张（组）模片，多次相互叠掩实现。在这种情况下，要想使处理结果显示得满意，一方面要求模片多次叠掩具有较高的重叠精度，以保证最终图象有较高的分辨率和清晰度；另一方面要求处理结果以“彩色”显示出来。由于彩色显示和一般黑白显示不同，它具有三个可以变动的参数：色相、饱和度和亮度。加之人眼对彩色差异的分辨本领远高于对灰度等级的辨别能力，因而它可以把处理结果中包含的，甚至是很微弱的有用信息更好地表现出来。无疑这对分析判读是十分有益的。

相关掩模处理使用的各种模片均为黑白模片，因而要用彩色把处理结果显示出来，必须经过一个由黑白到彩色的变换。根据色度学的研究，这种变换可以通过加色法实现，也可以通过减色法实现。在彩色合成仪上进行相关掩模处理属于前者范畴；而使用彩色染印法处理则属于后者范畴。在实际应用中，这两种方法各有优缺点。例如，当使用彩色合成仪时，各模片叠掩精度较高，调节方便，因而有较好的影象质量。但是，由于仪器一般只有三、四个投影通道，因此在需要使用多于三或四张（组）模片进行处理时它就无能为力了。也就是说，合成仪只能完成部分相关掩模处理技术的作业，有一定局限性。对于彩色染印方法来说，虽然模片叠掩精度和最终图象清晰度较合成仪差一些，但是它适于模片的多次叠掩，色彩鲜艳、设备简便，因而从某种意义上来说，利用它进行相关掩模处理结果的显示具有更大的推广价值。

相关掩模处理结果的显示，不论是用彩色合成仪，还是用彩色染印法，重要的问题是要制定一个良好的配色（混色）方案，以使最终图象能有效地把其中的有用信息表示出来。为此，我们必须对彩色的混合有一个较深入的了解。根据色度学，彩色是可以相互混合的。这种混合可以是彩色光的混合，也可以是染料的混合。这两种混合方法在原理和规律上都有所不同。

在色光混合的情况下，格拉斯曼（H.Grassmann）曾对彩色混合规律做过总结[8]：

（1）人的视觉可以分辨彩色的三种变化：色相、饱和度、亮度。

（2）在由两个成分组成的混合色中，如果一个成分连续地变化，混合色的外貌也连续地变化。由此可导出：

补色律　每一种彩色都有一个相应的补色。如果某一彩色与其补色以适当比例混合，便产生白色或灰色；如果二者按其它比例混合，便产生近似比重大的彩色成分的非饱和色。

中间色律　任何两个非补色相混合，便产生中间色，其色相决定于两彩色的相对数量，其饱和度决定于二者在色相顺序上的远近。

（3）彩色外貌相同的光，不管它们的光谱组成是否一样，在彩色混合中具有相同的效果。换言之，凡是在视觉上相同的彩色都是等效的。由这一规律可导出：

代替律　相似色混合后仍相似。如果彩色 A = 彩色 B；彩色 C = 彩色 D，那么：

$$\text{彩色 } A + \text{彩色 } C = \text{彩色 } B + \text{彩色 } D$$

代替律表明，只要在感觉上彩色是相似的，便可以互相代替，所得的视觉效果是同样的。设 $A + B = C$，如果没有 B，而 $x + y = B$，那么 $A + (x + y) = C$。这个由代替色而产生的混合色与原来的混合色在视觉上具有相同的效果。

根据代替律，可以利用彩色混合方法来产生或代替各种所需要的彩色。这是一条非常重要的定律，现代色度学就是以它为基础的。

（4）混合色的总亮度等于组成混合色的各彩色光亮度的总和。这条规律称为亮度相加律。

亮度相加律　由几个彩色光组成的混合色的亮度是各彩色光亮度的总和。

为了补充说明这些混色规律，可以用彩色环为例。我们知道若把饱和度最高的光谱色依顺序围成一个圆环，加上紫红色、纯红色，便构成如图 2.11 所示的彩色环。每一种彩色都在圆环上或圆环内占一确定位置。白色位于圆环中心。一般来说彩色愈不饱和，其位置就越靠近中心。在彩色混合时，可以把两种彩色看成是两个重量，根据二者比重的大小计算质量重力中心的原理来确定混合色的位置。例如60%红与40%黄相混合，就应在彩色环上将此两色以直线连接，从彩色环中心通过直线上距黄端60%处划一延长线到外围，交点便是混合后中间色的色相。中间色的饱和度决定于二色在环上的距离，二者相距愈近饱和度愈大，反之亦然。根据中间色的原理，我们可以选定光谱上的红色、绿色、蓝色，先用红和绿色按不同比例混合产生红、绿之间的各种中间色，再用每一中间色与蓝色相混合，便得到彩色环中红、绿、蓝三角形内部的各种彩色。

为了定量地确定混合色的色坐标，在CIE表色系统中，不仅可以采用计算法，而且还可以采用作图法。对于前种方法，设彩色 1 和彩色 2 的三刺激值分别为 X_1，Y_1，Z_1 和 X_2，Y_2，Z_2，则混合色的三刺激值可按式（2-22）计算：

$$\begin{aligned} X_{(1+2)} &= X_1 + X_2 \\ Y_{(1+2)} &= Y_1 + Y_2 \\ Z_{(1+2)} &= Z_1 + Z_2 \end{aligned} \tag{2-22}$$

在混合色的三刺激值 $X_{(1+2)}$，$Y_{(1+2)}$ 和 $Z_{(1+2)}$ 计算出来后，就可以根据式（2-23）求出它的色坐标 x、y：

$$x=\frac{X_{(1+2)}}{X_{(1+2)}+Y_{(1+2)}+Z_{(1+2)}}$$

$$y=\frac{Y_{(1+2)}}{X_{(1+2)}+Y_{(1+2)}+Z_{(1+2)}} \qquad (2\text{-}23)$$

对于用作图法来说，同样可以确定混合色的色坐标。这时，在CIE 1931色度图上，两种彩色相加产生的第三种彩色总是位于连接它们的直线上。混合色在直线上的位置取决于两种彩色的混合比例。混合色的位置一般更靠近比例大的彩色一侧。在图2.12中P为彩色1，Q为彩色2，M为（$P+Q$）的混合色。C_1与C_2分别为彩色1（P）和彩色2（Q）的色度量（三刺激值之和）。根据重力中心定律：

$$\frac{QM}{MP}=\frac{C_1}{C_2}=\frac{X_1+Y_1+Z_1}{X_2+Y_2+Z_2} \qquad (2\text{-}24)$$

表示QM的距离与C_2成反比，即在混合色中，C_2所占的比例愈大(C_1的比重自然减小)，QM的距离愈短，所以M靠近Q。在PQ线上，各点的彩色表示P和Q不同比例得出的混合色。现M为P和Q的混合色，所以必定在连接x_1，y_1（P点）和x_2，y_2（Q点）的直线上，其位置应落在按P和Q的量成反比所分割的距离上。为了求得这一点，在P点作一条与PQ垂直的直线，其长度与C_2(彩色2的三刺激值之和）成比例，等于kC_2。另在上述P点垂线的对侧，由Q点作一条垂直于PQ的直线，其长度与C_1(彩色1的三刺激值之和）成比例，等于kC_1，其中k为任意选定值。连接这两条垂线末端的直线与PQ线的交点，就是所求混合色的色度点。其色坐标值可由CIE 1931色度图上查得。

当用计算方法或作图方法，求出两种彩色相加所得混合色的三刺激值和色度坐标以后，就可以将这一混合色的三刺激值作为一个独立彩色看待。它可以和其它彩色相加，进一步求

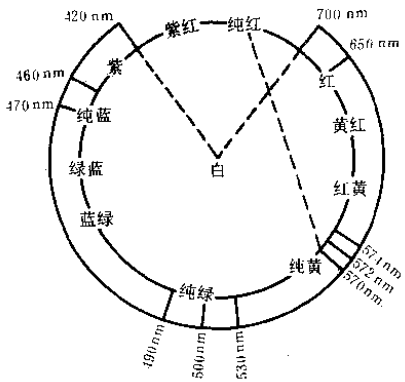


图 2.11 彩色环

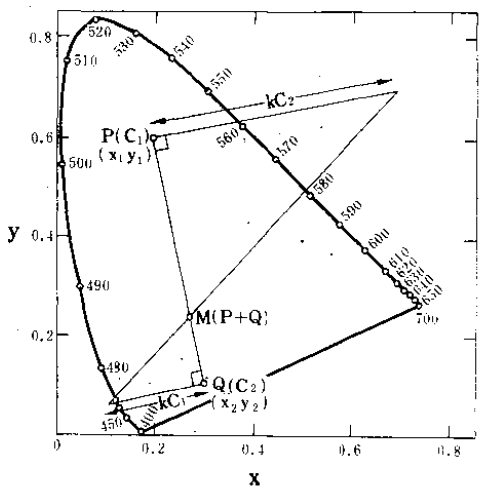


图 2.12 作图法求混合色

出三种或更多种彩色混合的结果。

上面介绍的是彩色光的相加混合，它们的规律不适用于染料的混合。因为染料的混合是彩色光的减光过程，而不是加光过程。彩色染印图象即是减光合成的产物。

在彩色染印图象上，图象的彩色由青、品、黄三色染料密度的比例控制。这三种染料的密度分别控制透过红、绿、蓝光的量，它们的密度大时，将分别吸收更多的红、绿、蓝光成分。由于青染料密度是控制图象中红色用的，亦称“减红”原色；品红染料密度是控制绿色用的，亦称“减绿”原色；黄染料密度是控制蓝色的，亦称“减蓝”原色。在减色法彩色混合中，每种减法原色都控制它所吸收的光谱段的彩色，通过三者的密度变化分别控制红、绿、蓝反射光的比例，从而得到各种混合色。例如，当品和黄重叠时，由于品减去绿，黄减去蓝，因而只留下红色；黄和青叠加在一起产生绿色；青和品相混产生蓝色。品、黄、青三种染料相混产生黑色。如果三者的密度均较小时，产生灰色或白色。

在彩色染印法中使用的三个减法原色青、品、黄，分别是彩色合成仪加法原色红、绿、蓝的补色。对于染印法而言，它不能用每个彩色成分的三刺激值直接计算出相减混合色的三刺激值。和色光相加混色不同，而必须用光谱光度方法测得各彩色成分的光谱吸收特性之后，才能算出减色混合色的三刺激值。

由上述不难看出，当我们熟练地掌握了彩色混合的规律之后，对相关掩模处理结果进行显示，就能得心应手地运用彩色这个强有力的工具。此外，还应该指出，彩色混合的规律固然是制定配色方案的基础，但是为了制定出最佳的彩色显示配色方案，以获得最佳的显示效果，还要顾及人们对于不同彩色的视觉响应特性，如人眼的彩色宽容度（人眼感觉不出的彩色变化范围）等以及图象中欲突出显示的对象的属性和特征等。

一般来说，人眼对光谱不同波长彩色的响应特性主要表现在辨色能力，如光感觉效率等方面。根据实验研究表明：人眼对光谱不同波长的彩色差别的辨别能力是不同的，如图 2.13 所示。由图中可见，在 490 毫微米和 600 毫微米一带，视觉的辨别能力很高，只有 1 毫微米的改变便被查觉出来了；而在 430 毫微米和 650 毫微米一带的辨色能力很低，必须达到 5—6 毫微米才能感觉出彩色的差别。类似的结果还可以由图 2.14 和图 2.15 给出。在这两个图中，分别用线段的长短和椭圆形的大小，表示人眼感觉不出的彩色变化范围。这种范围可以称之为彩色的宽容量。从图 2.14 和图 2.15 可以看到，在 CIE 色度图的不同位置上，彩色的宽容量不一样。如蓝色部分最小，绿色部分最大。换句话说，在色度图蓝色部分的同样空间里，人眼能看出更多数量的各种蓝色；而在绿色部分的同样空间内人眼只能看出较少量的各种绿色。图上人眼对蓝色恰可辨别的最小距离与对绿色恰可辨别的最大距离之比达 1/20。就视觉恰可辨别的彩色数量计算，色度图光谱轨迹蓝色端的彩色密度大于绿色次部密度的 300—400 倍。

但是作为问题的另一方面，在一个等能量光谱上，不同波长的单色光通过人眼产生的明亮感觉是不同的。换句话说，同样功率的辐射在不同的光谱部位表现为不同的明亮程度。实验结果表明：人眼所看到的等能量光谱不同部位的相对明亮度如图 2.16 所示。这种曲线称之为视觉曲线。在光亮环境和黑暗环境的视觉曲线，分别称为明视觉曲线和暗视觉曲线。两者之间有明显的差异。由该图不难看出，同样的辐射能量在光谱 555 毫微米波长的黄绿部位最明亮，愈趋向光谱两端的光愈显得发暗，其中在 400 毫微米处最暗。由于蓝和蓝紫色光对人眼产生光感的效率较低只有它们的照度超过视觉阈值水平很多时才能辨认，因而在一般情况

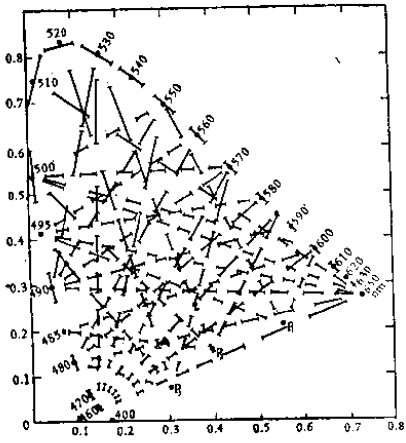


图 2.13　人眼对光谱色的差别感受性

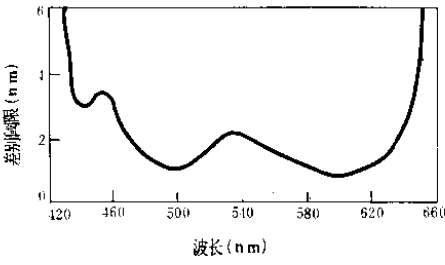


图 2.14　人眼对彩色的恰可分辨范围

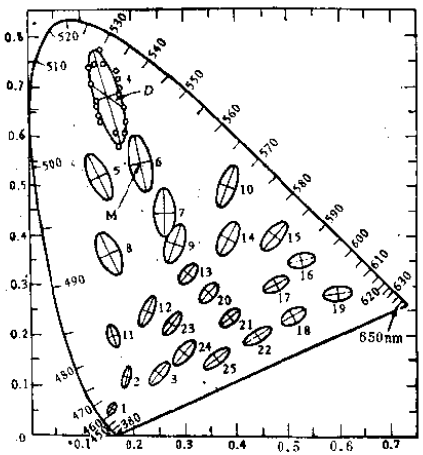


图 2.15　彩色椭圆形宽容量范围

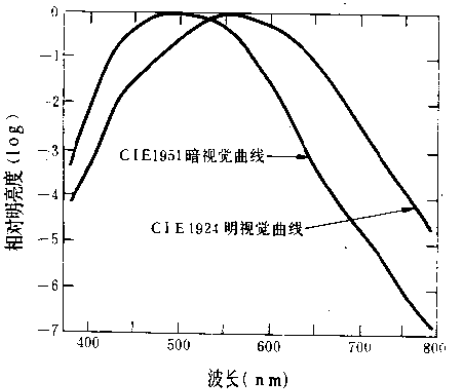


图 2.16　CIE1924明视觉曲线与
CIE1951暗视觉曲线

下对它们的详细辨别是较困难的。

此外，在图象上二种彩色相邻时，两者相互影响的问题也是不可忽视的。这种影响称之为彩色对比。这种对比一般由色相对比、饱和度对比和亮度对比三部分组成。由于色相对比的存在，每一种彩色都在其周围诱导出其补色。例如两品红影象分别以绿色和红色为背景时，绿背景中的品红较红背景的更鲜艳。因为绿背景色诱发出来的补色，使品红的饱和度加大；而红背景诱发出的青加到品红影象，呈现污浊感。而饱和度对比、亮度对比可分别使两种相邻彩色影象的饱和度和亮度的差异加大，即饱和度大的愈大，饱和度小的愈小；亮的影象愈亮，而暗的愈暗。因此，这里有一个彩色配合（或和色）的问题。一般来说，彩色配合有两种：一是由关系密切（在CIE色度图上相近）的色或同色且亮度不同的彩色构成的类比和色；一是由互为补色及近于补色或对比强烈的彩色构成的对比和色。前者具有明快之感，但比较单调平和；后者对比强烈，富于变化，但有时给人刺目之感。在制定配色方案时，巧妙地利用这些特点，是十分重要的。具体来说：

（1）在图象中应尽可能多采用鲜艳（或比较饱和）的红、橙、黄和绿一带的彩色，它们不仅彩色宽容量范围小，易于辨别，而且色调鲜明，会给人以美感。

（2）在图象中应尽可能不要大面积使用饱和的蓝、绿一带的彩色。否则，将使整个图象色调发暗，显得十分呆板。

（3）应充分利用彩色对比特性。大面积的背景最好使用色度图中绿色一黄色部分的彩色，而要突出的影象可采用品红等相应的补色表示。这样背景明亮、单调，主题醒目、突出，从而容易获得鲜明的彩色影象增强效果。

（4）对背景单调、密度渐变且和某种物理量（如对水体的温度、含沙量以及水深等）的变化有较好的对应关系的图象，最好顺序使用CIE色度图沿绿到红、靠近光谱轨迹饱和度较大的色系。这样不仅有较丰富易辨的彩色，而且也有明视觉曲线上由亮到暗的变化。从而能更有效地显示出该物理量的变化规律。

（5）在图象的彩色配合中，即要有类比和色，又要有对比和色，而且还要注意他们的比例(它们的面积比)，分出主次。这样可以使图象各部分的彩色一方面有节奏的变化；另一方面又能在变化中求得统一，从而获得最佳的彩色显示。否则，如果只有变化而无统一的彩色配合，会使图象杂乱无章，没有主调；反之，只有统一而无变化的彩色配合，又会使图象单调贫乏，没有生气。

最后，应该强调指出：上述原则的运用需根据相关掩模处理要求、对象以及具体影象的特征而定，并且要经过反复实践才能运用自如。

第三章　处理方法

利用相关掩模处理技术，可以进行影象反差调整、彩色合成、等照度变换、黑白发色、密度分割、边界增强、影象相减以及专题抽取等一系列判读分析处理。至于在完成一项具体任务时应使用何种方法，将主要取决于遥感图象分析判读和应用的需要，同时也要看原始遥感影象的类型、反差、灰雾度以及目标的辐射特性等而定。这时，对于不同处理方法而言，所使用的模片类型、特性、组合方案以及叠掩程序也将是不同的。

3.1　反差调整

利用相关掩模来调整遥感影象的反差大小是一种十分有效的方法。它的原理在第二章中已有说明，概括起来说，同号模片相加，合成模片影象反差加大，服从式(2-6)；异号模片相加，合成模片影象反差减小，服从式(2-7)。利用前者进行反差调整可使影象反差增强；利用后者可使反差减弱。因此，我们又可以把反差调整处理方法细分为：反差增强和反差减弱。它们分别在不同的场合下得到广泛的应用和良好的效果。如何用相关掩模处理技术进行影象反差调整，下面按照它的工作程序加以说明[9]。

（1）测定“原始影象”的反差。在测量时，影象的最大和最小密度值必须选择若干有代表性的地方测量。所谓“有代表性”，系指这些地方的密度需要在整个象幅中占有一定的面积比例（如3—5%），这样，测得的结果将能较好地表征该影象的反差特性。如果不是这样，只选取影象中最亮和最黑两点的密度来确定其反差，结果是不适宜的。

（2）确定模片所需反差大小。模片反差的大小可根据原始影象反差及最终影象应该有的反差来确定。例如，对一般彩色负片影象而言，其反差最好控制在0.65—0.70之间。这样，影象的色彩层次丰富，质感也较好。因此，如果原始影象反差为1.10，要把它降低为0.65的话，就要有一张反差为0.45的黑白正模片；如果原始影象反差为0.9，要降低到0.65就需要有0.25反差的黑白正模片。

（3）反差调整模片的制作。在确定好模片反差大小要求之后，如何确保制作出来的模片能满足要求是个关键问题，有时需经反复试验才能实现。在模片制作时，首先要控制印象机或放大机的光强及拷贝片的曝光量，以使拷贝影象的灰雾度尽可能小，这对处理彩色胶片影象尤为重要。接着，可以按照如图2.2所述方法确定的显影时间-温度曲线，选择模片的处理条件进行处理。当模片制作出后，需用密度计进行测量以检查它是否合乎需要。如果不符，需不断改变显影时间或温度，调整模片的反差直至得到所需数值为止。

为了使模片和母片的叠合不致太困难，对模片影象的清晰度要求不一定很高。在制作时降低模片影象的清晰度可采用下述方法：

（a）在原始影象及拷贝胶片之间夹入一张无色透明薄片。由于母片和模片之间有一定距离，在曝光显影之后，模片影象就不会太清晰。

（b）在模片曝光过程中，把印象夹放在放大机光源照射范围里，作有规则的转动，使

拷贝模片上接受的影象稍有扩散；

此外，经过冲洗的模片，最好在暗室里自然晾干，也可以用吹风箱吹干。但千万不要用热风吹干，它会使模片收缩变形，无法和母片（或其它模片）精确地重叠在一起使用。

（4）模片和母片的叠掩和固定。模片冲洗和干燥之后，要把它叠掩固定在母片或其它模片上，用于印象和放大。模片的叠掩最好在透光台上进行。先将透明胶纸剪成小条贴在玻璃上，然后做好清洁工作。将一模片药膜面向上放在透光台上，再将母片（或其它模片）药膜面向下叠置其上。然后，慢慢移动母片(或其它模片)，使它们逐渐对准叠合。一般来说，可先对准一处，用透明胶纸固定一处；再慢慢移动对准别处，再予固定。一直到全部对准固定为止。在作业时，最好戴手套同时使透明胶纸粘在片子的边上，以免把片子搞脏了。

图版1和图版2分别是利用相关掩模处理技术，进行反差增强和反差减弱处理的实例。在图版1中，（a）是蓝光谱段的多光谱摄影象片，由于大气散射的影响，其影象反差较小。利用这种影象胶片进行彩色合成处理及分析判读均不理想，它们只有经过反差增强处理之后才能有所改善。（b）是经过反差增强处理之后的象片，影象的反差显然有所增大，同时各种地物在密度上的差异较前加大，易于分析判读了。相反，在图版2中，（a）是红光谱段的多光谱摄影象片，它和图版1（a）同时拍摄而得。在这一象片上，由于影象反差较大，强光区（象片的中上部）地物影象细节损失很多，不利于分析判读。但是经过相关掩模影象反差减弱处理之后，情况就有明显好转，如图版2（b）。上述强光区影象的细节显示得很好，而且中间密度等级也得到了补充。

3.2 彩色合成

在2.3节中，我们从相关掩模处理结果显示的角度，较详细地介绍了彩色合成(或混合)的规律以及制定配色方案时的一些粗浅的经验。从某种意义上看，我们可以认为彩色合成是各种相关掩模处理方法的一个不可分割的组成部分；反过来，也可以认为这些方法，如黑白发色、等照度变换等均属彩色合成处理范畴之列，只不过是供合成用的模片经过了不同变换和预处理而已。因而，对于它似乎没有必要多加以说明。其实不然。利用多光谱影象，特别是经过相关掩模处理的多光谱模片，进行彩色合成处理本身就是一种独立的相关掩模处理方法，在许多领域中已得到极为广泛的应用。对它们的讨论绝不是单独地说明彩色混合规律及配色方案等就可以解决的，而有其自己一系列的特殊问题。如，彩色合成最佳光谱段影象-滤光片（或染料）组合的选择、所用模片反差调整的要求以及在多光谱遥感技术中的作用等，都有待研究解决。为此我们专门讨论如下。

多光谱遥感技术利用多个窄光谱段扫描通道（或照像机）同时记录地面景象的反射辐射（也包括部分热辐射）特性，不仅扩大了常规航空摄影覆盖的光谱段范围，也较常规摄影能更详细、有效地记录各种物体光谱特性的差异，从而提高了对各种物体的识别能力，更好地适应高空，乃至空间轨道高度的需要。由于在这个过程中，物体的光谱特性（或彩色）经分解之后，分别记录在磁带或多张黑白胶片影象上，这就给分析判读人员的工作带来了许多困难。最主要的是人们无法按照常规目视判读方法充分而有效地利用这些数量众多的数据。为此，首先发展了多光谱影象彩色合成技术，使人们能通过彩色利用多个（一般为3—4个）光谱段影象中的有效信息，提高了鉴别物体的能力。特别是，通过不断选择改变合成时的光谱段

影象-滤光片（或染料）的组合方案，可以获得良好的彩色影象增强效果，其优点就表现得更为突出了。关于这两种利用多光谱遥感技术探测地面各种物体的对立统一过程，可以用图3.1（1）形象地表示出来。由于彩色分解是在数据获取过程中出现的，在此我们不去更多论及；而彩色合成与分析判读关系密切，需要进一步研究。

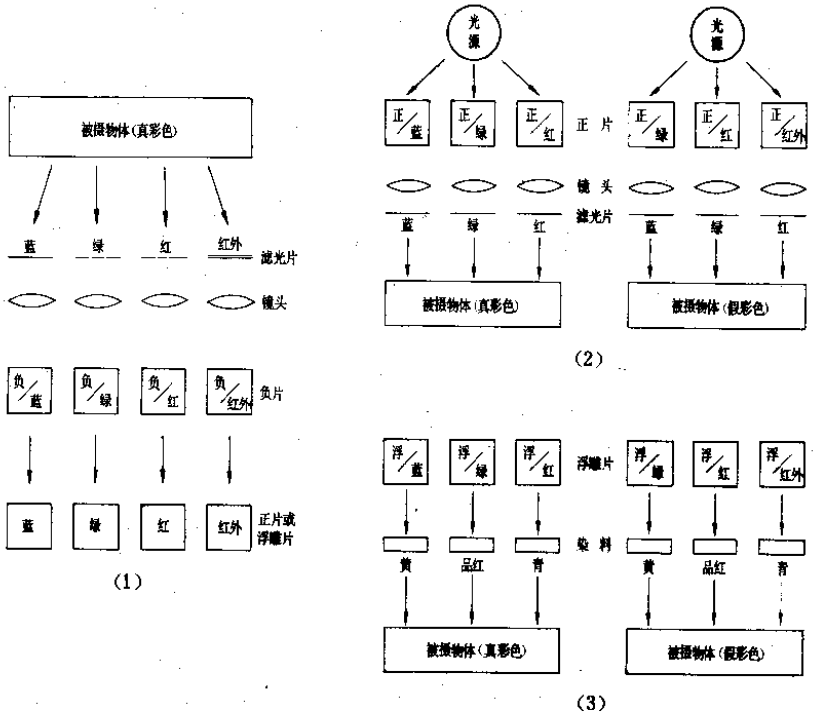
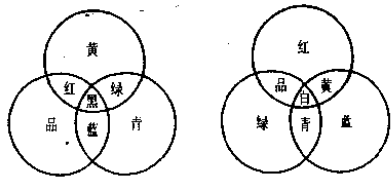


图 3.1 多光谱遥感中的彩色分解与彩色合成

如前所述，多光谱影象的彩色合成可以用彩色合成仪通过加色法实现如图3.1（2）所示；也可以用彩色染印法通过减色法完成如图3.1（3）所示。这两种方法分别使用红、绿、蓝加色三原色和青、品、黄减色三原色，它们的混色规律如图3.2所示。由于在混色过程中，某种色光透过多及该色光从白光中减去少（或透过少及减去多）具有相同的彩色效果。例如，对加色法来说，在红投影通道中的某目标的A光谱段影象密度很小，相应透过红光很多；而在蓝、绿通道中该目标的B，C光谱段影象密度很大，相应透过蓝、绿光分别都很少，这样，在合成仪屏幕上该目标具有红色影象。同样，对减色法来说，A光谱段影象用青染料显示且其密度很小，即从白光中减去的红色光很少；而B，C光谱段分别用另外两种染料显示且具有较大密度，即从白光中分别减去蓝、绿色光较多，结果在彩色染印合成影象上，该目标同样具有红色影象。因而，我们可以说，在两种合成方法中的光谱段影象-滤光片组合与光谱段影象-染料组合之间有一定的对应关系。具体地说，当光谱段影象的排列（或使用的投影通道）

不变时，令红滤光片与青染料、绿滤光片与品红染料、蓝绿光片与黄染料对应（也包括色光强度与染料浓度相应的比例关系一致），即可获得类似的彩色合成显示效果。这样我们就可把加色法的组合方案变换为减色法的方案，反之亦然。例如图 3.1 中给出的两种方法的组合就是彼此对应的。由于存在这种对应关系，我们可以用较简单的加色法来讨论这个问题，然后把它的结果变换为减色法相应的组合方案，从而使问题简化（注意：这种变换是，也只能是近似的）。



(a) 减法混色　　(b) 加法混色

图 3.2　加色法与减色法的混合规律

在进行彩色合成处理时，对于不同的研究对象和任务来说，其最佳光谱段影象-滤光片组合往往是不同的。在选择确定最佳组合方案时，我们可以通过试验的方法，也可以通过计算的方法来实现。前者可以通过在合成仪上不断改变光谱段影象-滤光片组合，从中选出一组最佳方案。后者可以把该目标和背景的多光谱影象（正片）密度测量出来，分别代入我们导出的加色合成影象色度计算公式(3-1)、(3-2)、求出它们的色坐标，然后在 CIE 色度图上研究它们的彩色差异。其中差异最大的组合方案，将是最佳的方案。关于式 (3 1) 的导出过程可参看附录Ⅲ，在这里只给出最终的结果，供读者参考。式 (3-1) 给出了根据目标影象密度测量值、投影通道光圈大小以及光谱段影象-滤光片组合计算彩色合成影象三刺激值的计算公式：

$$X=\frac{3062.41}{(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{792.04}{(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{129.80}{(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c}$$

$$Y=\frac{1445.64}{(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{1600.71}{(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{35.44}{(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c}$$

$$Z=\frac{0.83}{(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{241.95}{(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{722.74}{(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c} \qquad (3\text{-}1)$$

其中，f_1^*、f_2^* 和 f_3^* 分别代表红滤光片通道、绿滤光片通道以及蓝绿光片通过的光圈数；D_a，D_b 和 D_c 分别是红、绿和蓝通道中目标相应的光谱段影象密度，当脚标 a，b，c 分别代表不同光谱段编号时，它将表示合成影象为不同光谱段影象-滤光片组合的产物。

在不同组合情况下，目标与背景的彩色合成影象的三刺激值计算出来之后，可按式(3-2)计算其相应的色片标：

$$X=\frac{X}{X+Y+Z}$$

$$Y=\frac{Y}{X+Y+Z} \qquad (3\text{-}2)$$

应该指出：在 CIE 色度图上，由于彩色椭圆形宽容量范围在不同部位上大小不一致，往往容易造成对彩色差异大小判断上的错觉，从而采用均匀色度标尺图更好一些。这两种表色系统之间的变换关系可由有关的色度学书上查到。

对合成用的多光谱影象进行反差调整，在很多情况下是十分必要的。特别是，当原始影象质量较差（灰雾度大、反差小）以及各光谱段影象的曝光水平在摄影时经过自动曝光量调

整而且彼此相近时，这种调整处理大为必要。如何调整，往往需要根据原始影象的反差大小、灰雾度以及研究对象的辐射特性差异，经过反复试验的方法确定。就一般情况来说，可按下述原则进行调整。由于蓝光谱影象受大气散射影响严重，其灰雾度较大、反差较小，往往需要反差增强；红光谱段影象本身的反差均较大，往往不需要反差调整，或者为了使强光区影象细节得以清晰显示，需要进行适当的反差减弱处理；近红外光谱段影象最好进行反差增强处理，以使植被和水体等的影象差异进一步强化，因为在正片上植被影象是较透明的，而水体是较不透明的。图版27和图版28分别给出洞庭湖地区的减色法彩色合成图象及用经过反差调整处理的模片合成出来的图象。不难看出，利用上述经过反差调整处理的多光谱模片进行彩色合成，显然将会获得较丰富的彩色显示，各种目标的彩色差异变大，而有利于分析判读。

3.3 等照度变换

各种物体具有不同的电磁波辐射特性(或彩色)，因而在分光谱段记录物体辐射特性的多光谱影象中，不同物体相应也会有不同的影象密度组合关系。这种关系在均匀光照条件下得到最好的显示，如平原地区即如此。但是，由于地形的坡向、坡度以及它们的起伏变化，还有各种阴影的影响，在自然界中不可避免地存在局部光照水准的差异，例如山区北坡光照弱，南坡光照强；非阴影区光照强，阴影区光照弱等。这种局部光照水准的差异，往往会不同程度地叠加在物体光谱辐射特性上。它们有时掩盖了不同物体影象密度之间的差别，有时又扩大了同种物体影象密度之间的差异，使物体在影象上的密度差异变得似乎无规律可循。鉴于这种情况，为了突出各种有色物体本身的电磁波辐射特性及彼此之间的差异，必须设法从影象上消除局部光照水准的影响及无色物体的密度变化。这一要求可以采用等照度变换处理实现。

为了说明这种处理方法的过程和原理[5]，在图3.3中给出了一组多光谱负片影象的假想特性曲线。图中X轴表示物体构象的对数光照强度或曝光量(即$\log E$)，Y轴相应于该物体的影象密度。红、绿、蓝三个光谱段影象的曲线具有相同的γ值，因而黑、灰、白色的三个物体在各光谱段影象上的密度将是相等的。假定，某物体具有彩色，并以字母"O"在X轴上标出，那么它在各光谱段上的物象光照强度也将是不同的。该物体"O"在三个光谱段影象中的密度分别以D_1^O、D_2^O和D_3^O表示。

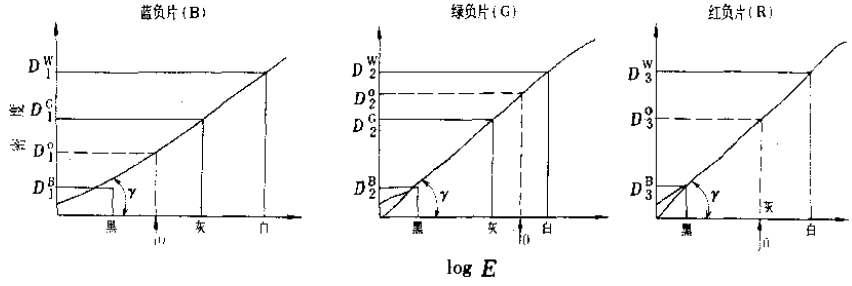


图 3.3 红、绿、蓝光谱段负片影象的特性曲线

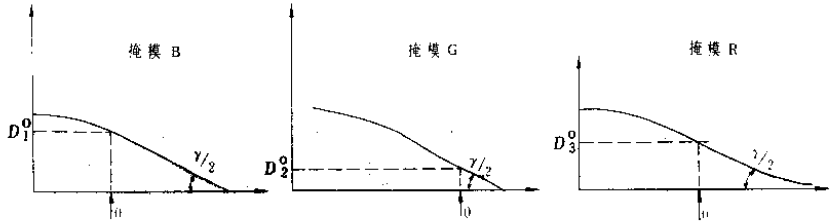


图 3.4 负片影象 γ 模片的特性曲线

在等照度变换处理时，首先要检查各光谱段负片的特性曲线，确定它们的直线段部分。然后在影象中选择两个灰色或无色的目标，其中一个目标在强光区，具有最大密度 D_{max}，另一个在阴影区，具有最小的密度值 D_{min}；同时，应使 D_{max} 和 D_{min} 均落在特性曲线的直线段（或宽容度范围）内。在这两个条件得以满足的情况下，D_{max} 和 D_{min} 不仅代表了在最终处理影象中具有相同照度数值的母片密度范围，同时也使在这一范围内的各种目标影象的密度和相应的 $\log E$ 之间保持一种线性关系。由于我们选择的目标是无色或灰色的，而且各光谱段影象的特性曲线具相同的 γ 值，因而在不同光谱段影象上，具有不同深浅（或反射率）的灰色目标，其影象密度值的大小虽然受到局部光照水准的影响有所变化，但是在不同光谱段影象上的任何一种物体本身的影象密度彼此应是完全相同的。否则，所选择的目标以及自然界中无色目标在合成影象上就不可能是无色或灰色，而这种情况是不允许的。当然，在很多情况下，原始摄影多光谱负片对上述要求不可能很好地满足。这时要想获得理想的处理结果，用以进行等照度变换处理的母片首先必须经过一定的调整处理。在模片制作或母片调整过程中，最好在各光谱段影象的旁边（或下边）引入密度范围与上述影象 D_{max} 和 D_{min} 严格匹配的中性密度光楔。由于该光楔影象引入后，将与多光谱模片影象经历相同的处理过程，经受相同的处理条件和环境因素的影响。因而，不仅便于监控各模片制作的质量，而且也可以从其上直接测得能表征该多光谱影象的特征数据，如 D_{max}，D_{min} 以及 γ 值等，使测量工作大为简化。

接着，要具体制作各光谱段影象的正模片。这种模片的 γ 值要求为母片（负片）γ 值的一半，即为半 γ 正片，如图 3.4 所示。这种模片的密度变化范围(或反差)应是母片的50%。但是，实际制作出来的模片是否能满足上述要求，除可以测量相同光谱段正模片上的光楔影象密度加以检查而外，还可以同一光谱段的两张正模片（模片的 γ 值应大体相同）精确地重叠起来，而后与该光谱段负片配准。如果这三张模片配准的结果，使图面上的影象完全消失，呈现为均一的灰色调的话，我们可以认为这两张正模片为合格的半 γ 模片；如果配准的结果，不能使画面上的影象完全消失时，这些模片尚需进一步制作，一直到满足要求时为止。由于处理条件的严格控制比较困难，合格的模片往往需要反复试验才能获得。

多光谱段的负片和半 γ 正片制作出来以后，可以按图 3.5 的方案组合。每个光谱段的负片将和另两个光谱段的半 γ 正片重叠，构成一个新的组合模片，供彩色合成用。三个光谱段的组合模片的密度特性曲线在图 3.6 中给出。对于任意处在原始负片特性曲线直线段上的无色或灰色物体而言，在这种组合模片上它们具有相同的密度值，在图中表示为一条与 X 轴平

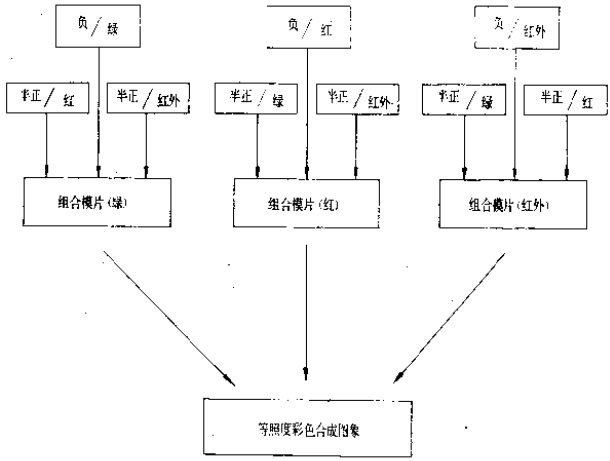


图 3.5 等照度变换的模片组合方案

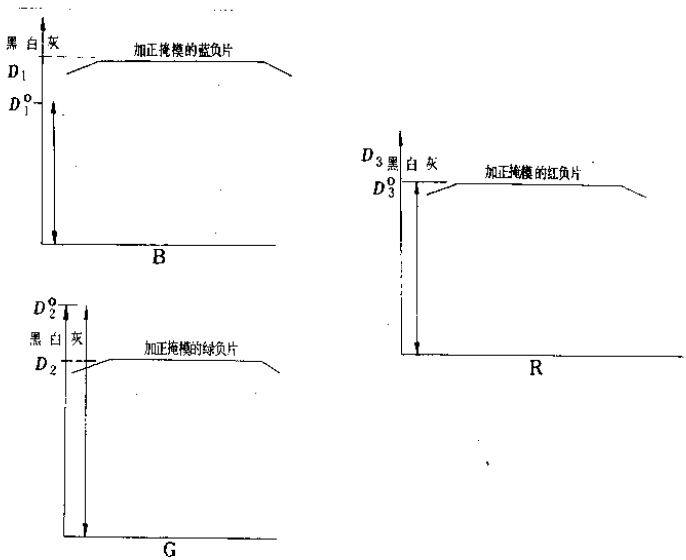


图 3.6 三个组合模片的影象密度特性

行的水平线，而且在三个光谱段中这种平行线具有大致相同的密度值，因而在合成影象上它们为具有同一密度的灰色影象。但是，有色物体O的密度，在三个组合模片上是不同的，在图中以箭头线的长短表示，因而在合成时呈现为彩色影象。

为了进一步说明上述现象或等照度变换处理的原理，我们具体地来讨论分别处于景象强光区和阴影区里的灰色物体和有色物体的情况。也就是说，我们人为地把景象中的灰色物体和有色物体分开，用图解的方法分别讨论他们在强光区和阴影区的多光谱影象，经过上述处理之后最终将得到何种结果以及是如何得到这种结果的。对这两种物体的情况分别可以用图3.7和图3.8说明。在这两个图中，ab和cd曲线分别是负片和半 y 模片的特性曲线。根据前面叙述的要求，它们对不同的光谱段而言，都是适用的。或者说，各光谱段影象及其模片的特性都是同一的，如图中曲线ab，cd所示。

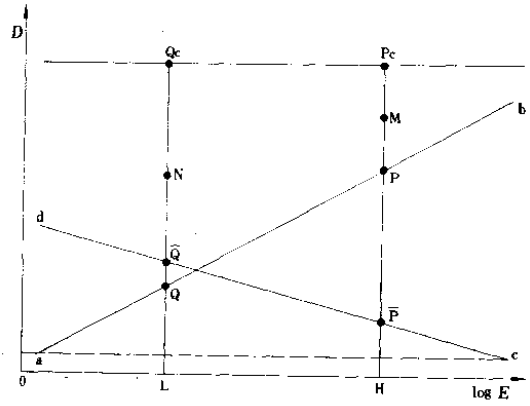


图 3.7　灰色物体等照度变换示意图

在图3.7中，假定有两个灰色物体P和Q分别落在负片影象特性曲线的直线段上，由于P的反射率较高，Q的较低，因而$D_P > D_Q$。两个物体在半 y 模片特性曲线上的位置分别是$\overline{P}$和$\overline{Q}$，相应的密度为$D_{\bar{P}}$和$D_{\bar{Q}}$。注意，在图中上述各密度值均可用相应的线段长度表征，例如线段HP表示D_P，$H\overline{P}$表示$D_{\bar{P}}$，如此等等。如前所述，在组合模片时需用一个光谱段的负片和其余两个光谱段的半 y 正模片叠加在一起。在图上就等于代表某个光谱段灰色物体负片影象的线段与代表其余两个光谱段半 y 正模片相应密度的线段相加的结果。

对高反射率灰色物体P而言，组合模片的密度为D_{Pc}，相应的线段长度为HP_c。由图上不难看出：

$$HP_c = HP + PM + MD_c = HP + 2H\overline{P}$$

该物体的组合模片密度

$$D_{PC} = D_P + 2D_{\bar{P}}$$

对低反射率灰色物体Q有：

$$LQ_c = LQ + QN + NQ_C = LQ + 2L\overline{Q}$$

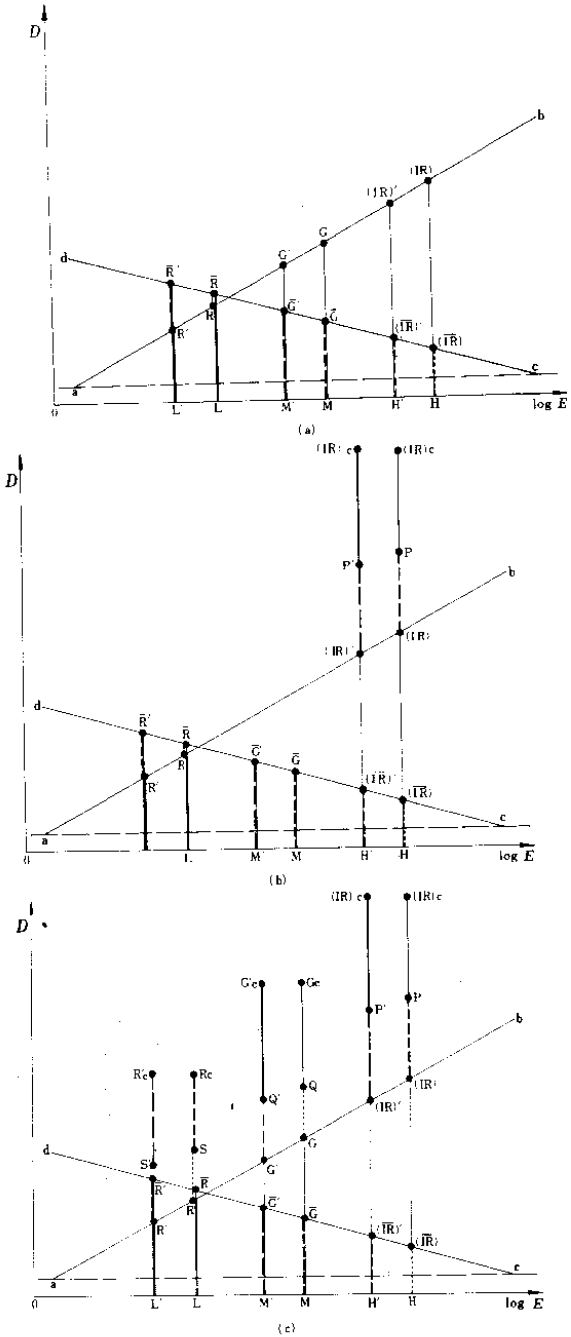


图 3.8　有色物体等照度变换示意图

$$D_{Qc} = D_Q + 2D_{\bar{Q}}$$

由于上述模片叠加的结果，在图上显然有：$LQ_c = HP_c$，即 $D_{Qc} = D_{Pc}$。也就是说，具有不同反射率的灰色物体，尽管它们在各光谱段负片影象上有不同的密度值，但是经过这种处理之后，在组合模片上均具有相同的密度值(或构象照度)。此时，这种组合模片变成了等密度模片。同理，可以说明其余两个光谱段的负片影象，经过上述处理亦变为等密度模片，而且它们在密度值上也是彼此相等，因而在最终彩色合成影象上具有不同反射率的灰色物体将具有同样密度的灰色影象。

在图 3.8 中给出了有色物体经过这种变换处理的结果。在该图的(a)中，(IR)，R，G 和(IR)′，R′，G′ 分别代表某个有色物体（如植物）在强光区和阴影区的近红外、红和绿三个光谱段负片影象特性曲线（ab）上的位置。它们相应的密度值是 $D_{(IR)}$、D_R、D_G 和 $D_{(IR)'}$、$D_{R'}$，$D_{G'}$。该物体在相应的半 γ 正模片特性曲线(cd)上的位置分别是($\overline{IR}$)，$\overline{R}$，$\overline{G}$ 和($\overline{IR}$)′，$\overline{R}'$，$\overline{G}'$，密度值分别是 $D_{\overline{IR}}$，$D_{\overline{R}}$，$D_{\overline{G}}$ 和 $D_{(\overline{IR})'}$，$D_{\overline{R}'}$，$D_{\overline{G}'}$。它们的密度值相应也可以用图上的线段长度表示。当不同的正、负模片组合时，它们的组合模片密度可以用相应线段之和的总长度来表征。下面，我们分别讨论不同光谱段负片影象经过这种处理之后得到的结果。

近红外光谱段负片影象需和另外两个光谱段（红和绿）的半 γ 正模片叠加，得到一张组合模片，如图3.8(b)所示。在组合模片上，该物体在强光区和阴影区的影象密度分别为 $D_{(IR)_c}$ 和 $D_{(IR)'_c}$。在图(b)中它们分别以线段 $H_{(IR)_c}$ 和 $H_{(IR)'_c}$ 表示。对强光区而言，因为 $(IR)P = M\overline{G}$，$P(IR)_c = L\overline{R}$，则：

$$H(IR)_c = H(IR) + (IR)P + P(IR)_c = H(IR) + M\overline{G} + L\overline{R}$$

即：

$$D_{(IR)_c} = D_{(IR)} + D_{\overline{G}} + D_{\overline{R}}$$

对阴影区而言，因为 $(IR)'P' = M'G'$，$P(IR)'_c = L'\overline{R}'$

则：

$$H(IR)'_c = H'(IR)' + (IR)'P' + P'(IR)'_c = H'(IR)' + M'\overline{G}' + L'\overline{R}'$$

即：

$$D_{(IR)'_c} = D_{(IR)'} + D_{\overline{G}'} + D_{\overline{R}'}$$

由图中不难看出 $H(IR)_c = H'(IR)'_c$，即 $D_{(IR)_c} = D_{(IR)'_c}$。这表明，该有色物体虽分处强光区和阴影区，受到局部光照水准的影响，在近红外光谱段负片影象上具有不同的密度值，但经过处理之后，消除了局部光照水准的影响，在组合模片上具有了相同的密度值。

同理，在图（c）中可以证明：该物体在红光谱段组合模片影象上有：$LR_c = L'R'_c$，$D_{Rc} = D_{R'_c}$；在绿光谱段组合模片上有：$MG_c = M'G'_c$，$D_{Gc} = D_{G'_c}$。也就是说，该物体分别在红、绿光谱段组合模片上，无论是在强光区还是在阴影区都具有相同的密度值，或在图(c)中具有相同的线段长度。因此，局部光照水准差异的影响已被消除，该物体在整个影象中具有相同的照度。

由于有色物体在不同光谱段里的反射率是不同的，因而在不同光谱段负片影象上有着不同的密度值。相应地，该物体在同光谱段的影象在负片特性曲线及半 γ 正模片特性曲线上的位置也是不同的。各个光谱段负片影象分别经过上述处理，表征该物体在各组合模片上的密度的线段长度也不同的，如图 3.8(c) 所示。当我们利用上述消除了局部光照水准差异影响

的三个组合模片进行彩色合成时，该有色物体的合成影象无论在强光区还是在阴影区里，将具有同样的彩色显示，而且其彩色将取决于该物体的光谱特性或在三个光谱段负片上其影象密度之间的差异。因此，对于具有不同光谱特性的有色物体而言，在三张组合模片上，它们影象密度的组合关系彼此之间将是不相同的。经过彩色合成处理，在最终合成影象上将有不同的彩色显示。也就是说，这种处理只消除局部光照水准的差异，而不会消除物体在反射特性上固有的差异。但是，应该指出的是，文中所谓的局部光照水准的差异仅指其强度上的变化，而没有涉及其光谱成分上的变化。如果考虑后者的影响，由于它将会改变物体在不同光谱段负片影象上的密度组合关系，情况将变得十分复杂，在此就不予讨论了。

根据上述原理和方法，对一张火山锥的航空多光谱象片进行了等照度变换处理（见图版3）。经过处理之后，火山口阴坡的植被得到了和阳坡的植被同样良好的彩色显示。同时，平地植被区里的树冠阴影等也得以消除。

综上所述，等照度变换处理在多光谱影象的分析判读过程中是很有意义的一种处理方法。它不仅能消除一般地形造成的局部光照水准差异的影响，使判读人员能更好地分析各种物体的彩色差异，特别是一些较微细的彩色差异，而且还能使判读人员对阴影区里的有色物体加以研究，恢复其本来的真面目。这就为准确地从色度学的角度，来研究自然现象中的色异常创造了较好的条件。

3.4 黑白发色

人眼对彩色差异的分辨能力远远高于对黑白密度变化的分辨能力，这是众所周知的事实。因此，如果能把黑白图象变换为彩色图象的话，黑白图象中细微而重要的影象密度变化就可以用不同的彩色来显示。这样，就有可能大大提高分析判读人员对各种目标的识别能力，获得较高质量的判读结果。由黑白影象到彩色图象的变换，对于黑白多光谱影象而言，可以通过彩色合成的办法很容易实现。特别是不断改变光谱段影象和滤光片的组合方案，还可以获得常规彩色摄影无法取得的一些影象增强效果。关于这方面的问题，我们在3.2节中已有说明。但是，要想把单张黑白影象变换为彩色图象，即黑白发色，则和多光谱摄影-彩色合成的原理完全是两回事。在这里，要充分利用胶片的感光特性以及色度学的规律，对原始黑白遥感影象进行一系列相关掩模处理方能奏效。黑白遥感影象发色处理，不仅有助于判读识别，而且有很大经济上的意义。特别是，我国目前已有大量黑白航空象片，它们在有关的遥感应用领域中尚未得到充分的利用。这种技术的发展，将有助于充分发挥现有黑白航空象片的作用，为国家节省大量资金。

为了说明单张黑白影象如何经过处理变成彩色图象的原理，我们给出图3.9。假定，一张黑白遥感影象(它可以是全色航空摄影影象、单张多光谱影象、黑白红外影象或雷达影象)，经过拷贝产生三张模片：$a'b'c'$，$a''b''c''$ 和 $a'''b'''c'''$。这三张模片的影象密度特性曲线具有图中所示的四种基本情况：

（1）三张模片具有相同的特性曲线，如图3.9(a)所示。在这种情况下，任一物体分别在三张模片上的影象密度都是相同的。因此，不论采用加色法或减色法处理，结果均不能获得一张彩色合成图象。相反，所得到的仍然是一张深浅不同的黑白图象。之所以如此，是因为三张模片上任一同名点均具有相同的密度值，在合成时只能有相等数量的三原色光透过

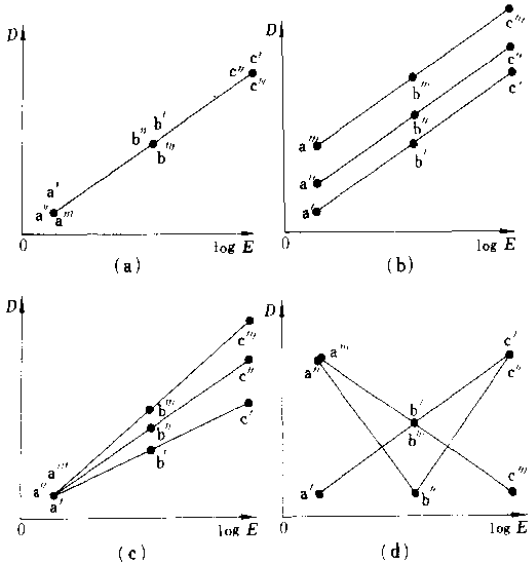


图 3.9 黑白发色处理模片特性的选择

它们，并在屏幕上相混，产生中性灰色调所致。

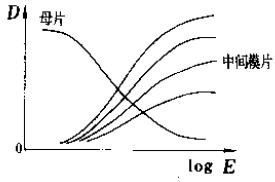
（2）三张模片具有相同的反差系数，但彼此的基准密度不同（如图3.9(b)表现为一组等斜率的平行线）。在这种情况下，任一物体在三张模片上的影象密度值彼此是等差的，也就是说在任何同名点处它们的透过率呈固定比例。因此，在彩色合成处理时，我们可以获得具有某种单一色调(或色相)、深浅不同的彩色图象。这时，该彩色图象的色相和饱和度等参数主要取决于三张模片基准密度之间的差值或相应透过率的比例。由于在每一同名点上三张模片透过率的比例都是相同的，相应透过的三原色光的比例也是相同的，故而整个画面呈现为深浅不同、色调单一的彩色图象。

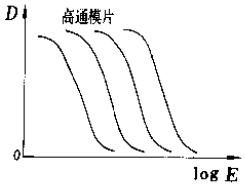
（3）三张模片具有相同的基准密度，但反差系数彼此不同，如图3.9(c)所示。在这种情况下，三张模片同名点影象透过率的比例关系将随 $\log E$ 而变化。对图示模片特性来说，曝光量最小处的模片影象透过率比例数为1，而后随 $\log E$ 加大而逐渐加大。这种变化意味着曝光量小的影象部分趋于灰色一黑色；而曝光量大的部分获得相应彩色显示。但是，从整个影象来看，由于各模片同名点影象透过率的比例数不可能很大，因而其合成影象的色差范围较小，效果也不会很好。

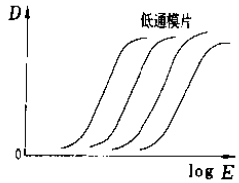
（4）三张模片的特性，无论在基准密度还是反差系数方面均有较大的差异，因而不同物体（或 $\log E$）在三张模片上的影象透过率之间的比例关系变化亦较显著（如图3.9(d)所示），这样最终合成影象将有丰富的彩色显示。经验表明，随着 $\log E$ 的变化，相应物体影象密度的差异或透过率的比例数变化越大，彩色显示越丰富，效果也越好。

由上述分析表明，在黑白发色处理过程中，第四种模片组合将获得最好的彩色显示效果。

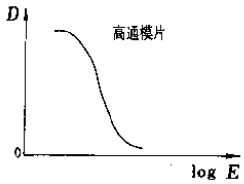
Ⅰ 模片制备

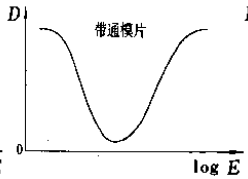


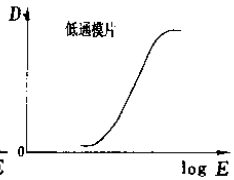




Ⅱ 模片选择和组合







Ⅲ 彩色合成

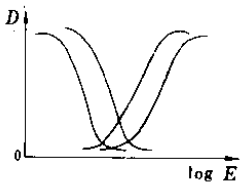


图 3.10　黑白发色处理流程

为了获得这种模片组合，我们可以采用如图3.10所示的处理步骤。第一步，模片制备；第二步，模片选择和组合，这要根据处理目的、要求以及具体影象特征而定；第三步，彩色合成，相应于母片上任一影象的彩色显示，需取决于相应的三个模片影象密度差异或透过率之比例，以及模片-滤光片（或染料）的组合关系。

为了具体说明上述问题，我们选择了洞庭湖地区E-2464-02165幅LANDSAT MSS 7影象进行黑白发色处理。在处理时，我们制作了三张不同的模片，其特性如图3.11所示，与图3.9（d）相近似。用这三张模片进行彩色染印处理，获得图版31的假彩色图象，和该光谱段的黑白片影象图版30相比，丰富的色彩显示使该地区的植被、水体、低湿地、旱地以及山地等土地利用类型的分析判读变得更容易了。但是，这种处理方法也有缺陷，例如图版31中云盖及植被的影象均为红色，而无法根据彩色这一特征区分。类似情况，在用这种方法处理的其它图象上也会有。因此，在对它们进行分析判读的时候，就要特别注意避免判读上的错误。

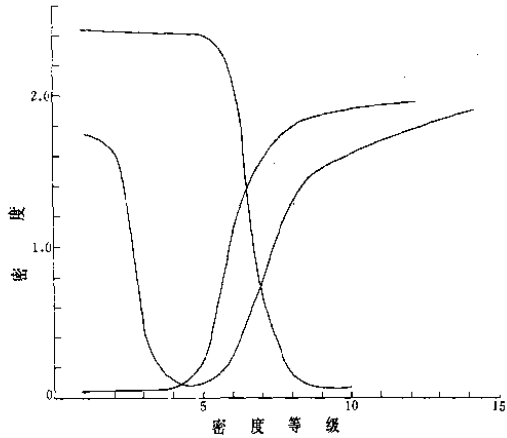


图 3.11 洞庭湖黑白发色处理模片特性曲线

3.5 密度分割

“影象密度”是遥感影象，特别是多光谱影象分析研究的基本对象。不同类型的遥感影象对应着地面不同的物理量。例如：在全色黑白影象中，密度和物体的总反射能量（在胶片感光波长范围内）相关；在多光谱影象中，密度和物体的光谱段反射特性（或能量）相关；在热红外影象中，密度和物体的热辐射特性（或能量）相关；在侧视雷达影象中，密度则与物体后向散射的强度密切相关。由于不同物体在电磁波谱辐射特性上有差异，这种差异必然会反映到物体的遥感影象密度上来，在某个或某几个光谱段的影象上得到格外显著的表现。这时不同物体在遥感影象上将有不同的密度值或密度组合关系。这些就成为我们赖以鉴别不同物体的根据。当我们探测的对象或物理量和影象密度之间的对应关系较好，同时它们的背景影象比较单调时，应用密度分割处理方法极为有利，往往容易收到良好的处理效果。例如：

在单调的水体背景上研究泥沙含量分布及运动、热力污染以及海水中的淡水泉等即如此。但是，在自然界中，这种良好的对应关系并不是到处都有的，特别是陆地上背景影象比较复杂，因而在很大程度上限制了这种方法应用的范围和有效性。例如，一棵树或一座房屋，阴面与阳面的密度相差甚多，用密度分割方法处理，显然不会获得良好的显示效果。当然，并不是此种方法对陆地上各种影象的分析毫无用处，而只是相对上述理想情况而言，其处理效果要差一些罢了。事实上，我们在第四章中将要举例说明，用这种方法处理背景复杂的陆地影象，在某种情况下，同样可以获得良好的效果。

对遥感影象进行密度分割处理，除使用计算机而外，目前大多数单位和部门都采用专门研制的光学-电子学或光学-机械装置，如彩色密度分割仪、等密度制图仪等等。由于这些设备比较昂贵，不是所有地区和部门都能装备的，因而在一定程度上限制了这种方法的推广应用。为了改变这种状况，我们从模片特征和叠掩规律出发，研制了一种简易的相关掩模密度分割技术。它和以往的技术比较，除了不需要复杂、贵重的仪器设备而外，还有如下优点：第一，最终获得的彩色密度分割图象平面变形小。在使用密度分割仪时，最终彩色密度分割图象必须使用照相机由电视屏上摄取下来，由于电视屏为一凸面，影象将发生严重畸变；而相关掩模处理可用原始影象直接制作模片染印而得，避免了上述缺陷；第二，相关掩模密度分割图象具有较高的空间分辨率，各密度层彩色显示具有渐变的特点，而密度分割仪获得的图象往往受显象管分辨率的影响，一般来说不高，同时由于经过数字化处理，各密度层的边界为突变者。当阈值密度（各密度层的临界密度值）选择不当时，往往会破坏原始影象的结构和完整性；第三，可以把多个光谱段影象密度分割的结果，按区域分布叠加在一起，取长补短，获得一张综合的彩色密度分割图象。这样，经过多个光谱段信息综合的密度分割图象，将能更全面、细微地反映客观实际情况和规律，获得更为明确的分析判读结果。相反，一般的密度分割仪仅能处理单张影象，要想获得这种光谱段综合的效果是不可能的。当然，也应指出，这种技术多系手工操作，不如使用仪器处理速度快，这是它的主要缺陷。

利用相关掩模进行遥感影象密度分割的工作原理，可以从第二章各种模片的特性和制作过程来看。首先，我们知道利用具有不同阈值密度的高、低通模片，经过适当组合和叠掩，可以构成具有一定带通特性的模片。这种模片可以把母片上高、低阈值密度范围里的密度层分割出来。当不断改变高、低阈值密度的数值时，可将相应的中间密度层一一分割出来。其次，具有不同阈值密度的高、低通模片也可以用来直接分割遥感影象高、低端的影象密度层。当把具有不同阈值密度的几张高或低通模片，分别用不同染料染色套印在一起时，由于各模片阈值密度不同，它们相应的通光影象部分的面积或范围也将不同，因而在图象上不同的部分将经过不同染料及不同次数的套印，从而获得不同的彩色显示。利用这种办法，可以把两个或多个高通或低通模片阈值密度之间的密度层分别抽取出来。例如，有三张高通模片叠掩染印(如图3.12所示)。对通光面积最小的模片A来说，其通光影象部分对应的密度层，在最终分割图象上的彩色将是三个模片染色合成的结果；对于中等通光面积的模片B来说，其通光影象部分对应的密度层，在最终密度分割图象上将由两部分组成，一部分与模片A的通光范围一致，由三色合成；一部分对应于模片B和A通光范围之差，代表着模片A与B阈值密度之间的密度层($D_{OA}-D_{OB}$)，由二色合成；对于通光面积最大的模片C来说，其通光部分对应的密度层，在最终分割的彩色图象上，将由三部分组成；除前述两部分外，还有对应于($|D_{OB}-D_{OC}|$) 的影象密度层（即B，C模片阈值密度差）的部分，由模片C本身染的彩色

表示。这样，原始遥感影象密度高端和低端的密度层便可分割出来。由上述不难看出，当我们把具有不同阈值密度的高、低通模片和带通模片配合起来使用，就可以把整个影象的密度范围一一分割出来了。在具体染色套印的时候，为了获得良好的彩色显示，选择好配色方案

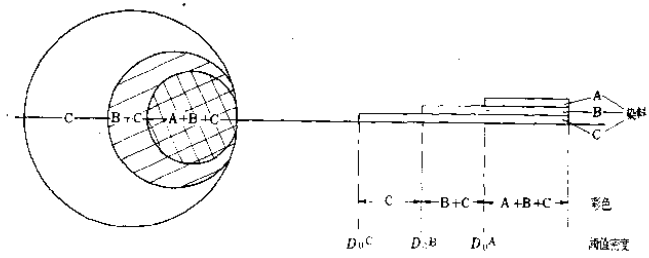


图 3.12 高通模片组合套印实现密度分割的示意图

是重要的，在此过程中有的模片可能要染不同的彩色并进行多次套印。

根据上述原理，我们对渤海湾地区的 Landsat 影象 E -1682-02122 进行了密度分割处理。在处理过程中用 3 六组模片，其中两组为带通模片，四组分别为高通和低通模片，它们的特性曲线，如图3.13所示。此外，在该图中还给出了母片的密度特性曲线。这些模片经过多次染印，最后获得了一张假彩色密度分割图象(图版21)。在该图象上，具有同一种彩色的影象部分，在母片上将具有相同的密度范围。例如，图中芦苇和陡河水库同为红色。相反同一种东西，如果密度不同，将具有不同的彩色显示。这在草泊附近的芦苇地就很清楚，其中一部分是黄色的，一部分是红色的。在渤海湾中，除海水深度变化的影响而外，由于含沙浓度的差异造成的影象密度变化，经假彩色密度分割之后，得到了清晰的显示。这对于研究该地区的泥沙来源、运动、海流动态以及港湾淤积等都是十分有价值的。

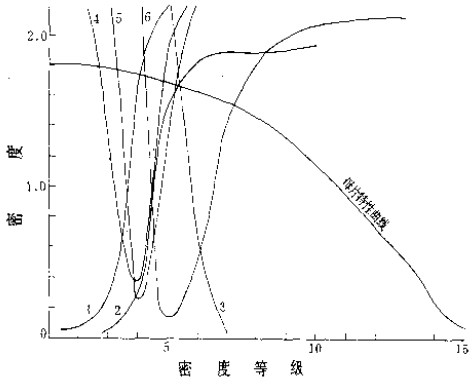


图 3.13 渤海湾卫星象片密度分割处理模片的特性曲线

由于不同光谱段影象对地面物体的响应不同，例如 MSS 4 在海水含沙量小于某个值以下时，其上的影象细节有很好的显示，可以分割出许多密度层；当含沙量大于这个值时，影象

细节就不明显了。对于这些影象部分，我们可以把其它光谱段影象如MSS 6 或 7 拿来进行密度分割，补充MSS 4 的不足。事实上，近红外的两个光谱段对高含沙量的海域有较灵敏的响应。在这些光谱段里，海水含沙量越大，它们接收到的反射能量也就越强。相应地，高含沙量区在负片影象上的密度大，而低含沙量区的密度小。因此，当我们对MSS 6 或 7 影象进行密度分割时，就能把含沙量较高海域的影象细节揭示出来，补充MSS 4 影象密度分割图象的不足。特别是当我们把 MSS 4 和MSS 6 影象密度分割的结果套印在一起之后，就可以获得整个海域含沙量分布及动态的完整概念，给分析判读人员以极大的方便。图版11、图版12和图版13分别给出了我国舟山群岛海区的一般假彩色合成图象、单光谱段彩色密度分割图象以及多光谱段彩色密度分割图象。通过这三种图象的分析比较，密度分割、特别是多光谱段影象密度分割的优越性就显而易见了。

3.6 边界增强

边界在影象中主要表现为密度的突变，它是区分一种物体与另一种物体、一种现象与另一种现象的分界线。在此介绍的相关掩模边界增强处理，将有助于从影象中突出各种各样的界线。这种方法虽能使影象中的各种边界得以增强，但这些增强了的边界，对某个研究任务而言，并不是都有价值的。因而，还要判读人员根据任务要求和专业知识，从各种边界中选出有意义的边界，而把其余的看成干扰信号加以排除。

边界增强处理对模片的主要要求具有：（1）相同的调变密度动态范围(或反差)；（2）符号相反，绝对值相等的反差系数，即它们分别是反差系数相等的正、负模片；（3）相同的基准密度。在制作模片时，前两者是必要条件，第三者可用不同密度的灰片加以补偿。满足边界增强处理要求的模片特性曲线如图 3.14 所示。正负模片分别可用下式描述：

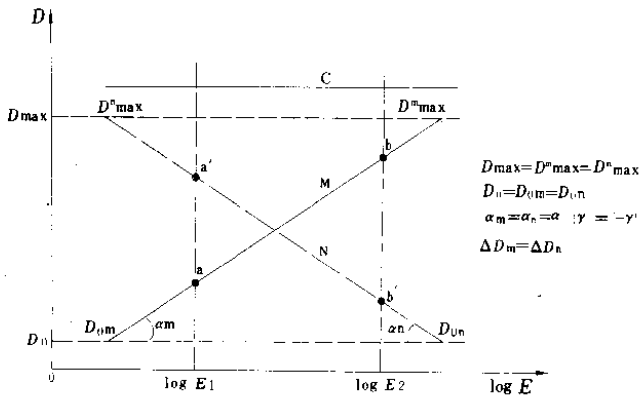


图 3.14 理想正、负模片特性曲线及叠掩结果

负模片 $D=\gamma \log E-K$

正模片 $D'=-\gamma \log E+D_{\max}+K$

因此，当上述正、负模片精确叠加时，在模片密度动态范围内，任一影象的合成模片密度为 $D_c = D + D' = D_{max}$。如果具体地来考察负模片上 a 和 b 两相邻目标的影象及正模片上a′和b′两同名目标的影象时，它们的反差分别可写为：

$$\Delta D_{ab} = \gamma(\log E_1 - \log E_2)$$

$$\Delta D_{a'b} = -\gamma(\log E_1 - \log E_2)$$

这样，在合成模片上相应两物体影象的反差 $\Delta D_c = \Delta D_{ab} + \Delta D_{a'b} = 0$，两目标的影象及边界均消失殆尽。

如果，把上述已精确重叠的正、负模片，沿某个方向彼此相对移动一个微小距离的话，在影象密度突变的地方，就会出现边界增强现象。为了便于说明问题，我们以图3.15中最简单的情况为例。其中（a）和（b）分别给出负、正模片中某个边界处的密度分布曲线，0和0′分别为边界点。当这两个模片精确叠合时，其密度分布曲线如（c）所示，在整个影象范围内，密度均一，影象消失。如果令正模片（0′）向左移动一段微小距离之后，如图3.15（d）所示，在合成模片上相应于该边界的地方出现一个低密度区（00′）。此时，边界呈现为一条亮线。在图3.15（e）中，正片（0′）向右移动一段距离的话，合成模片边界处为一高密度区，边界显示为一条黑线。因而，在这两种情况下，边界均被增强了。在自然界中，许多物体往往有封闭的边界，在增强处理时可以认为是上述两种情况的综合，即沿移动方向，前面的边界为亮线，后面的则为黑线，反之亦然。

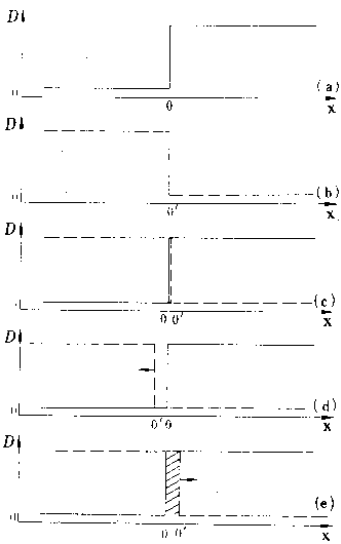


图 3.15　边界增强原理示意图

但是，在处理具体遥感影象时，由于各种实际边界的密度梯度大小不一，因而边界增强的效果亦有差异。为了改变这种情况，在处理时最好首先对模片进行预处理，如反差增强，使边界处有较大的密度梯度，然后再进行叠掩错位处理。此外，影象中的实际边界往往有不同的方向，或者同一条边界方向也会有不同的变化。鉴于这种情况，在采用错位方法边界增强处理时，不同方向的边界将有不同的增强效果。一般来说，与模片相对移动方向平行的边界或某段边界，由于它们在最大密度梯度方向上没有相对位移，而得不到增强；但是，与模片相对移动方向垂直的边界或某段边界，沿最大密度梯度方向有相对最大允许的位移量，将得到最明显的增强。至于那些方向与位移方向斜交的边界，将随着它们与移动方向的夹角大小的变化，得到不同程度的增强。图3.16中给出的三个图式形象地说明了这一点。图中箭头表示模片移动方向，仅有一条实线的边界为未增强的边界，其方向与箭头平行；虚、实两线并列者为增强了的边界，两线的间距表示增强的程度。由于存在上述问题，在分析这种图象时，要特别注意不要忽略了与移动方向平行的那组边界，以致导出错误或不全面的结论。作为改进的方法，一是同时分析两组移动方向彼此垂直的边界增强图象，把对它们分析判读得出的结

果综合起来，互相补充，就会对不同方向的边界得出较全面的认识。另一种办法是把胶片药面相背叠掩好的正、负模片置放于一个快速旋转盘上，并用斜光束作为照明光源使之曝光，这样就可以获得一张在全部方向上均得以边界增强的图象[10]。注意，如果两个模片药膜面紧紧相贴的话，边界增强效果是无法产生的。

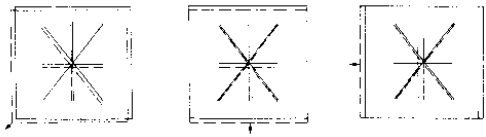


图 3.16 模片移动方向与边界增强效果

利用这种方法，我们对桂北黔东南地区的Landsat MSS 7影象（E-1488-02433-7）进行了边界增强处理(图版22)。它清楚地显示出由于元古代和中生代地壳运动造成的断裂构造格局。西部属于黔中经向构造带的一部分，其他属于江南古陆。NE向压扭性断裂最发育，而且切割了NNE和近EW向的两组断裂。早期近EW向的断裂虽已残缺不全，但在图象上仍清晰可辨，和未经增强的黑白影象相比，易判读性明显改善。但是，也应该指出：图象中各种边界或线性地物均被增强，其中有不少在地质构造的分析研究中是没有意义的，因而要特别注意对它们的鉴别。

3.7 影象相减

对遥感影象分析判读来说，影象的时间变化特性是一个很重要的方面。例如：高山上的积雪和云层，在影象上都表现为白色，形状也都不太规则，有时是不容易区分的。但是，由于云的变化很快；而高山积雪的中心位置变化不大。因此，只要有两次相隔不久的重复摄影影象，就可以很容易把它们鉴别开来。同理，对于许多自然现象的变迁、物体的运动以及目标的变化等等，均可采用重复摄影的办法加以监视。对不同时间获得的影象，当然可以用测量制图的方法分析对比，找出它们变化的规律和数量关系。但是，这种方法较麻烦、费时，不如采用影象相减的办法，把影象中有变化的部分直接而准确地显示出来为好。

利用相关掩模方法进行影象相减处理时，对模片的要求主要有两个方面：其一，要求两张不同时期获得的影象模片，其基本的影象特征必须能够精确地重叠在一起。这一要求对轨道和姿态较稳定的地球资源卫星影象来说并不太困难；但是，对航空遥感影象就较困难，甚至是不可能的事。为此，必须对所用影象进行几何校正和匹配处理，其二，要求所用模片具有相同的密度变化范围、基准密度以及大小相同、符号相反的反差系数，如图3.17(a)所示。

在图3.17中，假定abc为t时间影象的正模片特性曲线；a′b′c′为$t+\Delta t$时间影象的负模片特性曲线。当两张模片准确叠掩之后，在Δt时段里如果影象中诸物体均未发生位移或变化，则叠掩结果如图3.17(b)所示，A，B，C三处物体的合成模片影象密度相等，彼此的反差为零，影象消失；如果B处物体发生变化（如移动或消失了），相应在a′b′c′曲线上的位置由b′移至b″，这时叠掩的结果如图3.17(c)所示。A，C两处物体未变，合成模片影象密度仍然相等。但是它们和B处相比，则存在反差ΔD。因而，在物体发生变化的地方，

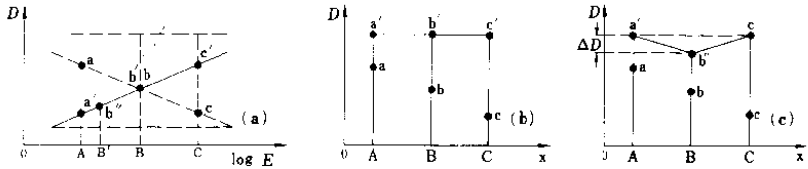


图 3.17　影象相减原理示意图

正、负模片叠加后仍有反差，影象得以保留；而在物体发生变化的地方，正、负模片叠加后反差消失，影象亦不复存在。这样，就使影象中有变化的部分（或物体、现象）人为地突出出来了。或者说，两个不同时期的影象相减，把有变化的影象部分增强或抽取出来。

下面结合实例对这种方法作进一步的说明。图版4是鄱阳湖地区不同时间的两张Landsat影象相减之后获得的图象。其中一张是洪水期的影象，另一张是枯水期的影象。从该图象上可以清楚地看出两个时期河流、湖泊水面面积以及云盖的变化。在湖区粉红色的影象部分系洪、枯水时期均被水淹没的区域，而棕褐色的影象部分则是洪水期淹没范围扩大的地区。不难看出，鄱阳湖的主体（除南部青岚湖、军山湖等外）洪、枯水位淹没范围的变化是很大的，同时这种变化的细节在图象上也显示得一目了然。在湖区以外的影象部分，尚可零星看到具有这两种彩色的影象小斑。粉红色的一般都是水库，而棕褐色的多反映云盖的变化。由于本图采用了彩色显示，非变化部分的影象并未消除干净，而是以不同深浅的绿色显示。这样做从效果上来看，并没有什么不良的影响，但却使模片制作的难度大大降低了。因为用黑白显示时，正、负模片必须严格按照上述要求制作，方能使有变化部分的影象单独保留下来，其余部分影象全部消除，获得最佳的显示效果。在此，我们说用彩色显示时对模片制作的要求不一定像用黑白显示那样严格，并不意味着，任意取两个模片通过彩色染印都可以获得令人满意的影象相减处理效果。

3.8　专题抽取

采用假彩色密度分割可以很容易地把具有某个密度范围的影象部分分割出来。但是，如果要想把具有某种光谱辐射特性的目标，从整个影象中抽取出来，采用上述方法就很难完满地加以解决了。这是因为在很多情况下，两个光谱辐射特性不同的目标物体，可能在某个具体的光谱段影象中有相同的密度；而同一种物体在某个光谱段影象上却可能有极不相同的密度。这种情况表明，某种物体的影象密度，除与物体的光谱特性有关而外，还与其它许多因素，如局部光照水准的变化、阴影的出现以及处理条件等有关。也就是说，物体的影象密度与物体的类别之间并没有严格的一一对应的关系。因此，在这种情况下要想把某些物体的，而不是某些密度范围的影象，从整个多光谱影象中分别抽取出来，必须采用一种不同于密度分割的新方法，这就是专题抽取处理方法。

利用相关掩模技术进行专题抽取时，首先要仔细考察和研究景象中，各种物体或目标在光谱特性上的差异，它们在各光谱段影象上的密度和密度组合关系上的差异。然后，根据各光谱段影象密度的差异，选择不同的阈值密度制作模片。最后，通过不同光谱段正、负模片

的组合，相互叠掩，使一些目标影象和背景的反差为零，从画面上消失；使另一些目标影象保留下来，达到抽取的目的。分别抽取出来的专题图象，可用染印法套印在一起，得到一张彩色专题抽取图象。在某种程度上说，这种图象实际上是一种简单的专题分类图。

为了具体说明这种处理方法的原理。现假定：在一组多光谱影象中，有A，B，C，D四种目标。这些目标在各光谱段影象中的密度测量值如图3.18所示。由该图可以看出：四种物体在红和近红外光谱段影象中，彼此的密度差异较大，可以选择作为抽取处理使用的光谱段。在利用这两个光谱段影象作为母片来制作模片时，对红光谱段的影象可选TD_3为阈值密度；对近红外光谱段的影象可以取TD_4为阈值密度。根据前述方法，分别制作以TD_3和TD_4为阈值密度的高通和低通模片。在高通模片中，母片影象密度分别大于TD_3和TD_4的影象部分均通光，为低密度区；小于TD_3和TD_4的部分均阻光，为高密度区。同样，在低通模片中，母片影象密度分别大于TD_3和TD_4的影象部分阻光，为高密度区；小于TD_3和TD_4的部分通光，为低密度区。这样就使影象密度分别在阈值密度上、下的物体，在模片上的差异人为地扩大了，从而使专题抽取处理大为简化。当上述高、低通模片（包括它们的拷贝模片，高、低阻模片）制备后，按照图3.19的组合方案，使它们相互叠掩，就可以把A，B，C和D四种物体的影象分别抽取出来。在该图中，模片通光部分以白色表示，阻光部分以黑色表示。

如果要想从某个多光谱影象中，抽取出四种以上的专题类型时，上述方法就很难满足要求了。为此，我们引入了多阈值密度的概念。也就是说，由上述一个光谱段的模片只选择一个阈值密度，扩展为可以选用多个阈值密度。这样，在处理时相应需要制作多张具有不同阈值密度，但光谱段相同的模片。例如，在处理渤海湾地区的Landsat影象（*E*-1682-02122）时，即使用了这样的五张模片，抽取出该地区五种主要的土地利用类型，如图版19所示。这些类型分别是水体、湿地、旱地、沙地以及植被。在该图象中，水体以蓝色表示，旱地黄色，植被红色，沙地（也包括砂砾质河床）为绿色，湿地为紫色和白色。应该指出，湿地这个类型比较复杂，实际上城市、潮间带以及海湾中含沙浓度较大的沉积物流也包括在其中了。在影象的陆地部分，紫色区似乎较白色区湿度更大一些。

这种处理技术的步骤和作法，以图版19的制作为例叙述如下：

第一步，测量上述五种类型地物在各光谱段影象（负片）上的密度，绘制各种地物的多光谱影象密度分布曲线(图3.20)。根据图中测量数据在不同光谱段中的分散程度以及这些地物的光谱辐射特性，我们选取了MSS 7和MSS 5两个光谱段的影象作为母片使用。由于在MSS 7母片上，水体和其余地物，水体＋湿地与其余地物的影象密度差异较大以及根据抽取处理上的需要，我们选择了0.56，1.00和1.20三个密度值作为阈值密度：在MSS 5影象中，选择1.00为阈值密度。这些值均以粗短线在图3.20中标出。

第二步，利用上述两个光谱段的母片，按已确定的阈值密度，制作一系列模片，其中包括高通模片（以＋MSS表示）和低通模片(以－MSS表示)。在这些模片中，我们选出五张最符合处理要求的模片，供进一步抽取处理使用。这五张模片及原始母片的特性曲线在图3.21中给出。有时，在一些模片中，由于阈值的改变可以使某种（如水体）或某两种（如水体－湿地或植被＋沙地等）地物直接被分割出来，使处理过程简化。为此，在处理过程中，如有可能用密度分割的办法，把某种或某两种物体的影象直接分割出来的话，应尽可能采用这种办法。由此获得影象类型较为简单的模片，再通过叠掩很容易把它们分别抽取出来。但是，这种情况并不很常见。在更多的情况下，专题抽取要靠处理人员对有关地物目标光谱辐射

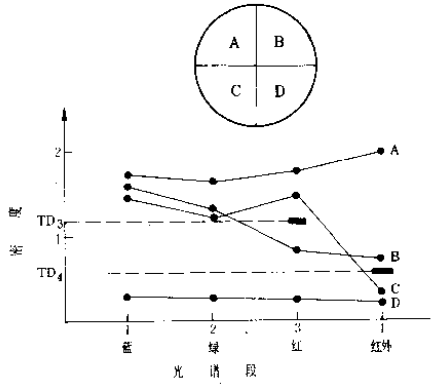
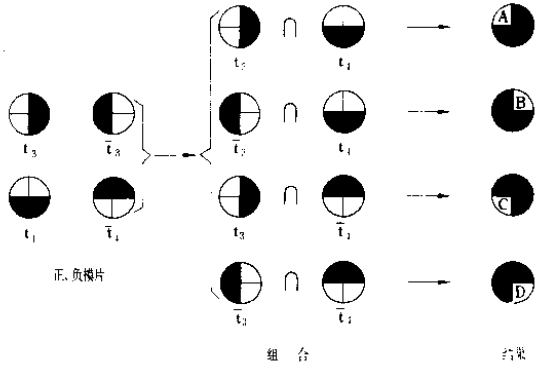


图 3.18 不同目标的影象密度分布及阈值密度

图 3.19 用高、低通模片的不同组合进行专题抽取



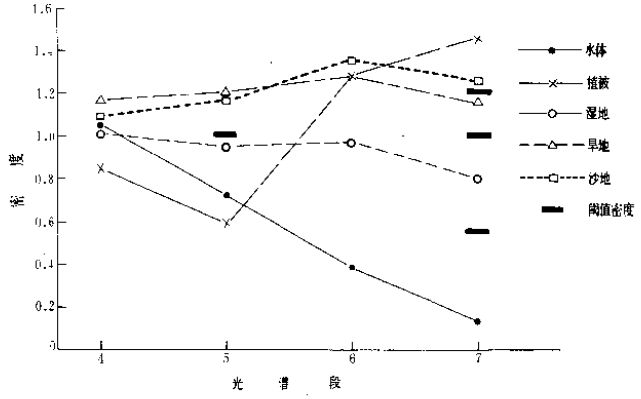


图 3.20 渤海湾地区地物影象密度分布及阈值密度

特性的了解以及模片特性的匹配、叠掩等实现。例如，在抽取植被专题时，要求使用模片－MSS 5(1.00)和＋MSS 7(1.00)。这是由于植物的光谱辐射特性表明：它们在0.5—0.6微米光谱段处为一吸收峰(反射率低)，而在0.8—1.1微米光谱段处为一强反射峰(反射率高)。因而在MSS 5 负片上，植物影象为低密度者；在MSS 7 正片上，植物影象亦为低密度者。但是，对其余几种物体而言，它们都没有类似的光谱辐射特性及密度分布规律。因此，在正、负模片密度范围和反差系数大体相同的情况下两者叠掩的结果，植物因正、负影象均透明，而在合成拷贝模片得以保留；其余物体由于异号模片相加反差大大减小甚至为零，同时组合模片密度加大，影象在模片组合后新拷贝出来的模片上消失。这样就把植物的影象抽取出来了。

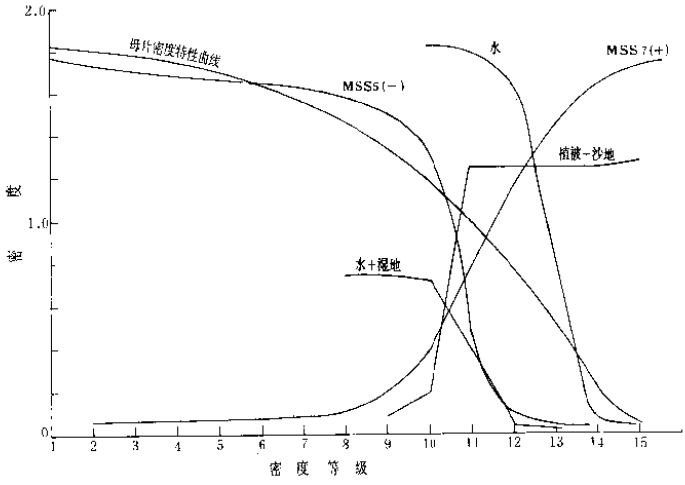


图 3.21　渤海湾地区专题抽取模片特性曲线

第三步，在模片叠配好之后，可按照图3.22所示的程序进行专题抽取。首先应该说明图3.22中有关符号的含义：（1）(＋)符号表示其上方框所示地物为高密度影象，(－)为低密度影象；（2）箭头表示所指方框的模片，需要经过拷贝之后才能获得；（3）当一个方框引出两条以上标有不同符号的指示线时，其中标有(－)的指示线说明，该方框模片只有拷贝为低密度影象后才能和该线相连接的其它模片配合使用；（4）方框中圆括弧中的数值是该模片的阈值密度，如－MSS 5(1.00)表示该模片与MSS 5 的负模片，其阈值密度为1.00。下面，我们具体介绍专题抽取的叠掩程序。

由图 3.22 可以看出，整个处理过程是由－MSS 5(1.00)和＋MSS 7(1.00)的叠掩开始的。这两个模片叠掩的结果，产生仅有植被的高密度影象专题模片。这个模片拷制出来后，分别和(植被＋沙地)(－)，(水＋湿地)(＋)叠掩，拷贝出沙地的专题模片和沙地＋旱地的高密度影象模片。沙地＋旱地的高密度影象模片经过拷贝，变为低密度影象模片，然后和沙地(＋)叠掩，拷贝得到旱地的专题模片。最后，(沙地＋旱地)(－)、水体(－)和植被(－)三

张模片叠掩，经过拷贝之后可获得湿地的专题模片。由于水体的专题模片是直接通过密度分割的办法取得的，这样该地区的五个专题模片就分别抽取出来了。

第四步，在先后获得水体、植被、沙地、旱地和湿地的五个专题模片之后，可以用它们来拷制浮雕片，进行染印处理。在处理时，要注意各种专题类型的彩色显示效果和套合精度。为了获得较好的彩色显示，有的专题模片要染不同的色、进行多次套印。图版19就是利用彩

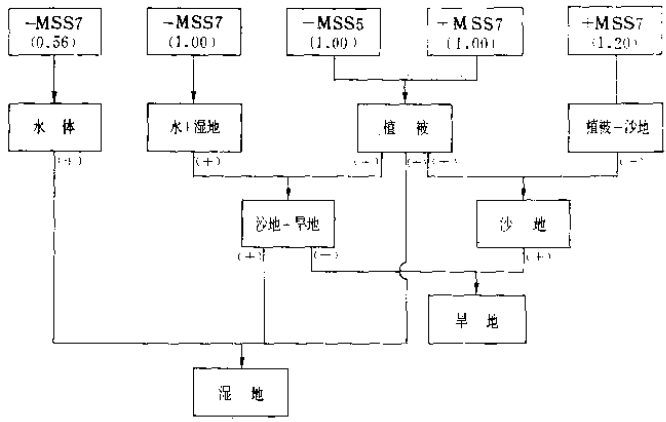


图 3.22 渤海湾地区专题抽取处理程序

色染印法多次套印制作出来的。

最后应该说明，在进行专题抽取处理时，其处理程序将随抽取的对象、影象的光谱特征以及处理条件等而改变。因此，重要的问题是必须善于根据具体情况来设计所使用的处理方案，而不能千篇一律。此外，还应该强调的是：二元模片（高通和低通模片）的应用使这种处理方法，特别是模片密度特性的匹配大为简化。但是，在制作二元模片时阈值密度的控制是困难的，如果这种模片的制作能在计算机的控制下进行，情况将会大为改观。

第四章　实际应用

4.1　应用范围

相关掩模处理技术从多方面帮助人们提高对遥感影象分析判读的能力。为了说明各种相关掩模处理的功能、方法，在农业林业、地质地理、水文海洋等领域中的应用和有效性，我们编制了表 4-1。尽管这个表的内容只是一个初步的总结，但它却充分地反映了这种技术的应用领域的广泛性。

相关掩模处理技术的功能，概括起来为三个大的方面：影象反差调整，彩色影象增强以及影象特征抽取。它们从根本上规定了这种技术的应用范围。

表 4-1　相关掩模处理技术的应用范围

有效性 / 应用 / 功能		农业			林业			地质			地理			水文				海洋				其它			
		植被类型及分布	植被覆盖度	植被范围变化	植物中毒或异常	土地利用	土壤系统调查	线性构造	岩石类型	地貌特征	古河道分布	沙丘形态及运动方向	地热异常	水域分布	淹没范围变化	泥沙运动及污染分布	海水动态	潮间带范围及河口三角洲演变	浅海水深及水下地形	海洋温度及淡水泉	雪盖变动	象质和色彩显示改善	阴影区及水下目标彩色显示	城市居民点	人工线性地物
反差调整	反差增强									G		E										E			
	反差减弱																					E			
彩色增强	彩色合成	E	E		E	E	E		E	E	G			E			G							G	
	等密度变换	E	E		E	E	E		G					E									E		
	黑白发色		G			E		E						E											
	密度分割		E				E	G	E		E		E	E		E	E		E	E				E	
特征抽取	边界增强							E																	E
	影象相减			E											E			E			E				
	专题抽取	E				E					E			E										E	
备注		E 表示效果很好；G 表示效果好；空格为效果一般或差。																							

1. 影象反差调整

影象反差调整可以使影象中各种物体的影象密度的相对关系发生改变，达到改善影象质量或彩色显示效果，利于分析判读的目的。

由于大气雾霾，景象本身的特点（如沙漠区）以及摄影处理等原因的影响，母片影象的灰雾度较大，反差一般较小，这时可以采用反差增强处理方法，使之反差加大。消除蓝光谱段影象受大气雾霾严重影响的实例已在图版 1 中给出。为了改善彩色合成显示效果对黑白模片先进行反差增强处理的实例在图版28中给出。此外，应该特别指出的是：在研究沙漠地区沙丘的形态和运动方向时，采用这种方法使其迎风和背风坡的反差加大，会获得很好的效果。

在母片影象反差较大时，往往使一些中间色调或细微影象密度的变化得不到充分的显示，或者强光区和弱光区的影象细节不能或很难同时兼顾，可采用反差减弱方法，压缩母片的反差范围，其处理效果可见图版 2。此外，在彩色影象处理时，也利用这种功能人为地改变影象的反差，使最终影象的彩色显示得到改善也是经常采取的措施。

2. 彩色影象增强

彩色影象增强充分利用了人眼对彩色（包括色相、饱和度和亮度）变化的敏感程度远高于黑白色调的这一生理特点，通过使黑白影象密度及其变化代之以彩色的变化显示出来，从而提高人们对影象密度差异，特别是影象细微密度变化的识别能力。属于彩色影象增强范畴的相关掩模处理方法有：彩色合成、等照度变换、黑白发色以及密度分割等。这些处理方法在各个专业领域的目视判读分析过程中，得到了最广泛的应用和良好的效果。

一般来说，经过彩色合成及等照度变换处理的影象，在区域综合分析判读应用方面效果良好；黑白发色影象将能提高原黑白影象的可判读性和利用效率。这些均从表 4-1 及有关的实例和图版中明显可见。相关掩模密度分割影象，由于具有分辨率高、几何畸变小以及可以把几个光谱段影象密度分割的按区域综合在一起等优点，在很多方面，特别是海洋泥沙运动及海水动态研究方面的应用效果极佳。这方面的情况，将在 4.2 的实例中加以说明。

3. 影象特征抽取

影象特征抽取通过模片的相互叠掩，使一些影象或特征消失，而使另一些（如边界、变化目标以及有关专题）得以保留，从而由整个象幅中抽取出来。前面介绍过的边界增强、影象相减以及专题抽取等处理方法均属此列。

一般来说，这些方法的应用范围是比较狭窄而且针对性比较强。例如，边界增强可以把影象中各种线性要素或影象边界界线抽取出来。如线性构造、河流渠道、交通运输线以及水体等。利用影象相减处理方法可以进行各种自然现象或人工目标的动态变化的研究，如对表 4-1 中指出的植被覆盖面积，水体淹没范围、冰雪覆盖区域的改变以及潮间带和河口三角洲的演变等的研究，均会有很好的效果。最后，专题抽取可以根据大的影象类型，如水体、植被、居民点等的特征，依照一定的提取程序，分别从整个影象中一一抽取出来。它对土地利用的研究特别有用。这将在4.2渤海湾地区的综合分析一例中具体说明。

下面，我们将从一些具体的实例出发，进一步说明这种技术的实际应用。

4.2 应用举例

1. 北京地区隐伏断裂形迹的增强[1)]

卫星影象由于它们具有宏观性、直观性以及综合性等特点，在区域地质，特别是线性构造的分析判读方面得到了广泛的应用。它不仅使工作速度大为加快，而且也使工作质量显著改善，这已是众所周知的事实。对于山区或基岩裸露地区来说，由于各种断裂构造直接出露地表，其影象特征，无论是直接的（如色调、形状、大小等）还是间接的（如地貌、水系、植被等）均具有很高的可判读性。特别是经过边界增强处理之后，就更容易识别。图版22可以充分证明这一点。但是，对于为松散沉积物掩盖的平原地区情况就会完全不同。在这里，断裂构造被巨厚的松散沉积物掩埋在地面以下，它们只能通过对地表微弱信息的综合判读分析才能认识。因为隐伏断裂构造，特别是继承性的构造，必然会影响其两侧沉积物的性质和厚度、地下水水位、土壤湿度、植物生态、水系格局以及地貌形态等特征，并使它们在断裂两侧地面产生不同程度的差异。在大多数情况下，这种差异可能是微弱的，甚至是十分微弱的。尽管如此，这些差异的存在就构成了影象上能够指示隐伏构造的微弱影象信息的物质基础。指示断裂构造存在的微弱信息，主要是时隐时现、呈线条或带状的影象形迹。对于它们，显然需要经过认真、细致，乃至艰苦的大面积、长时间的反复观察才能发现，而直接采用边界增强处理技术往往是不会奏效的。但是，当我们使用黑白发色技术处理这种影象时，却收到了意想不到的效果；平原地区隐伏构造的微弱信息被明显地增强了。

图版 6 和 7 分别是北京平原地区1975年 3 月 12日 Landsat-2MSS-6的黑白及黑白发色图象。图版 5 是根据上述图象分析判读结果编制的主要断裂分布图。从黑白发色图象上不难看出：不仅北部山区里的线性构造得到了醒目的显示；而且平原地区一些隐伏断裂构造的形迹也有很大增强。高丽营—顺义—三河—丰南隐伏断裂的揭示就是突出的实例。以往，由于物理勘探方法仅能在有限数量的测点和剖面线上使用，因而对这条埋藏的NWW向的重要断裂的存在，几乎没有什么认识。利用卫星影象进行线性构造形迹分析判读之后，人们开始注意到有这样一条断裂存在的可能性。但是，由于它在影象上表现得不明显，一直存在很大争论。然而，这条断裂构造的形迹在图版 7 上得到了清晰的显示，无疑为论证该断裂的存在提供了一个有力的证据。

高丽营—顺义—三河—丰南断裂沿NWW—SEE 方向伸展。北京市东北的顺义深凹陷和唐山市西北的雅鸿桥凹陷，沿其东北侧分布，地表潮湿、水网发达、地貌复杂，多种喜水植物分布具有典型沉降地带的各种特征；而该断裂的西南侧情况较单一，和东北侧在影象上形成了鲜明的对照。除上述特点外，该线性形迹穿越了1679年北京平谷县马坊 8.2 级地震及1976年河北省唐山 7.9 级地震的震中区。这些都说明，它和这两次大地震的发生存在一定的联系，目前仍是一条活动强烈的断裂构造。它的揭示对这一地区历史上的两次大地震的发生、最近唐山强余震向西迁移的可能性以及地震地质背景的分析均有重要的意义。

除上述断裂构造形迹的增强而外，图版 6 和 7 还有助于进一步证明位于南部平原地区，有争议的近SN向的怀柔—通县断裂、蓟县—宝坻断裂以及 NNE 向的黄庄断裂的存在。这对于分析本地区的断裂基本骨架，改变以往人们对本地区断裂的一些传统认识，是一个很好的

1) 根据魏波阶同志提供的素材编写。

促进。

上述指示隐伏断裂构造存在的微弱影象信息（在常规彩色合成图象上也是不明显的如图版8），在黑白发色图象上得以增强的原因，主要是进行这种处理时应用了二元模片，包括高通模片、低通模片以及带通模片。这些模片的应用，使母片影象密度大于和小于阈值密度，或者在带通范围内外的影象部分之间的反差大大增强，同时又使相应两部分影象本身的细节消失所致。因为对于理想的二元模片来说，它只有黑白两种密度。在利用这种方法增强微弱信息时，阈值密度，特别是带通模片的上下阈值密度的正确选择是极为重要的。因此，在处理前对黑白影象进行适当的影象密度测量，并进行反复试验，无疑是十分必要的。

2. 琼州海峡密度分割图象的分析[1)]

我们对琼州海峡1973年12月27日的Landsat MSS 5影象（E-1522-02331）进行了密度分割处理，其彩色密度分割图象如图版10所示。

根据该图象的影象结构和彩色差异，能把若干岩石类型及其相对时代关系加以鉴别。在海峡两侧，雷州半岛南部及海南岛北部，蓝色的影象区域与第四纪海相及冲积相的松散沉积物的分布区域吻合得很好。在蓝色影象背景上有一些边缘不清，雾状的品红、淡品红影象，与Q_3玄武岩的存在范围相吻合，通过地面实况资料可以肯定这一点。品红-浅品红色大块斑状的影象是Q_2玄武岩的特征。在上述影象中，黄绿色的影象部分是自然或人工植被分布的指示。但是，应该指出：这种岩石类型与影象结构特征及彩色之间的对应关系，在王五一文教纬向深大断裂以南就不那么清楚了。

当我们把图版10和图版9相比较时，发现琼州海峡及附近海域的密度分割图象和等深线图有良好的相似性。前者，由深蓝→品红→黄→绿→天蓝的彩色变化，表示了水深逐渐增大的趋势。具体来看，海峡西口外有一个很发育的，但南北不对称的水下潮流三角洲。不同色层的界线显示了该三角洲在形态上的特点。在雷州湾及其口外一带，不同色层的影象多数是修长而微弯的，与实测湾底的溺谷、浅海底部的高台及沟槽在位置上也颇为一致。在海峡中偏南侧的航道（深槽），尽管受到浑浊流的一定干扰，却仍能很好地追索到。上述影象密度（或彩色）与水深的一致性，即在负片上影象密度大的部分与浅水区相应，影象密度小的部分与深水区相应，在很大程度上是通过含沙量的影响反应出来的。含沙量大与水深小的对应关系可以由两方面的原因造成，一是风浪的作用，它们使浅水区海底的沉积物搅动悬浮起来，呈现高含沙量的状况；一是潮流的作用，在流速较大的主潮流处夹带泥沙的数量大，在冲淤动态平衡的情况下，沉积下来的泥沙绝对数量大，地形较高。特别是当它由海峡进入开阔的海域时，在过渡地带将发生迅速的堆积，形成高于两侧的水下垄状或指状地形。水下潮流三角洲就是在主潮流不断沉积、摆动的过程中形成的。类似的发育过程见于陆上三角洲或河口三角洲的发展中。应该指出，上述一致性，并不是在任何情况下都是成立的。有些时候我们可以看到影象密度（或彩色）与水深之间的关系出现反常情况。例如在雷州半岛西南海岸与水下潮流三角洲之间的地带以及一些港湾中，虽然那些地方水深并不大，影象却是呈天蓝色的，这种反常现象主要是因为那里含沙量小，海水平静所致。

1) 部分根据林恒章同志的素材编写。

3. 舟山海域的海况显示

在1975年3月24日 Landsat-2 拍摄的舟山群岛及其附近海域的一幅多光谱扫描图象上，其时正值该海域涨潮时间，潮流流向东北，风向为东风，并在此前几天钱塘江下游普遍降雨，加之岛屿密布海底地形复杂，大陆迳流、海流、潮汐、波浪以及季风诸因素的影响，形成了特殊的海况影象[1)]。为了使这种现象在图象上得以清楚地显示，并寻找出最佳的处理方法，我们对该影象进行了彩色合成，单光谱段密度分割和多光谱段密度分割处理。所得图象分别见图版11，图版12和图版13。图版14为供分析比较时使用的海底地形略图。

在彩色合成影象上该海域复杂的海况的显示不清楚，很难给人以明确的概念；在单光谱段MSS4密度分割图象上，舟山群岛（E122°20′）以东海域的海况有很好的显示，如泥沙扩散、海水动态，特别是规模大小不一的旋涡流表现得十分醒目。但是，在这种图象上，舟山群岛以西海域的海况细节却没有显示出来，表现为一片均匀的紫红影象。单光谱段密度分割图象的不足，在双光谱段（MSS 4和MSS 6）图象得到了弥补，整个海域里的复杂海况及其细节，均得到了清楚的表示，因而这种图象具有较好的处理效果。关于图象中经过密度分割处理之后突出显示出来的海况及其细节，如何从海洋学的角度分析研究并加以应用，有待海洋学家们去解决。对于从上述图象反映出来的一些与图象本身有密切关系的问题，如含沙量、水深与影象密度之间的关系等，在此我们想提出一些不成熟的看法，以供讨论。

海水的影象密度一般来说取决于海水和海底反射光的强度。而海水的反射强度在很大程度上与其中所含的泥沙量、浮游生物量等有关。在我们比较单光谱段和双光谱段密度分割图象的效果时，发现摄影光谱段、含沙量及影象密度之间存在一定关系。从MSS4密度分割图象可以看出该光谱段对含沙量的变化有一个敏感范围。在这个范围里，影象密度和含沙量有很好的对应关系，当含沙量变化时，影象密度亦随之发生变化。但是，含沙量超出了这个范围，即含沙量大于某个值以后，影象密度也不会有什么变化，或含沙量小于某个数值之后，也会出现同样的情况。在MSS6密度分割图象上，显然这个范围随着摄影波长的加大，向高含沙量区域移动了。如果，我们把限定这个范围的上、下限含沙量数值，作为该光谱段的上、下阈值密度引入的话，可以提出以下模式来概括上述现象。如图4-1所示。图中 $\Delta\lambda_1$，$\Delta\lambda_2$、$\Delta\lambda_3$代表不同的遥感光谱段，且 $\Delta\lambda_1<\Delta\lambda_2<\Delta\lambda_3$；$\rho'_{oi}$ 和 ρ''_{oi} 分别代表三个光谱段的下和上阈值含沙量，$i=1$，2，3，……；D 为负片影象密度。对于某个光谱段而言，在上、下阈值含沙量范围里，含沙量和影象密度之间可能存在某种对应关系。但是由于我们缺乏深入细致的工作，这个模式仅作为一个假设提出。它是否成立、不同光谱段相应的阈值含沙量大小以及影响它们的因素如何等一系列问题，均有待于进一步研究和论证。无疑，这些问题的解决将有助于利用遥感技术对海水泥沙含量进行定量测量的试验研究。

通过密度分割图象和海底地形等高线图的比较，发现它们之间在形态上有某种程度上的相似性。一般来说，负片影象密度较大的地方，相应海底地形较高（或水深较小）。但是，这种对应的关系在很多情况下，由于表层海水含沙量的变化受到严重的干扰。在利用影象密度来推断海水深度时，往往会出现相当大的误差。应该说，含沙量、海底地形以及影象密度之间的关系是十分复杂的。但是，通过对它们的深入研究，将会有助于用遥感影象密度测量浅海水深问题的解决。

1) 根据刘宝银同志提供的说明。

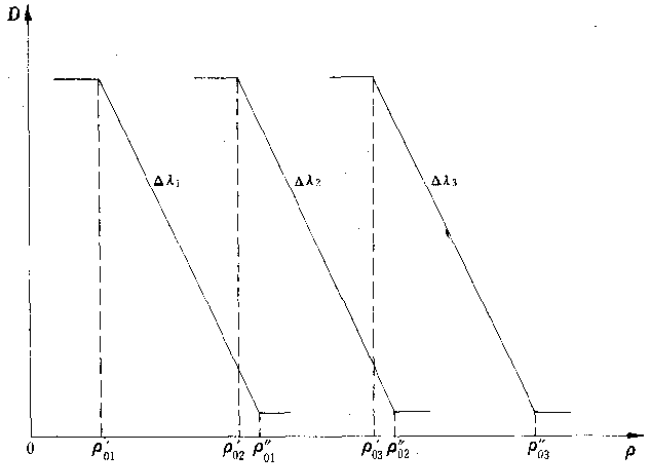


图 4.1 在不同光谱段影象上影象密度与含沙量的假想关系模式

4. 黄河口三角洲的演变过程

黄河是一条世界著名的多沙性河流，每年把大量泥沙输送入海，素有“善淤、善决、善徙”的特点。每当黄河改道出现新的入海口时，很快就会有相应的河口三角洲形成。现在的黄河口大三角洲，即是在公元1855年铜瓦厢决口，黄河夺大清河故道入海之后开始形成的。它以宁海为顶点，北到徒骇河口，南至支脉沟口，系通过尾闾多次改道及相应产生的小三角洲叠置建造而成。具体来说，黄河夹带大量泥沙在河口河段淤积，一方面使河口不断向海延伸，流路加长，比降减小；另一方面使河床不断淤高，与两侧烂泥湾的高差加大。当这个过程发展到一定程度之后，在某种来水来沙、河道边界条件以及海洋动力等因素的综合作用下，河流会突然改道走某一侧的低洼地区，形成新的河道，开始新的三角洲发育过程。黄河河口大三角洲就是在这种过程里不断向海域扩展的。当河道发生变化时，除古河床外，古河道两侧还有滨河床砂坝等地貌特征遗留，加之扇间洼地（或烂泥湾）的存在，致使从影象上很容易把历次古河道的流路及相应形成的三角洲范围确定下来。古河道的遗迹在影象上主要表现为蓝色或白色的弯曲的线性影象形迹。它们在彩色合成图象上，随时代先后及走河时间长短的不同，得到不同清晰程度的显示[11]。

图版17给出了自1855年铜瓦厢决口以后，黄河河口三角洲历次的河道变迁图。这个图根据Landsat影象的分析判读，绘制了历次古河道的具体流路，而旁边附注的走河年代则参考有关资料和历史记载确定。由Landsat图象（图版16）和河道变迁的分析表明：黄河河口三角洲的发育大致可分为四个时期，或者说它由四个不同时期的次一级三角洲组成。它们的时代分别是：Ⅰ．1855—1904；Ⅱ．1904—1929年；Ⅲ．1929—1938；Ⅳ．1946年以后至今。这些不同时期的三角洲大致范围以点虚线表示。第Ⅰ期的三角洲由于时代最老，受以后各次河流决口改道沉积物的叠置掩复，形态已难分辨。第Ⅱ期三角洲在前者的西及西北侧，它的扇形

保留完整，受以后河流决口改道干扰的影响较小。这两期三角洲在卫星图象上均以蓝色调为主，反映其地势较低。第Ⅲ、Ⅳ两期三角洲在Ⅰ之东和北侧。两期之间的范围有较大的重叠。前者的范围可达神仙沟一带，而后者的范围可达响水沟一带。由于第Ⅲ期三角洲北半部受第Ⅳ期三角洲的叠置，影象特征上与南半部不同，故把它归入第Ⅳ期的范围。第Ⅲ期在影象上以蓝色调为主，夹浅红色条带状或片状的耕地影象，粗看整体呈紫色调。第Ⅳ期三角洲以白色调为主，且在响水沟和清水沟之间有许多细碎的红色耕地影象斑块，在清水沟以北有大片红色影象。一般来说，它们的地势较高。对于第Ⅲ期三角洲来说，它有一个由南向北发展的过程；第Ⅳ期同样有这种趋势。但是在这个总发展的趋势上，又有局部向南的回淤，其原因有的是自然的，有的是人工的。这个发育过程以第Ⅳ期为例说明。

从1975年5月的Landsat影象上看出，甜水沟和神仙沟的入海河道保存较好，它们是1947—1953年黄河入海的两个河口，形成两支向海突出的鸭嘴状小三角洲。1954年黄河由神仙沟单独入海。1960年8月在神仙沟四号桩断面附近，自然出汊摆动向东决口。黄河又向东改道堆积了几个小的三角洲。1964年以后 黄河的尾闾主要在大三角洲的北部摆动，海岸向北推进。1975年5月的黄河主要向北流，在河口处折向西北。但是，从1978年10月的卫星象片上看，黄河尾闾发生了一次较大的改道。这次改道的具体时间是1976年，由人工决口造成。新的河道由罗家屋子上游，走清水沟向东北入海。在河口处形成一个新的小三角洲，填补了原三角洲在甜水沟和神仙沟之间近直角形的缺口，使之成为一个完整的扇形向东北突出。

为了使这一最近的变化直接而准确地显示出来，我们用1975年5月21日的MSS 4(－)和1978年10月23日的MSS 6(＋)进行相关掩模影象相减，获得了图版15所示的黄河三角洲影象相减图象。在该图象上，蓝色的是水，绿色的是1975年5月以前的三角洲范围，品红色的是在这一期间出现的新三角洲以及云盖的范围。不难看出，这种处理办法使河口三角洲的动态变化得到了很好的反映。如果在这一段时间里还有若干次卫星像片的话，确定改道大致的时间及详细的演变过程和速度，显然是很方便的。这将为定量研究河口三角洲的动态变化和规律提供一种有效的途径。

5. 渤海湾地区的综合分析

我们对这一地区1974年6月5日的Landsat-2影象，分别进行了假彩色合成、密度分割以及专题抽取等相关掩模处理（图版18、图版21和图版19）。通过分析对比，可以看出它们有显著的差异，当相互配合使用时，有助于更全面和清晰地认识该地区。

从该地区东北角的假彩色合成影象（图版18）上可以清楚地分辨出滦河发育过程中先后出现的四个三角洲，从老到新分别标为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ（见图版20）。它们从西向东，自东向西来回移动、与全新世以后燕山褶皱沉降带南部的一些NNE, NE和NW方向的断裂活动有关。在新三角洲形成的同时，老三角洲的扇面高程和纵向坡度相应加大。因此，在Ⅰ的范围里，地下水埋藏较深，扇面坡度较大，比较干旱，在影象上具有色调浅而明亮的特征。仔细地观察，由粉砂、细砂组成的古河床高地经长期风力吹蚀，已变成沙岗和河丘，具有浅黄色条带状的影象，而古河道两侧洼地由亚粘土和亚砂土组成，色调较深。此外，由于比较干旱，红色植被影象多呈稀疏的斑点或带状分布。在Ⅱ上，古河道也形成沙岗，具有浅黄色条带状的影象特征，但是由于地下水条件较好，大部分面积可以耕种，红色植被影象的范围亦较Ⅰ为大。Ⅲ的西界是一系列陡坎，与通过滦县的NNE向断裂相符。该陡坎向西南方向转变为

缓坡，它和Ⅰ的分界是明显的。Ⅲ的东界是一缓坡，大致与顺滦河的断裂一致。Ⅱ的地面比较平缓，古河道错综复杂，保存良好，红色植被影象的覆盖度亦较Ⅱ为高。现代滦河三角洲（Ⅳ）正向海域伸展。河口砂嘴和沿岸砂坝的影象特征表明，滦河泥沙流主要向西南方向运动[11]。

关于渤海湾内泥沙来源、运动以及水下地形的特点，在密度分割图象上的显示远较彩色合成图象者为好。把密度分割图象（图版21）与渤海湾水下地形略图相比较，我们发现两者在水深显示上的总趋势是一致的，特别是在渤海湾的北部更为明显。相应来说，品红→棕红→蓝→黄→绿的彩色变化大致体现了海水由深到浅的趋势。但是，由于泥沙含量及运动的干扰，使这种趋势在很多地区存在明显的误差。从某种意义上说，渤海湾区密度分割图象的彩色变化更多地反映了泥沙分布的情况，而不是水深。从图象上可以看出，海河的泥沙输入海湾后，在涨潮的作用下形成两支沿岸泥沙流，分别向南和向北方向运动。这一特点为海河口南北两侧黄色密度层及两个钩状的紫红色条形影象清楚地指示出来。同时，还可以看出，来自南面黄河口的泥沙流的运动和扩散情况。它由黄河口出发向西、向北逐渐减弱，沿岸流大致在岐口以北就消失了，说明黄河泥沙对新港的淤积可能关系不大。

从土地利用研究的角度来看，上述两种图象均有较大的局限性。故此，我们对该地区的影象进行了专题抽取处理（图版19），分别抽取出五种不同的土地利用专题类型：水体、植被、沙地、旱地以及低湿地，在图象上分别以蓝、红、绿、黄及紫＋白色表示。其中低湿地比较复杂，它不仅包括了山前冲积洪积倾斜平原潜水溢出带、城市低湿地以及潮间带等类型，而且还包括了部分含沙量较高的海水在内。此外，在紫＋白色表示的低湿地专题中，紫色地区一般来说较白色地区的潮湿程度更大一些。

专题抽取图象准确地显示了渤海湾地区土地类型总的情况。它不仅可以使我们对这一地区土地类型及其空间分布有一个直观、形象和准确的认识，而且对这些类型的成因、相互关系等问题的分析研究也会有很大帮助。作为前一方面的例子是天津市区里各种大小的水域以及滦河古河床沙地等均在这种图象上得到详细、清晰的显示，这是另外两种图象及人工制图无法比拟的；作为后一方面的例子是绿色影象表征的各种沙地以及紫色＋白色表征的各种湿地在成因上显然是不同的。在图象东北角绿色影象清楚地表示了滦河三角洲Ⅰ、Ⅱ上的古河道以及现代河床相砂质沉积物的分布，滦河口以北沿岸的绿色影象则是滨岸沙坎；在图象西南部分及图象中部潮白河—永定新河汇流处附近的绿色影象可能是古黄河河床及河口的沉积物造成的，它们指示了古黄河及黄河口的位置（图版19）。无疑地，由于这些沙地具有不同的成因和特点，在对它们进行利用改造的方法和措施上，也将会有不同的考虑。同样情况，对于低湿地也是如此。

关于古黄河在天津入海的问题，一直存在不同的看法。韩嘉谷同志根据多方面的资料提出并论证了古黄河从天津入海情况的观点。他指出：商周黄河（距今不到3400年）入海处在天津市区东北，造成的是自张贵庄到白沙岭之间的土地，至公元602年迁离。西汉武帝时黄河更注渤海，入海地点在汉章武县，造成今河北省黄骅县武帝公到海边的土地。第一次入海口的具体位置在天津和宁河之间的狭长洼地。该洼地从天津北郊起，往东一直延伸到汉沽附近，北边为宁河长七里海，南边止于海河北岸高地。这个范围恰与我们在专题抽取图象上指出的潮白河—永定新河汇流处附近古黄河口沙地分布范围一致。这些在图象上大致呈三角洲形状的绿色影象，为上述论点提供了新的佐证。

6. 南京地区土壤景观分析[1)]

图版23，24和25分别给出了南京地区Landsat卫星的彩色合成、单光谱段和多光谱段密度分割图象。图版25给出的图象系由两组MSS 5和三组MSS 7的二元模片制作而成。它和其余图象相比，不少土壤信息更显突出，为分析判读提供了方便。根据该图象对南京地区土壤景观分析判读的结果在图版26中给出。下面将从具体的影象特征出发，对这些结果作一说明。

在南京地区的多光谱段彩色密度分割图象上，长江是一条蓝色的影象条带，蜿蜒曲折自图象西南向东北穿过。江两侧沙洲滩地与新三角洲平原的冲积土大多已耕垦，发育为油沙土等。已抽穗的麦子及尚未封行的大秋作物使影象呈玫瑰红或淡褐色。某些河湾、曲流地段生长芦苇等水生植物，呈鲜红色条带状影象。亮灰色影象则系长江最新冲积物形成的沙滩。

具倒山字形构造的宁镇山脉，由于中间不少地段被切割、冲刷、林木遭受砍伐、破坏，故呈断断续续的红色或近红色影象伸展在长江南岸。茅山是山字形构造的中轴，其它为东南角的宜溧山地和天目山余脉，西南角的九华山、长江北岸的峨山、琅琊山等山体影象均呈红色，范围鲜明可辨。

丘陵岗地在图象中散布各处。大约在宜溧山地和南漪湖一线以南，亮乳白色与亮淡墨绿色的条块影象相间分布，十分引人注目。其中乳白色影象是丘间谷地，已辟为农田，稻麦连作。在成象时，麦子已普遍黄熟。丘陵坡地上分布着红色粘土母质发育的黄红壤，这种土壤在红光和近红外波段均具有较高的反射率。一般来说，许多亚热带经济作物均可在此正常生长，冬季不受寒害威胁。从其间红色影象所占比重不很大的现象推断，其发展潜力颇大。与上述不同，中北部黄土丘陵具有较细腻的条纹状图型，且在不同地区其彩色和形状又有些变异。茅山两侧，特别是茅山以西和以南的大片黄土岗地，比较开阔平缓，除部分开垦为桑园、茶园、果园或其它旱作，使影象偏橙红色外，其余多垦为农田，实行水旱（稻、麦、油菜等）连作。这类土地由于长期发生物质外移导致白土化，使影象亮度提高，呈亮淡蓝色（开始种稻处）或亮淡橙黄色（麦地）。这类黄土丘陵岗地在长江北岸分布也相当广泛。

太湖平原之一部分占据图象的东北角，北连长江三角洲，西缘毗邻丘陵岗地，其间且有一条近南北向的山前潜水溢出带相隔。不过从影象的暗蓝色成分所占比重不甚大来判断，此处地形已渐淤高，地下迳流相对削弱；加之一些排泄通道的修建，促使渍水状况大有改善，大面积种植越冬作物已成可能。

在图象中下部可见三个呈蓝色的湖泊（石臼湖、固城湖、南漪湖）。北面两个湖泊相当大一部分面积已被围垦，其中部分似乎是新围垦之地，尚未正式耕作。这种湖积物发育的土壤大多为潜育性的青泥土类型。从影象特征来看，不少地方以稻麦连作为主。

秦淮河谷地位于图象的中上部，形似元宝，范围不很宽广，但农作物连片，渠系纵横，水塘点缀其间，土地利用率高。江北的滁河谷地则有所不同，它主要呈带状沿峨山北麓伸展，影象以暗蓝色为主，表明该谷地低湿多水，土壤沼泽化强烈，基本上是单一的水稻区。这种低湿圩田在图象西南角长江两侧有更大面积的分布。

还有一点值得指出：紫金山整个山体在一般彩色合成及单光谱段彩色密度图象上的彩色分异是不明显的，但在图版25中却十分清楚地分成三部分：西北部土层比较深厚，以阔叶林

1) 由戴吕达，李爽同志供稿。

为主，林木郁郁葱葱表现为亮红色影象；中部山脊线两侧，坡陡土薄，在薄层粗骨性土壤上植被覆盖度降低，生长灌丛草类和散生乔木，影象以淡蓝绿色为主；南坡以马尾松为主，林木基本上连成片，影象呈现稍暗的红色。

综上所述，经过相关掩模处理的图象，在进行土壤景观分析判读时的优越性，突出表现在如下三方面：（1）南部红色粘土丘陵岗地与中北部黄土丘陵岗地彩色分异显著，界线明确；（2）生长芦苇的河曲滩地与已经耕垦种植农作物的河、湖滩地彩色迥然不同，易于区分；（3）林木稀疏、生长草本灌木的粗骨性薄层陡坡地，与土层较深厚、林木繁茂的坡地差异明显。用这种方法处理的图象也有一些不足之处，主要表现在：有关水体的信息量减少了；城市与低湿稻田的彩色极为近似，容易混淆。

7. 洞庭湖地区土地利用研究[1)]

洞庭湖地区是一个土地类型丰富多样，土地利用方式、结构复杂的地区。从这里给出的四种经过不同方法处理的卫星图象，即MSS 7 黑白图象（图版30）、黑白发色图象（图版31）、彩色合成图象（图版27）以及增强的彩色合成图象（图版28）来看，分析判读效果尤以增强的彩色合成图象为最佳。其优越性主要表现在各种土地利用类型在影象彩色上的差异最大，易于分析识别。黑白发色图象虽然较黑白图象更容易判读，但是由于它是由单光谱段的黑白影象派生出来的，因而在黑白图象上具有相同密度的不同物体，在这种彩色图象上同样也无法根据其彩色区分开来。例如：云影和植被在黑白发色图象上往往同具红色影象而彼此相混淆。

在进行土地利用判读的时候，除应对遥感影象特征进行深入细微的分析研究而外，还必须根据有关资料和图件深入了解各种土地利用类型和地貌、土壤和物候等地理环境要素之间的关系，掌握分析判读地区的重要农事活动（或农事历）以及作物的构成等人为因素的特点，才能取得良好的效果。具体来说，洞庭湖地区土地利用状况与地貌、土壤的关系如表 4-2 所示。从这个基本的关系出发，我们主要对增强的彩色合成图象进行了土地利用分析判读。从图象上五种主要类型：耕地、林地、荒草地、水域以及居民点是很容易划分出来的（图版29）。它们的影象特征简述如下：

耕地从图象上可以进一步区分为水田、“冬作”地、旱地三种。水田在图象上呈蓝或蓝绿色，具细麻点结构，集中连片分布。其中在洞庭湖、大通湖周围分布着一些形状比较规则、面积较大、呈网格状的浅蓝色图斑，当地称之为“围田”（围湖造的田）。水田在影象色调上的特征是由于其时该地正处播种育秧阶段，早稻尚未开始插秧所致。“冬作”地实际上属水田范畴，只是在摄影时它们种着冬季作物，如小麦、油菜和绿肥等。它们的影象以桔红色条带夹有蓝绿色小斑为特点，与水田的区分还是比较容易的。旱地和上述两种耕地的影象特征差别较大，在图象上呈浅品红色或黄白色，成片状分布。但是，有时面积较小而且比较分散，与冬作地混在一起，难以区别。这点在分析判读时应加注意。

林地主要分布在缓丘和低山上，尤以东、西、南部边缘较集中。它们在图象上呈现为棕红色，结构细密，图斑形状主要受地形的控制。由于林地的覆盖度和树种的不同，它们在色调上亦有不同的反映。

荒草地可以进一步分为稀疏灌木草地，湖洲荒滩和芦苇地。对稀疏灌木草地而言，在图

1) 根据张象信、沈象仁：洞庭湖地区土地利用现状卫星象片判读分析，1978年。

象上以黄、黄棕或红棕色为主。它们是草地和稀疏灌木光谱辐射特性综合的结果。湖洲荒滩主要为蓝白色。随着滩地湿度变大，色调偏向蓝色。芦苇地主要集中在东洞庭湖。由于它生长茂密、分布面积较大，呈色调均匀的红色，极易识别。

表 4-2 洞庭湖地区地貌、土壤及土地利用现状

地貌类型	土壤类型	土地利用状况
湖盆	以潮沙泥占绝对优势（稻田土壤）	多为以种植单季稻为主的水田
	湖土	以芦苇为主，次为湖草，杨枝生长茂密的荒洲
冲积平原和三角洲	主要为潮沙泥（稻田土壤）还有零星的潮沙土（旱地土壤）分布于地貌部位稍高的地方。	稻田土壤多为双季稻，一年两熟。部分稻田土壤实行稻稻麦，稻稻油菜及稻稻绿肥一年三熟。旱地土壤则多种植旱作（粮食作物、经济作物均有分布）
堆积剥蚀阶地	红壤和紫色土	生长稀疏的灌木草丛主要为荒地
	旱地土壤	多为旱作或开辟为茶园和栽培作物
侵蚀剥蚀丘陵和低山	红壤	为茂密的森林所覆盖

水域（包括湖泊、水库和河流等）在影象上为深蓝色或黑蓝色。其色调的深浅在很大程度上反映了水体的深浅并和含沙量的大小有关。水库和湖泊除在形态上有差别而外，前者色调较深也是一个特点。

城镇居民点在图象上呈形状较规则的棕黑色图斑。它的形状和大小随城镇的规模而异，如长沙就很明晰可见。

8. 天津海河热污染图象分析[1)]

图版32(a)是1980年5月2日上午10点钟拍摄的红外扫描图象，它真实地记录了各种地物表面的瞬时温度，对探测分析水体热污染是很有效的。如海河北岸有一个工厂排放热水，由于水的热惯性较大，在白天河水的温度比地面背景的温度低，在图象上河面呈黑色，河面中有一块白色絮状影象为热水区，水温高达22.5～29.4°，岸边为一排水口。

图版32(b)是用上述黑白红外扫描图象，经掩模处理的彩色图象。图中不同颜色表示不同的温度。蓝色约为17—19.6℃，白色19.6—23℃，黄色23—26℃，红色26—29.5℃，品红色29.5℃以上。

对比分析这两种图象可以看出，利用黑白红外扫描图象，虽然可以根据色调和纹形等分析判读热污染区，但不如掩模处理的彩色图象、层次分明、色彩鲜艳、易为人眼所识别。

如b图上河道呈醒目的蓝色，工厂排放的热水呈现红、黄、白色羽状，热水的影纹和扩散特征都显得很清楚。从热水团的流向、纹形特征可判断，它的流速较河水流速大，在重力、水分子的热扩散、水体边界的紊流、热传导等多种因素的作用下，形成一个与河岸斜交、向斜侧方延伸，并向两侧扩展的羽状热流，长约50米宽25米。羽流的中轴线温度较高，由羽流的根部到梢部温度逐渐降低，羽流向两翼侧扩展得很小。羽缘在a图上有较明显的湍流形迹，说明热水与冷水的热交换强烈，热水高速排出，冷水迅速从翼侧流来如图版33箭头所示。由于此处的排水口下没有冷水进口，这样就造成了冷水团与热水团混杂，冷水迅速增温，而不

1) 由郭之怀司志供稿。

利于冷却水的循环再用，从而降低热机效率。与相邻和有关的红外扫描片相对照就可证实上述分析，同时可知本污染源影响范围大，热水可扩散到上下游各三公里的河面，形成一热水河段，较河水的自然温度值高约 5 ℃，夏季热水极温可达50℃。

附录Ⅰ　胶片特性及模片处理条件[5]

为了能够顺利地制作出符合相关掩模技术要求的各种模片，必须对所用胶片的特性有一个正确的了解和掌握，而且还应通过一系列预试验确定它们相应的处理条件。

胶片的特性主要包括它的感光特性、感色特性、分辨率以及清晰度等，其中与模片制作关系最密切的是胶片的感光特性。表征胶片感光特性的诸参数如感光度、反差系数、宽容度、灰雾度以及最大密度等，均可由其感光特性曲线（$\log E$）曲线导出，它们是正确选择模片处理条件的重要依据。

模片处理条件的选择，首先要根据相关掩模判读处理的需要，确定模片应有的 γ 值；然后再选择适当的显影时间，温度和搅拌强度等处理条件，以保证模片具有该 γ 值。为此必须通过预试验的方法，建立一系列连系模片 γ 值和上述处理条件的关系曲线图。

Ⅰ-1　胶片感光特性曲线及参数

通过胶片感光特性测量，可以得到一条把胶片密度（D）和相应的曝光量（E）连系起来的感光特性曲线。在此，胶片密度 D 定义为：

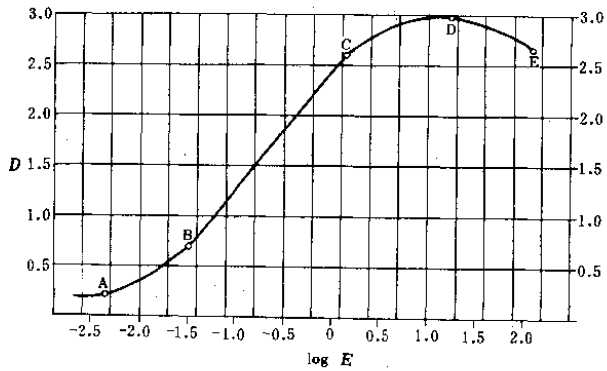
$$D = \log \frac{1}{\tau} \tag{Ⅰ-1}$$

其中，τ 是胶片的透过率，它表征了已显影的胶片乳剂对入射光的透过特性。

使胶片产生密度 D 的曝光量 E 定义为：

$$E = It \tag{Ⅰ-2}$$

其中，I 是入射胶片上的照度，单位为勒克司或米·烛光；t 是曝光时间，单位为秒。



图Ⅰ.1　胶片感光特性曲线示意图

根据 D 和 $\log E$ 的关系，该曲线可分为五个部分，如图Ⅰ.1所示：

（1）A 点左方灰雾部分：这部分的密度是胶片不经感光就产生的，称之为灰雾密度（D_0）；

（2）AB 段曝光不足部分（曲线趾部）：这段曲线的斜率缓慢增加，由于曝光不足，虽然曝光量增加，但密度加大很慢；

（3）BC 段曝光正常部分（直线段）：在此曝光量增加，密度也随之成正比例地增加，它们之间为直线关系；

（4）CD 段曝光过度部分（曲线肩部）：在这一段中曝光量增加，相应密度的加大又逐渐变慢，到一定程度密度停止增大。D 点是出现最大密度（D_{max}）的地方；

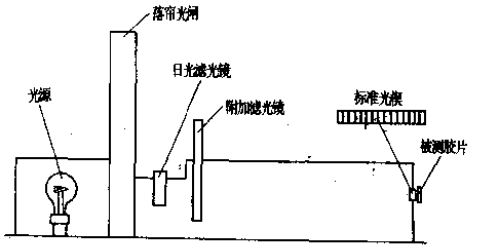
（5）D 点左方反转部分（负感部分）：自 D 点以后，曝光量增加，密度不仅不增加，反而逐渐降低。

在大多数情况下，为了保持各种物体的模片影象密度之间有一个正确的相对关系，往往要求它们的密度均落在该曲线的直线段上。

1．感光特性曲线的编制

这种曲线的编制过程可分四个阶段：

（1）被测胶片在感光仪上曝光。为了建立曝光量与密度之间的关系，必须使胶片在一系列较精确的已知曝光量条件下曝光。完成这种作业的仪器是感光仪，图Ⅰ.2是它的一般结构图，主要包括：光源、快门或控制曝光时间的定时器以及标准密度等级楔。这种等级楔控制落在胶片上的照度，它的级数一般在11级到21级之间。等级楔的密度范围由0—4.0 D，各级之间的密度差使曝光量产生 $\log 0.15$ 的变化。当被测胶片在感光仪上曝光之后，获得一个具有等级楔潜影的胶片条带；

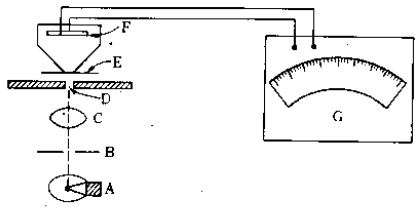


图Ⅰ.2　感光仪结构图

（2）对已曝光的胶片条带进行摄影处理。胶片在感光仪上曝光以后，应及时处理，包括：显影、水洗、定影、第二次水洗和干燥五个步骤。为了保证处理结果的一致性和可重复性，严格控制各种处理条件极为重要。这些条件包括：（a）显影液的强度和显影时间、温度的恒定；（b）搅拌速度的控制；（c）水洗和定影的控制；（d）胶片的干燥系数。

（3）胶片密度测量。在经过处理的胶片条带上，各个等级的密度楔影象，要用密度计进行测量，以及取得它们的密度数据。目前使用的密度计种类繁多，但归结起来有两大类：目视密度计和光电密度计。由于前者属早期产品，密度测量值与操作人员的主观因素甚为密

切，测量精度不高，逐渐为后者取代。图Ⅰ.3是光电密度计的结构图。



图Ⅰ.3　光电密度计结构图

图中A是光源，B是调节光线强弱的光阑，C是聚光镜，D是让光线射到被测胶片E的小光孔，F是光电池，G是灵敏电流计。电流计上读数不是电流强度，而是密度数值。

（4）测量数据的整理。这个阶段的主要任务是绘制胶片感光特性曲线，其步骤如下：

（a）根据感光仪制造厂家给出的数据或研究人员自己实测的结果，求出通过各级密度楔等级的光强（单位：米·烛光）；

（b）这些值分别与感光仪的曝光时间相乘，得到各等级相应的曝光量；

（c）这些曝光量分别取以10为底的对数，得到各等级相应的$\log E$；

（d）根据被测胶片各等级的实测密度值（D）和相应的$\log E$，在图Ⅰ.1中点绘关系曲线（密度沿y轴，$\log E$沿x轴），则可得到该图中的胶片感光特性。

2．感光特性参数的导出

表征胶片感光特性的诸参数均可由D-$\log E$曲线导出。下面分别介绍这些参数的概念和导出。

（1）感光度（S）　感光度表示胶片对光感受快慢程度的一个参数。它的数值可以达到一定密度（即参考密度）所需曝光量（E）的倒数乘以某个常数（C）表示，即$S=\frac{C}{E}$。这表明相同的摄影和处理条件下，胶片感光度越高，所需曝光时间就越短，反之亦然。目前，在国际上对选取基准密度的位置和方法还没有统一的标准，各国都有自己的规定，因此对同一种胶片求出的感光度数值也是各不相同的。它们之间的换算关系如表Ⅰ-1所示。由该表不难看出，$S_{0.85}$、ГОСТ、ASA和Weston都是数字每大一倍，感光速度也快一倍；而Din制数字每增加3°，感光速度就增快一倍。因为Din制是对数乘10表示感光度的，对数增加0.3，其数大1倍。

（2）反差系数（γ）　反差系数γ定义为特性曲线直线段的斜率，由以下公式（Ⅰ-3）计算：

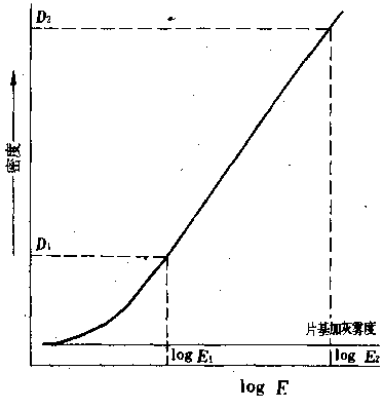
$$\gamma=\frac{D_2-D_1}{\log E_2-\log E_1} \qquad (Ⅰ-3)$$

其中，D_1和D_2分别为直线段上两点的密度值，E_1和E_2分别为相应的曝光量，如图Ⅰ.4所示。

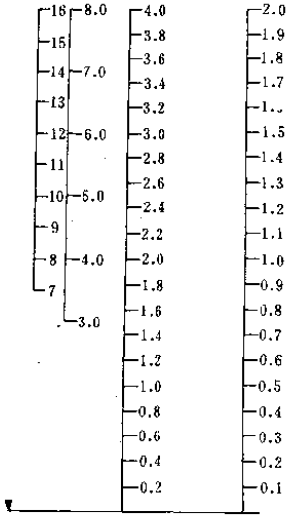
为了快速确定胶片的γ值，可以使用γ表。图Ⅰ.5是这种γ表的实例，图Ⅰ.6是这种表的使用方法。只要把γ表上用箭头指示的那一点，与D-$\log E$曲线上直线部分的起点重合，则可直接从该曲线直线段与γ表的相交点读出其γ的数值（图中为$\gamma=0.75$）。

表 1-1 感光度换算表

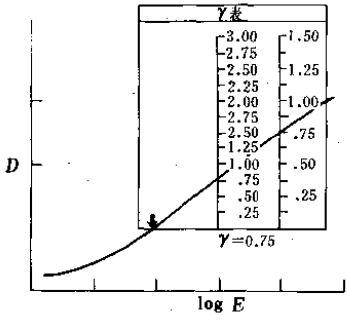
$S_{0.85}$ (中国)	ГОСТ (苏联国家标准)	Din (德国)		ASA (美国标准协会)		Weston (惠斯登)
		旧	新	旧	新	
	1.4	1°	4°	1	2	0.7
	2.0	2°	5°	1.2	2.4	1.0
	2.4	3°	6°	1.6	3.2	1.2
	3.0	4°	7°	2.0	4.0	1.5
	4.0	5°	8°	2.5	5.0	2.0
	5.0	6°	9°	3	6.0	2.5
	6	7°	10°	4	8	3.0
	8	8°	11°	5	10	4.0
	10	9°	12°	6	12	5.0
	12	10°	13°	8	16	6.0
	16	11°	14°	10	20	8.0
	20	12°	15°	12	24	10
	24	13°	16°	16	32	12
	32	14°	17°	20	40	16
	40	15°	18°	25	50	20
	50	16°	19°	32	64	24
	65	17°	20°	40	80	32
300	80	18°	21°	50	100	40
400	100	19°	22°	64	120	50
	130	20°	23°	80	160	64
600	160	21°	24°	100	200	80
800	200	22°	25°	125	250	100
1000	250	23°	26°	160	320	125
1200	320	24°	27°	200	400	160
1600	400	25°	28°	250	500	200
	500	26°	29°	320	640	250
	650	27°	30°	400	800	320
	800	28°	31°	500	1000	400
	1,000	29°	32°	650	1300	500
	1,300	30°	33°	800	1600	650
	1,600	31°	34°	1000	2000	800



图Ⅰ.4 反差系数定义与密度变化与相应对数曝光量变化之比值



图Ⅰ.5 γ表



图Ⅰ.6 γ表的使用

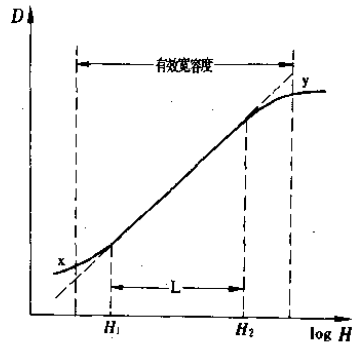
在实际工作中，反差系数和反差两个概念往往容易混淆，这是需要澄清的。由于胶片显影程度可以用D-log E曲线的形状和斜率表示，则可以认为γ是表征胶片显影程度或显影条件（显影时间、温度、显影液强度以及搅拌程度），对胶片特性曲线影响的一种方式或度量。如果显影条件改变了，γ值随之也会发生变化。而胶片的总反差是指胶片影象中最大和最小密度之差，它与许多因素有关、包括摄影曝光量、入射光的光谱成分、大气状况、物体反射特性以及摄影处理条件（或γ值）等。一般来说，γ值仅是影响反差大小的因素之一，而不是全部。例如，亮度差别不大的景象在胶片上曝光，不管显影时间多长(即γ值很大)，影象反差也不会太大；反之，亮度差别很大的影象，尽管胶片γ值很小，在影象上也会有较大的反差。但是，影象的密度如果均落在特性曲线的直线段上，其反差将随γ值的增高而加大也是正确的。因此，这两个概念虽然有极密切的联系，但也不能把它们混为一谈。

（3）宽容度（L）　在感光特性曲线上，只有直线部分才能按比例以不同密度表示景物亮度的差异。因此，直线段起点相应的曝光量就是正确表现原景物亮度差异所需要的最小曝光量；相应地，直线段终点的曝光量即为所需的最大曝光量。宽容度就是胶片能正确表达景物亮度的最大和最小曝光量之间的范围，它常以特性曲线在线段在横坐标轴上的投影长度表示（见图Ⅰ.8）：

$$L = \log E_2 - \log E_1 \qquad (Ⅰ-4)$$

为了利用曲线的趾部和肩部，有时也把它们计算在宽容度范围内，这样测定出来的宽容度称为有效宽容度。如图Ⅰ.7中 x 和 y 点（在这两点曲线的斜率为0.2）对应的曝光量对数之差就是有效宽容度。

一般来说，胶片宽容度越大，摄影或拷贝时曝光时间允许的伸缩范围就越大；反之，亦然。至于它和反差系数的关系，一般是 γ 大的宽容度小，γ 小的宽容度大。这是因为胶片的最大密度是有限的缘故。



图Ⅰ.7 宽容度求法

（4）灰雾度（D_0） 灰雾度定义为胶片不经感光就已产生的密度。对负片而言，它一般在0.1—0.2 D范围内；而对正片则小于0.1 D。灰雾度的大小除了和胶片本身质量好坏有关，还和胶片处理与保管情况有关。特别是，如果胶片保存不善或超过有效期，灰雾度会明显增加。

（5）最大密度（D_{max}） 最大密度是在 D-log E 曲线上密度随曝光量增加而开始减小，转折点相应的密度。也就是在曲线肩部和反转部分分界点对应的密度值。在胶片上任何密度都不可能比它再大了。一般来说，胶片密度大于2.5 D以后就不好使用了。

Ⅰ-2 模片处理条件确定

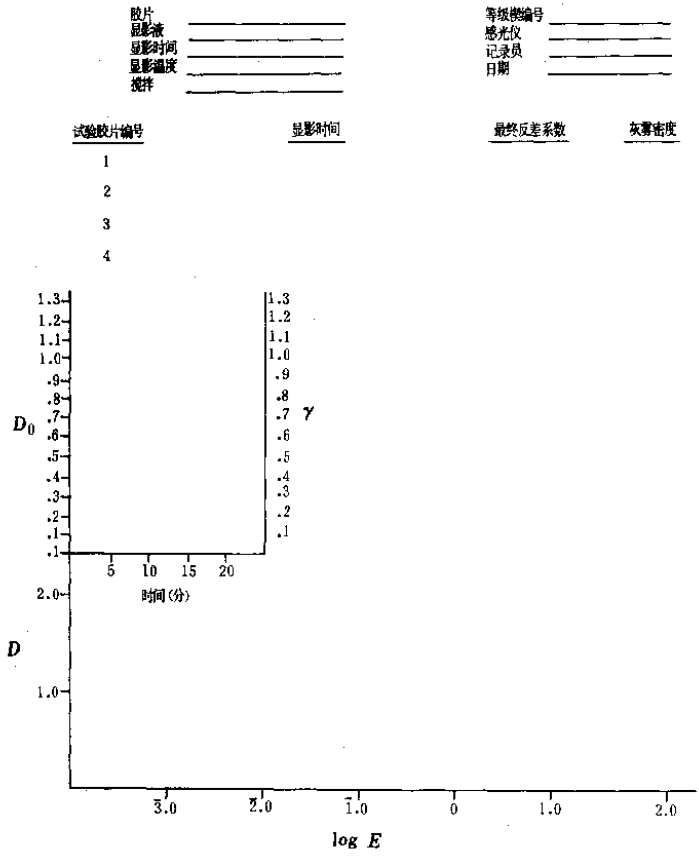
如前所述，模片处理条件确定，实际上是在制作时如何选择模片显影时间、温度、搅拌强度等条件，以保证该模片具有事先给定的 γ 值。为了解决这个问题，我们应在胶片类型和显影液性能相对固定的情况下，通过一系列预试验建立起上述条件与 γ 值的关系曲线，如时间-反差系数关系曲线，不同反差系数的显影时间—温度关系曲线以及搅拌强度—反差系数关系曲线等。这样，在选定了模片应有的 γ 值以后，就可以由曲线上查出制作该模片应具备的处理条件。

1. 显影时间-反差系数关系曲线

编制这种显影时间-反差系数曲线（或简称 t-γ 曲线）时，至少要用五条试验胶片在感光仪上曝光。然后，它们在相同的显影温度和搅拌强度下，以不同的显影时间处理。显影时间的选择，应包括从很短的时间（如2分钟）到出现很大 γ 值的时间（如20分钟）。经验表明：当显影时间增加到一定限度以后，显影时间再延长，γ 值也不会继续增加了，但这时胶片的片基和灰雾度变（D_0）将会不断加大。了解这一点在选择处理条件时是十分重要的。绘制 t-γ 曲线时可采用如图Ⅰ.8所示，具体步骤如下：

（a）被测胶片在感光仪上曝光之后，在相同的显影温度和搅拌强度条件下，分别以不同显影时间处理；

（b）分别测量和记录不同显影时间的各级密度等级楔影象的密度值；



图Ⅰ.8 时间-反差系数，时间-灰雾度曲线的记录图表

（c）把不同显影时间的D-log E曲线点绘在图Ⅰ.9中，并在每条曲线的旁边标上相应的显影时间和γ值，以免混淆；

（d）根据这些数据，在图Ⅰ.9左上角的小图中，沿x轴表示显影时间，沿右边的y轴表示γ值，则可得出一条t-γ关系曲线；

（e）测量不同显影时间胶片的灰雾度D_0，并以上角小图左边的y轴表示，因而可绘出显影时间-灰雾度关系曲线。

经上述步骤绘制出来的关系曲线的实例在图2.1中给出。其左上角小图中，上面一条曲线是t-γ曲线；下面一条是t-D_0曲线。根据这些曲线，可以具体选择使胶片产生某个反差系数而灰雾度又不太大的显影时间。

2. 显影时间-温度关系曲线

除显影时间对胶片γ值的大小有显著影响而外，显影液温度改变的影响也不容忽略。因此，当编制出不同反差系数的显影时间—温度关系曲线之后，使我们对选择保证模片具有某

个 γ 值的处理条件有更大的自由度和灵活性。因为在这种图上，可以给出产生某个 γ 值的处理条件的组合是很多的。也就是说，为了使模片具有某个 γ 值，它可以在很多不同的显影时间和温度的组合条件下处理。

在编制这种关系曲线时，至少需要有2条 t-γ 曲线，它们分别在不同显影温度，如65°F和75°F条件下取得的。其具体编制方法如下：

（a）在给定的搅拌和温度(如65°F)，只改变显影时间画出一簇 D-log E 曲线，进而给出其 t-γ 曲线；

（b）在同样显影液和搅拌条件下，以新的显影温度(如75°F)为前提，重复上述过程；

（c）以 y 轴表示显影温度，x 轴表示显影时间（以分为单位），在半对数纸上建立时间-温度曲线的坐标系；

（d）在65°F的 t-γ 曲线上取一个 γ 值，把它对应的显影时间点绘在上述坐标图中；同

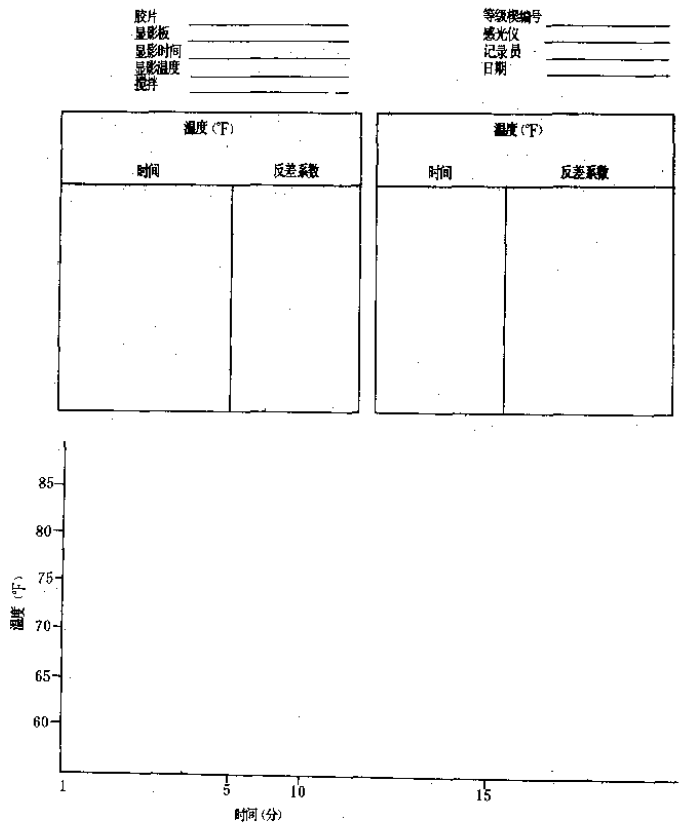


图 I.9　时间-温度关系曲线图表

样，在75°F的t-γ曲线上，找出上述γ值对应的显影时间，也点绘在坐标图中。然后，用一条直线把上述两点连起来，得到该γ值的一条时间-温度曲线。

（e）对每个有价值的γ值重复上述过程，这样就得出某种胶片以γ值为参变数的显影时间-温度关系曲线。由这种曲线图上，可以很方便地选择某个模片γ值的各种显影时间-温度组合关系曲线。

编制显影时间-温度关系曲线时用的数据图表格式在图Ⅰ.9中给出。这种关系曲线图的实例在图2.2中给出。一般来说，这种数据（包括t-γ曲线）应由胶片生产厂家提供，用户自己不必编制。但是，由于厂家给出的数据仅供一般摄影使用，不一定完全适合用户的需要，因此，用户往往要根据自己的要求和处理条件，通过试验的方法绘制。

3. 搅拌强度-反差系数关系曲线

在显影期间，搅拌强度（每分钟的次数）对最终影象的反差系数或质量也会产生一定影响。虽然搅拌强度的提高，将使特性曲线的γ值或斜率加大，但更重要的影响是使曲线的形状发生变化，如图2.3所示。图中六条同类型的胶片条带，在相同的曝光和显影条件下，以不同搅拌强度处理，因此得到一簇曲线，除了γ值的不同而外，它们在肩部出现了显著的差异。如果这种差异不加控制的话，所得胶片影象的色调将会出现不能预计的畸变。当然，在处理时不加搅拌，影象上就有可能出现杂乱而不均匀的亮斑。这是应该避免的。

应该指出：前面介绍的诸关系曲线的建立都是以给定某种胶片和显影液性能改变之后，这些关系曲线亦将发生相应的变化。为此，在必要的情况下，正式制作模片以前，首先应分别对所用的各种胶片和显影液进行预试验，建立它们各自的一系列关系曲线，以备在更大范围里选择适合的模片处理条件。

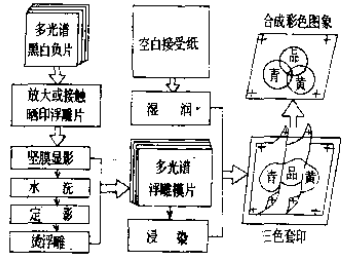
附录Ⅱ　染印法彩色合成的原理、器材和工艺

彩色染印法是根据减色法原理，利用染色后的浮雕模片，将染料影象转印到接受纸上，使之产生彩色图象的一种方法。这种方法不需要特殊的仪器设备，在一般能放大、洗印的暗室里就可作业。当浮雕片在暗室里制备后，可转移到明室染印。它操作方便，成本低廉，便于推广；同时染印出来的图象彩色鲜艳，不易退色，可大量复制，长期保存。在处理多光谱影象时，模片制作无需经过彩色胶片分色程序，工艺大为简化。这些都是它的优越之处。目前，这种方法已在多光谱影象处理和应用领域中得到了日益广泛的应用[14]。

Ⅱ-1　原　　理

在介绍染印法之前，先简要地介绍一下它的工作原理和过程。

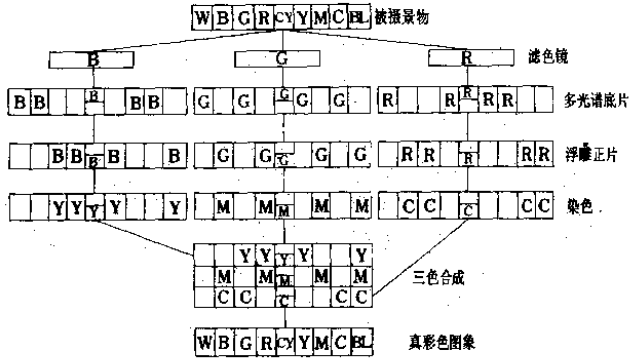
染印法是一种减色彩色合成方法。在第二、三章里，从色度学角度对它已有详细介绍。在此，我们将结合具体的彩色染印过程加以说明。彩色染印法合成处理的工艺过程如图Ⅱ.1所示。



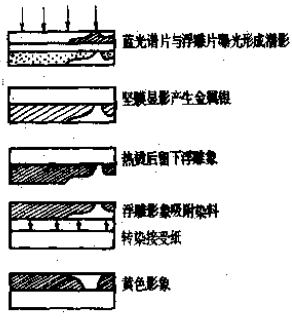
图Ⅱ.1　彩色染印法工艺过程

从图Ⅱ.1可见，彩色染印法用接触或放大的方法，用浮雕片将多光谱段影象分别拷贝成浮雕影象称做浮雕模片。为了获得真彩色图象，可以令蓝光谱段浮雕模片染成黄色，绿光谱段染成品红色，红光谱段染成青色，然后一起套印在接受纸上即可。这个从各种彩色物体被多光谱摄影到多光谱染印合成的过程，或者说各种彩色的分解和再现的过程在图Ⅱ.2中给出。

为了进一步说明这种变化的具体过程，我们以蓝光谱影象的染印处理为例。在多光谱摄影时，在蓝光谱段照象机里，只有被摄物体能反射蓝光的才能使感光胶片感光，显影后为深浅不同的黑色影象；而不反射蓝光的物体，在胶片显影后为透明影象。利用该光谱段胶片拷贝浮雕片时，透明影象部分可以使浮雕片感光；而黑色影象部分不能使浮雕片感光或者感光不足。在浮雕片上未感光部分的氯化银或明胶，经定影和热洗被除去；已感光部分则保留下来。结果，产生了凹凸不平的浮雕模片。



图Ⅱ.2 染印法彩色合成原理图



图Ⅱ.3 黄色图象染印处理过程

当这种浮雕模片放在黄染料中染色时，浮雕影象根据其厚度的大小，成比例地吸附黄染料的分子。这是由于明胶是一种高分子蛋白质，由各种氨基酸组成。各种氨基酸里都同时存在着NH_3^+和COO^-基团，因此明胶是一种同时兼有酸性和碱性的两种电解质，具有等电点的基本属性。在酸性介质中，即溶液pH值小于明胶等电点时，NH_3^+—Gel—$COO^- + H^+ \rightarrow NH_3^+$—Gel—COOH（注意：Gel表示明胶）。这时，明胶分子呈碱性，带正电荷。在一定限度内，溶液pH值越低，正电荷的数量越多，总强度也越大。在这种情况下，明胶分子的正电荷与染料分子的磺酸根负电荷相互作用：$DyG—SO_3^- \cdots + NH_3$—Gel—COOH（注意：DyG表示染料），就把酸性染料分子吸附在浮雕影象上了。当浮雕模片与接受纸叠在一起时，浮雕模片上的黄染料就被接受纸上的媒染剂吸附转染成不同深浅的黄色图象了，如图Ⅱ.3所示[15]。

同理，绿、红光谱段可以分别染印成品红和青色图象。当三个光谱段影象依次套印在一张接受纸上的时候，就可以获得一幅再现出来的真彩色图象。当我们改变上述光谱段-染料组合方案时，将可以得到各种不同的假彩色图象。

Ⅱ-2 器　材

仪器设备

它们都是一般的在暗室里使用的摄影处理设备：放大机、印象机、曝光定时器、普通显影、定影器皿、恒温水箱、染料槽、酸度计、胶辊、塑料片、夹子以及转印台板等。

在这些仪器设备里，对放大机有较高的要求：

（1）在承影面上，放大机的照度在整个视场范围里应该均匀一致，否则将会使染印出

来的彩色象片色彩不均匀。如果放大机镜头渐晕现象明显，处理出来的象片在边角处，彩色的饱和度要比中心部分有所下降，显得发暗。

（2）当放大机的放大倍数和焦距调节好之后，应该有锁定装置，使镜头和底片的位置严格地固定下来，以保证在一组多光谱段影象的浮雕模片曝光过程中，不发生任何移动，否则在转印时几张浮雕模片的影象将无法精确套合。

（3）放大机应有足够的放大倍数的调节范围，以使不同比例尺的影象模片得以顺利制作。

酸度计是一种很重要的仪器。因为在调整染料平衡、改变影象彩色密度反差以及整个处理过程中，都需要用这种仪器不断测量染料和酸水等的pH值。

此外，在定量分析浮雕模片及最终染印出来的彩色象片时，还要用到感光仪及彩色密度计等。

浮雕片

浮雕片是一种特殊的感光材料，片基上除涂卤化银外，还含有较多的明胶和其它阻光染料。根据感色性能，浮雕片可分为盲色、分色以及全色三种类型。

盲色浮雕片，在乳剂中不加光学增感染料，仅对紫、蓝光敏感。制作浮雕模片时，均可在红灯下操作。

分色浮雕片，这种浮雕片可分感蓝、感绿和感红三种。感蓝浮雕片基本上和盲色片相同；感绿浮雕片是在乳剂中加入了感绿增感剂及阻绿染料或炭黑；感红浮雕片是在乳剂中加入了感红增感剂和阻红染料或炭黑。用分色浮雕片，可以直接以彩色底片分制模片，而无需使用分色中间片。它们可在绿光灯下操作。

全色浮雕片，用途与分色片相同。在制作时，乳剂中加入了感绿、感红增感剂，对可见光全部敏感，同时还加入了对可见光广泛吸收的各种阻光染料或炭黑。它们只能在全黑暗室中操作。

在浮雕乳剂中加入阻光染料，其作用是控制曝光后产生的不同梯度的密度值，以产生浮雕影象。对于这种阻光染料的要求是：

（1）必须对色光有吸收能力，从而有效地控制生成浮雕的梯度，稳定乳剂的反差；

（2）加在乳剂中不能严重影响乳剂的摄影和物化性能；

（3）阻光效率高，底色浅，不挂色以及不引起胶片坚膜；

（4）用于全色浮雕片的阻光染料，还应对色光有一定的反差平衡。

无论上述那一种浮雕片，都要求它们有颗粒较细、速度较快、反差适中、灰雾小、纯度高等优点。目前，我国采用醋酸片基。这种片基伸缩大，对叠合套印有一定影响。改用涤纶片基，将具有片基薄、变形小等优点。

接受纸

接受纸是一种用来接受浮雕模片转染的染料影象，供印制染印法彩色图象专用的纸。它在铯底纸上涂明胶，然后把纸浸入以硫酸铝为主剂的媒染液中，进行媒染处理。媒染剂的作用可减少转染时染料的渗散，提高画面清晰度，使染料转移下色完全并保证色彩得到平衡。用一般感光纸定影之后，经过媒染处理，也可以作为接受纸使用，只是效果不如专门制作的

接受纸好。媒染剂应有如下特点：

（1）有良好的媒染性能、与染料能迅速结合，固定最大数量的染料，同时它和染料结合的产物对水、热应有高度的稳定性；

（2）有良好的染印性能，不易向浮雕片扩散；

（3）对明胶应有好的相容性，不得损害明胶的机械和光学性能。

染料及配方

在进行染印处理时，使用黄、品红、青三种酸性染料。其性能如表Ⅱ-1所示。这些染料需要按以下配方配制，然后置于染料槽内使用。在配药时，应先用少量水把染料搅拌成浆糊状，然后再将水倒入。在使用时，要特别注意药液的清洁及酸度的变化。另外，在这三种染料中，青染料最容易发生沉淀，因此在配药和使用时都应特别注意。

表Ⅱ 1 染料的性能

名 称	纯 度	光 活 性 能	感 光 特 性		pH 值	色 牢 度
			密 度	反 差		
黄	1	420 毫微米	1.3	1.0	2.5—4	很 差
品红	2	550 毫微米	2.5	2.0	2.5—4	较 好
青	3	620 毫微米	2.5	2.0	2.5—4	—

青染料（pH = 4.2）

酸性蒽醌菁	0.7克
三乙醇胺	15毫升
EDTA	2.5克
醋酸钠	1 克
对甲苯磺酸	1.2克
冰醋酸（98%）	13毫升
蒸馏水加至	1,000毫升

品红染料（pH = 4.4）

酸性坚牢玉红	2 克
三乙醇胺	10毫升
EDTA	2 克
醋酸钠	1.5克
冰醋酸（98%）	7 毫升
蒸馏水加至	1,000毫升

黄染料（pH = 3.9）

酸性耐光黄	1.7克
三乙醇胺	10毫升
EDTA	2 克
醋酸钠	1.5克
冰醋酸（98%）	17毫升

蒸馏水加至	1,000毫升

摄影处理配方

坚膜显影液

A液：	
蒸馏水加热50°—60°，	1,000毫升
邻苯三酚（焦性没食子酸）	5.5克
溴化钾	7.5克
米吐尔	6.3克
对羟基苯甲酸甲酯	1.05克
B液：	
蒸馏水	1,000毫升
无水碳酸钠	125克
六偏磷酸钠	10克

定影液

海波	200克
偏重亚硫酸钠（钾）	17克（20克）
水	1,000毫升

酸水配方

一次酸水	
冰醋酸（98%）	10毫升
水	1,000毫升
pH	3.25左右
二次酸水	
冰醋酸（98%）	15毫升
水	1000毫升
pH	3.1左右

润湿液配方

氨水	1毫升
水	1,000毫升

媒染液配方

A液：	
硫酸铝	200克
加水至	1,000毫升
B液：	
无水碳酸钠	40克
加水至	1,000毫升

（使用时A，B液等量混合）

Ⅱ-3 工　艺

多光谱段影象的染印法处理，由于不需要经过彩色分底阶段，因而其工艺流程主要包括两个阶段：模片制作和染印象片。如图Ⅱ-1所示。

模片制作

模片制作的过程，如图Ⅱ-1所示。它包括模片的曝光、显影、水洗、定影以及热水处理等步骤。

1. 模片曝光

模片的曝光可用放大机进行。当制作一组多光谱段影象的浮雕模片时，先把其中一张放入底片夹，通过调整放大机使其尺寸满足要求、影象清晰、然后把放大机固定好，以保证后来放大的每一张光谱段模片尺寸大小一致。在曝光时，先把浮雕片药膜向下，背面向上，平放在放大机的承影板上，然后用干净的玻璃压住即可进行曝光。各个光谱段模片曝光正确与否，直接关系到最终合成影象的质量好坏，是一个极为重要的环节。由于每组多光谱负片以及每个光谱段的负片，在密度上不完全一致（或不需要完全一致），每张模片所需的曝光量也各有差异，所以要得出正确的曝光量必须经过反复的试验，浮雕片曝光正确与否，单凭目视判别是不够准确的，必须把它们放在一组平衡的染料中，染色转印在接受纸上。如果影象中灰色目标的影象部分得以正确还原，即在染印彩色象片上仍为灰色的话，说明这一组多光谱段模片的曝光比例是正确的。如果它们在还原时偏某种彩色，则需要调整其中一张或两张浮雕片的曝光量。调整时，一般可参考表Ⅱ-2进行。一般规律是：曝光量增强，使最终染印的彩色影象色调加浓；曝光量减小，则最终彩色影象变淡。

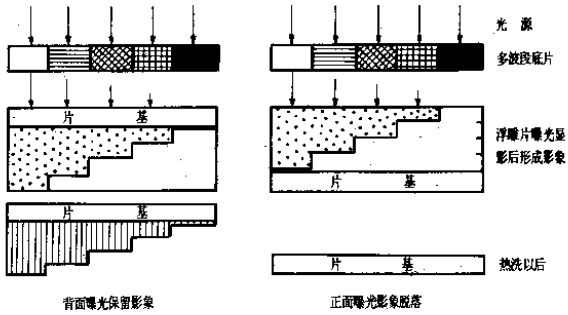
表Ⅱ-2　模片曝光量改正

整个影象彩色	产生原因	调整方法	
		增加曝光量	减少曝光量
太浅	三张模片曝光不足	黄、品、青	
太深	三张模片曝光过度		黄、品、青
偏蓝	品、青曝光多	黄	品、青
偏绿	青、黄曝光多	品	青、黄
偏红	黄、品曝光多	青	黄、品
偏黄	黄曝光多	青、品	黄
偏品	品曝光多	青、黄	品
偏青	青曝光多	黄、品	青

根据上表，如果象片偏某种色彩时，可增加或减少一个或两个模片的曝光量加以改正。具体采用那种方法，要看象片彩色的深浅而定。如果彩色较淡，可采用增加曝光量的方法；反之，如果画面彩色很深，可采用减少曝光量的方法。

应该再次强调：在制作浮雕模片时，浮雕片的药膜面必须背向光源方向置放。也就是说，在用放大机制作时，它的药膜面应向下放；而在用印象机时，它的药膜面应向上放。如果药

膜面的方向放反了，在热水冲洗（或“烫浮雕”）过程中，会产生全部胶层脱落的现象。见图Ⅱ.4。



图Ⅱ.4 浮雕片正、反面曝光的效果

此外，在制作模片之前，一定要用网格把放大机的物面（底片夹）和象面（承影板）调整平行，根据放大比例要求，仔细对好焦点，紧固放大机有关部件。在换多光谱段负片时动作要轻快，尽可能把同一组多光谱片放在底片夹中的同一位置上。此外，一组浮雕片在承影板上的位置和方向也应该一致，不要有的横放有的竖放。之所以这样要求是因为沿浮雕片横、竖方向伸缩变形的数量是不同的。上述措施的采取对于保证一组多光谱段模片大小一致，提高最终染印合成影象清晰度和分辨率是十分重要的。

2. 显影处理

浮雕片经过曝光之后，在其上形成潜影，要经过显影、水洗、定影处理才能显示可见稳定的影象。在显影时，使用的显影液，一方面具有一般黑白胶片显影液的特性；另一方面又有自己的独特之处，即它既能使潜影显影，又使明胶影象起坚膜作用。这种显影液以邻苯三酚（焦性没食子酸）为主要成分，由于它与促进剂混合之后极易氧化，只能保存几分钟，所以这种显影液都是分开配制的，一般分成A，B液，仅在显影时混在一起使用。由于使用的多光谱段负片具有不同的反差，可参照表Ⅱ-3给出的数据，选择A，B液的比例。但是应该指出，表中所给数据也不是固定不变的，更主要地是靠通过实验，取得经验，灵活地加以运用。显影时间在常温下(20℃左右)，一般从1.5—2分钟为宜。显影时，必须注意经常搅到药液，

表Ⅱ-3 显影液比例的选择和效果

多谱段负片反差	A液与B液的比例	浮雕模片影象反差
1.0以下	1:6	极低反差
1.1—1.3	1:4—5	低反差
1.3—1.4	1:3—4	中等反差
1.5—1.6	1:1.5—2	高反差
1.7—2.0以上	1:1	极高反差

以防产生显影不均匀的现象。用过的显影液应立即倒掉。整个显影过程均可在暗室红灯下进行。

浮雕模片显影结束后，应立即放在清水中，（约半分钟），洗去附在表面的显影液，然后再定影。这样做将可延长定影液的使用寿命。定影过程的作用是要去掉浮雕模片上未感光的银盐，一般以5分钟左右为宜，(以模片透明为标准)。定影2分钟之后即可开灯，在亮光下观察。定影时间不宜过长，否则未硬化的明胶被氧化，而不易烫洗掉。当然，定影时间也不能太短，否则未感光部分的卤化银见光后仍会继续感光变成黑色影象。

3．热水处理

经过上述处理，模片中已曝光的卤化银被还原为金属银，变成醌式氧化产物与明胶大分子的交联、硬化，不再溶于水，而未硬化的明胶层，需要50℃左右的热水冲洗二至三次，每次冲洗时间为30秒，把未硬化的明胶全部洗掉。最后，硬化的明胶部分保留下来，形成凹凸不平的浮雕影象。由于热水处理后，浮雕膜松软，操作时必须十分小心，防止碰坏浮雕模片。有时，由于明胶硬化，偶尔有一些明胶斑痕洗不掉。如果产生这种现象时，可在热水处理时用脱脂棉、毛笔将它们轻轻去掉。

染印象片

在染印象片阶段主要有模片染色、酸水处理和套印象片等步骤：

1．模片染色

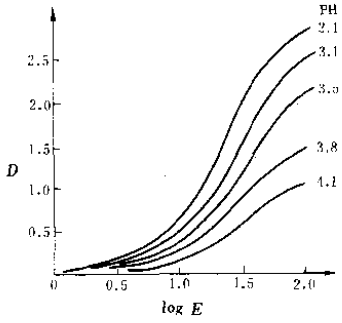
经过上述处理，模片可分别浸入黄、品、青染料里，浸泡的时间一般在5—6分钟左右，即可取出进行酸水处理。如果所用浮雕片是干燥的，应事先在50℃的热水里浸泡5分钟，使其胶膜膨胀，以便能够吸收染料。在这个步骤中，把染料调整好并保证其性能稳定，是十分重要的。

在染料配好之后，应不断调整其酸碱度、浓度，以保证它们在彩色上是平衡的。具体的办法是利用一条标准等级楔，按相同条件制作一组模片，分别浸泡在黄、品、青染料里，大约5—6分钟，然后用它们来染印象片。如果，染出来的等级光楔象片为中性灰色，说明这一组染料合乎要求，是平衡的；否则，需要改变它们的酸碱度和浓度，一直调整到平衡时为止。一组彩色平衡的染料，其配方往往要经过多次反复试验才确定下来。但是一经确定之后，对它们的酸度（pH）值和浓度是固定的。一般不需要我们花费过多的精力再去试验，只要求我们经常检查其酸度，并用光楔(或同一张黑白影象制作的一组模片)检查染料的染印效果，使之性能始终保持不变即可。

试验证明：染料在使用过程中，其酸度及浓度均会出现变化。一般来说，pH值小染印出的象片彩色密度反差大；pH值大彩色密度反差小。在图Ⅱ.5给出了染料pH值和彩色密度之间的关系。如果染料出现变化，光楔染印象片偏色的话，可根据上述规律加以调整。对于三种染料规定的pH值，青染料是4.1—4.2；品青染料是4.3—4.4；黄染料是3.7—3.8。

在使用过程中，染料如果保存得好，可以使用很长时间，半年不用更换。如果模片上的胶质没有冲洗干净，或者出现沉淀物，均会影响到染料的清洁度，使染印出来的象片出现一些色斑。因此，每隔一定时间应把染料煮沸，过滤，以保持其清洁度是十分必要的。

应该指出：如果染料沉淀物浮在模片上，套印之前又没冲洗干净，象片就会出现染不上色的现象。在这种情况下，染料从模片上下不来，称之为“堵浮雕”，其结果只能是模片报



图Ⅱ.5 染料pH值与彩色密度的关系[16]

废。因此，在浮雕片进入染料之前，必须用热水洗净；从染料取出后，应细心观察是否有染料沉淀物附着其上。如有上述情况，必须用酸水仔细冲洗或用热水浸泡，然后再重新用以染色。

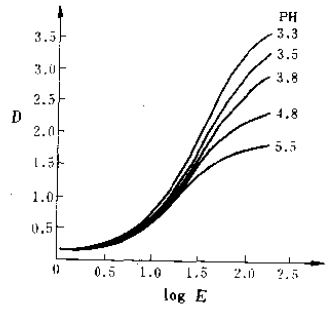
2. 酸水处理

模片从染料中取出，为了把浮雕模片表面上的染料洗掉，需要进行酸水处理。如果用中性水洗，就会将浸入胶层里的染料也洗掉，其原因是两者酸度不同之故。在酸水处理时，应使用与染料pH值相等的酸水，这样既可以洗掉浮雕模片上面的染料，又不影响浸在胶层里的染料。浮雕模片从染料槽里取出来之后，要经过两次酸水处理，第一次酸水最好漂洗一张浮雕模片，就换一次水；第二次酸水可使用多次，直至呈现灰色时再更换。第一次酸洗约3—4分钟，再放在第二酸水中洗半分钟，就可取出染印象片。

酸水的pH值应与染料的一致。这是因为明胶分子是由各种氨基酸构成。在分子尾端和侧链上，同时含有氨基和羟基，氨基可与酸类作用，羟基又能与碱类作用。因此，明胶是一种两性物质。当明胶分子中的正电荷与负电荷数相等时，呈中性，当浮雕明胶浸染酸性染料后，pH值下降，整个明胶分子带负电荷。根据等电点的道理，必须用相同pH值的酸水，才能使吸附的染料稳定下来。如果改变酸水的pH值，染印象片的彩色密度反差也随之变化（如图Ⅱ.6）。一般来说，用pH值大的酸水洗涤，染印彩色淡；反之，在pH值小的酸水洗涤，染印彩色浓。根据这个道理，常用酸性水的pH值大小，来调整染色的深浅，保证整个图象的色彩效果。

3. 套印象片

在套印之前，接受纸应放在氨水里浸泡大约5—10分钟。由于在接受纸表面上涂有一层媒染层，用来吸附固着于模片上的染料，以保证影象的清晰度。媒染层一般采用对酸性染料吸附能力较强的酸法胶，并加入一定比例的媒染剂。接受纸放在0.1%的氨水里，目的在于使纸基柔软，以便和浮雕模片紧密贴附转移染料。



图Ⅱ.6 酸水pH值与彩色密度的关系[16]

接着，把浸泡过的接受纸，药膜面向上平铺在塑料板或玻璃板上，用胶皮刮板，刮去接受纸上的水滴。然后，把青色浮雕模片影象向下，叠压在接受纸上，用胶皮滚子轻快地朝一个方向滚压，迅速赶出模片和接受纸之间的水分和汽泡。4—5分钟后，模片上的染料便转移到接受纸上，揭去浮雕模片，在接受纸上便留下了青色影象。然后，在接受纸上覆盖一张透明塑料片，再把品红浮雕模片，按框标或明显地物，精确地重迭在青色影象上。用夹子把浮雕模片和接受纸一端固定在塑料板上，揭开另一端，抽去塑料片，迭放下浮雕模片，滚压转印品红影象。最后，再用同样方法转印黄色影象，即可得到一张彩色染印合成象片。

染印好的象片，如发现有缺色斑点，可用毛笔适当补色，然后放在上光机上，低温慢速干燥，象片的彩色不会发生变化。如用涂塑接受纸无需上光，可在通风无尘的室内晾干，得到光亮平整的彩色象片。

一张染印彩色象片的彩色是否正确，决定于所有多谱段浮雕模片的质量，但在染印象片时，如果彩色还原不够理想（偏色或少色）的话，在转印时可以调整。所用方法有三种：

（1）酸水处理：印出来的象片如果某种色彩较浅时，可将染色后的模片直接放入二次酸水中，以使这种浮雕模片保留较多的染料，提高模片的上色率。如果偏某种色的话，可将第一次酸水用中性水冲淡或直接用中性水洗，降低上色率。

（2）二次或多次套印：印出的象片如果彩色太浅，可将该色模片连续套印二次或三次；

（3）局部调整：印出的象片，如果整个影象色彩还原较好，只是局部色彩过浓，可以用冲淡的酸水或中性水局部冲洗，其上述过浓的部分。只是冲洗部位要准确，不要把不该冲洗的地方冲洗了。否则，会出现彩色不均匀的现象。

附录Ⅲ　多光谱加色合成影象色度计算公式的导出

为了更好地分析和判读各光谱段的黑白影象，往往要对它们进行彩色合成处理。这种处理实际上是多光谱段影象密度与色度之间的一种变换。

根据1970年CIE关于色度学的正式推荐书指出：在CIE 1931年标准色度系统中，三刺激值X，Y，Z可以按如下公式计算：

$$\begin{aligned} X &= k\sum_{\lambda}\varphi(\lambda)\bar{X}(\lambda)\Delta\lambda \\ Y &= k\sum_{\lambda}\varphi(\lambda)\bar{Y}(\lambda)\Delta\lambda \\ Z &= k\sum_{\lambda}\varphi(\lambda)\bar{Z}(\lambda)\Delta\lambda \end{aligned} \qquad (Ⅲ-1)$$

其中，$X(\lambda)$，$Y(\lambda)$，$Z(\lambda)$是CIE 1931标准色度观察者规定的光谱三刺激值：K是归一化系数，$k=100/\sum_{\lambda}S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)\Delta\lambda$，它在色度计算过程中可以消去；$\Delta\lambda$是计算波长间隔，一般可选$\Delta\lambda=10$毫微米；$\varphi(\lambda)$是色刺激函数（或光谱辐射通量对于物体色来说，它是物体光谱反射率$\rho(\lambda)$，或光谱辐射率$\beta(\lambda)$或光谱透过率$\tau(\lambda)$与照射物体的施照体（如光源）的光谱辐射通量$S(\lambda)$的乘积，即：

$$\begin{aligned} &\varphi(\lambda)=\rho(\lambda)S(\lambda) \\ \text{或}\quad &\varphi(\lambda)=\beta(\lambda)S(\lambda), \\ &\varphi(\lambda)=\tau(\lambda)S(\lambda) \end{aligned} \qquad (Ⅲ-2)$$

当我们讨论合成仪屏幕上某物体合成影象的色度问题时，其色刺激函数将和合成仪光源的光谱辐射通量$S(\lambda)$及系统的光谱透过率$\tau(\lambda)$（包括加在光路中该物体影象的胶片透过率）相连系，而且它将是i个光学投影通道色刺激函数之和。如果，令$i=5$，则

$$\varphi(\lambda)=\sum_{i=1}^{5}\varphi_i(\lambda) \qquad (Ⅲ-3)$$

把(Ⅲ-3)代入式(Ⅲ-1)，可导出：

$$\begin{aligned} X &= \sum_{i=1}^{5}X_i \\ Y &= \sum_{i=1}^{5}Y_i \\ Z &= \sum_{i=1}^{5}Z_i \end{aligned} \qquad (Ⅲ-4)$$

式中，

$$X_i=k\sum_{\lambda}\varphi_i(\lambda)\bar{X}(\lambda)\Delta\lambda;$$

$$Y_i=k\sum_{\lambda}\varphi_i(\lambda)\bar{Y}(\lambda)\Delta\lambda;$$

$$Z_i = k\sum_{\lambda}\varphi_i(\lambda)\bar{Z}(\lambda)\Delta\lambda。$$

对合成仪某个投影通道 i 而言，该物体的色刺激函数 $\varphi_i(\lambda)$ 与屏幕上的光谱照度成比例，因此我们可以把它看成是一个类似于电影放映机的投影系统写出[12]：

$$\varphi_i(\lambda)=\frac{\pi S(\lambda)\tau_i(\lambda)}{4(f_i^*)^2\beta^2} \qquad (Ⅲ-5)$$

其中，f_i^*是该通道投影镜头的光圈数；β放大倍数($\beta=r/f$，r是镜头-屏幕的距离；f焦距)；$S(\lambda)$是投影系统光源的光谱辐射通量分布，可以根据光源色温导出，并假定各通道的$S(\lambda)$相等；$\tau_i(\lambda)$是i通道总的光谱透过率，它等于投影系统光学透过率$\tau_f(\lambda)$，光路中加入的滤光片透过率$\tau_i^f(\lambda)$以及影象胶片的透过率$\tau_j'(\lambda)$之乘积。如果各通道的光学系统透过率$\tau_f(\lambda)$相等，在色坐标值计算过程中可以消去，其影响可以忽略不计；胶片的透过率

$$\tau_j'(\lambda)=(\text{anti}\log D_j)^{-1},$$

则

$$\tau_j(\lambda)=\tau_i^f(\lambda)\cdot(\text{anti}\log D_j)^{-1} \qquad (Ⅲ-6)$$

因而，式（Ⅰ-5）可改写为：

$$\varphi_j(\lambda)=\frac{\pi S(\lambda)\tau_i^f(\lambda)}{4\beta^2(f_i^*)^2\text{anti}\log D_j} \qquad (Ⅲ-7)$$

注意脚标j表示不同摄影光谱段的编号，例如D_j表示某种物体在第j个光谱段影象中的密度。为了区分合成仪各通道使用的光谱段影象，脚标j分别用a，b，c等字母代替。在实际使用过程中，这些字母可以是任何一个j值的代表。

如果把（Ⅲ-7）代入（Ⅲ-4）式，则可以写出计算物体合成影象三刺激值的一般公式：

$$X=\frac{k\pi\sum\tau_1^f(\lambda)S(\lambda)\bar{X}(\lambda)}{4\beta^2(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{k\pi\sum\tau_2^f(\lambda)S(\lambda)\bar{X}(\lambda)}{4\beta^2(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{k\pi\sum\tau_3^f(\lambda)S(\lambda)\bar{X}(\lambda)}{4\beta^2(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c}$$

$$Y=\frac{k\pi\sum\tau_1^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{k\pi\sum\tau_2^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{k\pi\sum\tau_3^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c}$$

$$Z=\frac{k\pi\sum\tau_1^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)}{4\beta^2(f_1^*)^2\text{anti}\log D_a}+\frac{k\pi\sum\tau_2^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)}{4\beta^2(f_2^*)^2\text{anti}\log D_b}+\frac{k\pi\sum\tau_3^f(\lambda)S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)}{4\beta^2(f_3^*)^2\text{anti}\log D_c} \qquad (Ⅲ-8)$$

由上式不难看出：只要合成仪各通道相应的$\tau_i^f(\lambda)$（即使用的滤光片）确定之后，我们不断改变a，b，c所代表的光谱段编号(即改变各通道使用的光谱影象)，就可以获得不同的滤光片-光谱段的影象增强效果，在式中另一个参数（f_i^*）也是可以随时调整的。

在X，Y，Z计算出来之后，可进一步计算该物体合成影象的色坐标X，Y，确定它们在色品图中的位置，从而求出它们的色相(主波长)、饱和度及亮度等参数，供选择最佳处理方案及影象彩色定量分析判读之用。

物体彩色合成影象色坐标X和Y的计算公式为：

$$X=\frac{X}{X+Y+Z}$$

$$Y=\frac{Y}{X+Y+Z} \qquad (Ⅲ-9)$$

图Ⅱ.1是一张色品图，根据物体影象的色坐标X，Y，可以确定它在色品图中的位置。例如点B。如果，把B点和图中白点W相连，并将WB延长，和单色光的舌形曲线交于A，

点A相应的波长就是该物体彩色合成影象的主波长。但是对于落在WPR三角形中的任意一点C，就不能按上述方法求其主波长。这时，可得W、C的连线WC向反方向延长，与舌形曲线相交于D点。显然，将D点的光与C点的光按一定比例混合就可以得到白光W，也就是说C点的光与D点的光是互补的。因此，把D点代表的单色光波长称为C的补色主波长[13]。

影象色彩的饱和度也可以从图Ⅲ.1中确定。对前一种情况，饱和度Sa是WA与WB长度之比，可写作：

$$Sa=\frac{\mathrm{WB}}{\mathrm{WA}} \qquad (\text{Ⅲ}\ 10a)$$

对于后一种情况，可以把WC连线延长，与舌形图中的底边PR相交于E点，则饱和度Sa等于WE和WC线段长度之比，即：

$$Sa=\frac{\mathrm{WC}}{\mathrm{WE}} \qquad (\text{Ⅲ}\ 10b)$$

影象的亮度Y'用相对值（百分数）表示。它定义为式（Ⅲ 8）的计算值Y与在各投影通道有效孔径最大，且$(\mathrm{anti}\log D_j)^{-1}$时的计算值$Y_{\max}$之比，即：

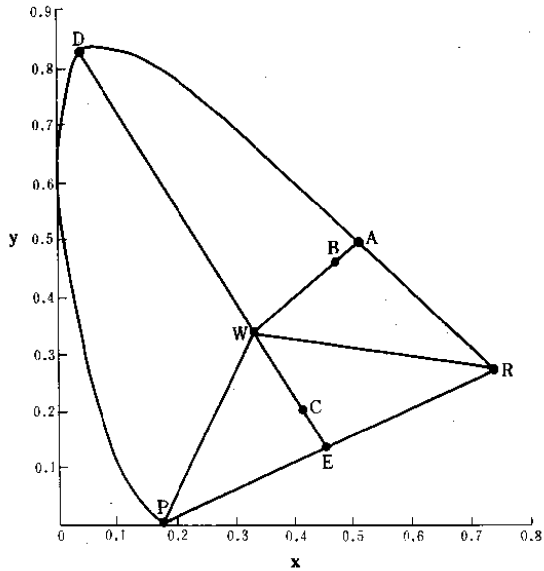
$$Y'=Y/Y_{\max} \qquad (\text{Ⅲ}\ 11)$$

其中，$Y_{\max}$根据式Ⅲ 8可写成：

$$Y_{\max}=\frac{k\pi\sum\tau_1 f_1(\lambda)S(\lambda)\overline{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_1^*)^2_{\min}}+\frac{k\pi\sum\tau_2 f_2(\lambda)S(\lambda)\overline{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_2^*)^2_{\min}}+\frac{k\pi\sum\tau_3 f_3(\lambda)S(\lambda)\overline{Y}(\lambda)}{4\beta^2(f_3^*)^2_{\min}} \qquad (\text{Ⅲ-12})$$

式中，$(f_j^*)_{\min}$表示镜头光圈的数字最小，此时其有效孔径最大。

下面，我们具体地导出彩色合成影象三刺激值的计算公式，说明色度数据的计算过程。



图Ⅲ.1 色品图及主波长、饱和度的确定

并进一步探讨彩色合成中的一些问题。

为了导出式（Ⅲ-8）的具体计算公式，可经过下述步骤：

（1）作表(Ⅲ-1)，求$S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$，$S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)$，$S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)$

ⓐ 第一栏：波长λ，每10毫微米取一值，总的波长范围由380到780毫微米；

ⓑ 第二栏：光源光谱辐射通量$S(\lambda)$，可根据光源色温3200°K和功率求出，但是为了简化计算，在此给出的只是相对值[13]；

ⓒ 第三、五、七栏分别为$\bar{X}(\lambda)$，$\bar{Y}(\lambda)$，$\bar{Z}(\lambda)$。可由CIE的有关表格查出；

ⓓ 分别计算$S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$，$S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)$，$S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)$，填入第四、六和八栏中；

ⓔ 求$\Sigma S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$，$\Sigma S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)$，$\Sigma S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)$，分别代表光源的三刺激值；

ⓕ 求光源的色坐标X，Y；

表Ⅲ-1 3200°K 光源的色坐标计算表

λ	$s(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
380	1.09	0.0014	0.0015	0.0000	0.0000	0.0065	0.0071
390	1.31	0.0042	0.0055	0.0001	0.0001	0.0201	0.0263
400	1.53	0.0143	0.0219	0.0004	0.0006	0.0679	0.1039
410	1.78	0.0435	0.0774	0.0012	0.0021	0.2074	0.3692
420	2.04	0.1344	0.2742	0.0040	0.0082	0.6456	1.3170
430	2.32	0.2839	0.6586	0.0116	0.0269	1.3856	3.2146
440	2.63	0.3483	0.9160	0.0230	0.0605	1.7471	4.5949
450	2.96	0.3362	0.9952	0.0380	0.1125	1.7721	5.2454
460	3.29	0.2908	0.9567	0.0600	0.1974	1.6692	5.4917
470	3.64	0.1954	0.7113	0.0910	0.3312	1.2876	4.6869
480	4.00	0.0956	0.3824	0.1390	0.5560	0.8130	3.2520
490	4.37	0.0320	0.1398	0.2080	0.9090	0.4652	2.0329
500	4.74	0.0049	0.0232	0.3230	1.5310	0.2720	1.2893
510	5.12	0.0093	0.0476	0.5030	2.5754	0.1582	0.8100
520	5.51	0.0633	0.3488	0.7100	3.9121	0.0782	0.4309
530	5.90	0.1655	0.9765	0.8620	5.0858	0.0422	0.2490
540	6.28	0.2904	1.8237	0.9540	5.9911	0.0203	0.1275
550	6.66	0.4334	2.8864	0.9950	6.6267	0.0087	0.0579
560	7.05	0.5945	4.1912	0.9950	7.0148	0.0039	0.0275
570	7.42	0.7621	5.6549	0.9520	7.0638	0.0021	0.0156
580	7.80	0.9163	7.1471	0.8700	6.7860	0.0017	0.0133
590	8.17	1.0263	8.3849	0.7570	6.1847	0.0011	0.0090
600	8.53	1.0622	9.0606	0.6310	5.3824	0.0008	0.0068
610	8.87	1.0026	8.8931	0.5030	4.4616	0.0003	0.0027
620	9.22	0.8544	7.8776	0.3810	3.5128	0.0002	0.0018
630	9.54	0.6424	6.1285	0.2650	2.5281	0.0000	0.0000

（续表1）

λ	$s(\lambda)$	$\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
640	9.87	0.4479	4.4201	0.1750	1.7273		
650	10.18	0.2835	2.8860	0.1070	1.0893		
660	10.50	0.1649	1.7315	0.0610	0.6405		
670	10.75	0.0874	0.9396	0.0320	0.3440		
680	11.00	0.0468	0.5148	0.0170	0.1870		
690	11.25	0.0227	0.2554	0.0082	0.0923		
700	11.50	0.0114	0.1311	0.0041	0.0472		
710	11.75	0.0058	0.0682	0.0021	0.0247		
720	12.00	0.0029	0.0348	0.0010	0.0120		
730	12.20	0.0014	0.0171	0.0005	0.0061		
740	12.40	0.0007	0.0087	0.0003	0.0037		
750	12.55	0.0003	0.0038	0.0001	0.0013		
760	12.70	0.0002	0.0025	0.0001	0.0013		
770	12.85	0.0001	0.0013	0.0000	0.0000		
780	13.00	0.0000	0.0000				
Σ		$X=79.5994$		$Y=75.0375$ $x=0.4234$ $y=0.3991$		$Z=33.3832$	

（2）分别作表(Ⅲ-2)，(Ⅲ-3)，(Ⅲ-4)，求各投影通道的 $\Sigma\tau_i^f S_{(\lambda)}\bar{X}_{(\lambda)}$、$\Sigma\tau_i^f S_{(\lambda)}\bar{Y}_{(\lambda)}$、$\Sigma\tau_i^f S_{(\lambda)}\bar{Z}_{(\lambda)}$、(其中各通道的$\tau_i^f$分别按日本MS-300所用滤光片取值)：

ⓐ 根据滤光片的透过率曲线，确定表中计算波长范围，每10毫微米取一波长值，填入第一栏；

ⓑ 把滤光片光谱透过率（τ_i^f）按波长填入第二栏；

ⓒ 根据计算波长范围，由表Ⅲ 1第四、六、八栏中，取相应的$S_{(\lambda)}\bar{X}_{(\lambda)}$、$S_{(\lambda)}\bar{Y}_{(\lambda)}$、$S_{(\lambda)}\bar{Z}_{(\lambda)}$、分别填入表(Ⅲ 2)，(Ⅲ-3)，(Ⅲ-4)、的第三、五、七栏；

ⓓ 计算$\tau_i^f S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$，$\tau_i^f S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)$，$\tau_i^f S(\lambda)\bar{Z}(\lambda)$，分别填入各表第四、六、八栏；

ⓔ 分别求第四、六、八栏之和，即$\Sigma\tau_i^f S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$，$\Sigma\tau_i^f S(\lambda)\bar{Y}(\lambda)$，$\Sigma\tau_i^f S(\lambda)\bar{X}(\lambda)$；它们为该投影通道的三刺激值；

ⓕ 根据e的计算结果，求出各投影通道的色坐标X，Y，它们决定了合成仪的表色范围，详见后文。

（3）根据（2）ⓒ的计算结果，可导出式（Ⅲ-8）的具体计算公式：

$$X=-\frac{306241}{(f_1^*)^2\text{anti log}\,D_a}+\frac{79204}{(f_2^*)^2\text{anti log}\,D_b}+\frac{12980}{(f_3^*)^2\text{anti log}\,D_c}$$

$$Y=-\frac{144564}{(f_1^*)^2\text{anti log}\,D_a}+\frac{160071}{(f_2^*)^2\text{anti log}\,D_b}+\frac{3544}{(f_3^*)^2\text{anti log}\,D_c} \qquad (\text{Ⅲ-13})$$

表Ⅲ-2 红投影通道色坐标计算表

λ	τ_λ^{fR}	$s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fR}s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fR}s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fR}s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
570	0.5	5.6548	2.8274	7.0638	3.5318	0.0156	0.0078
580	6.0	7.1471	42.8826	6.7860	40.7160	0.0133	0.0798
590	20.0	8.3849	167.6980	6.1847	123.6940	0.0090	0.1800
600	40.0	9.0606	362.4240	5.3824	215.2960	0.0068	0.2720
610	62.0	8.8931	551.3722	4.4616	276.6192	0.0027	0.1674
620	70.0	7.8776	551.4320	3.5128	245.8960	0.0018	0.1260
630	76.0	6.1285	465.7660	2.5281	192.1356		
640	80.0	4.4201	353.6080	1.7273	138.1840		
650	84.0	2.8860	242.4240	1.0893	91.5012		
660	86.0	1.7315	148.9090	0.6405	55.0830		
670	87.0	0.9396	81.7452	0.3440	29.9280		
680	88.0	0.5148	45.3024	0.1870	16.4560		
690	88.0	0.2554	22.4752	0.0923	8.1224		
700	88.0	0.1331	11.5368	0.0472	4.1536		
710	88.0	0.0682	6.0016	0.0247	2.1736		
720	88.0	0.0348	3.0624	0.0120	1.0560		
730	88.0	0.0171	1.5048	0.0061	0.5368		
740	88.0	0.0087	0.7656	0.0037	0.3256		
750	88.0	0.0038	0.3344	0.0013	0.1144		
760	88.0	0.0025	0.2200	0.0013	0.1144		
770	88.0	0.0013	0.1144				
Σ	$X = 3062.4080$			$Y = 1445.6376$		$Z = 0.8330$	
				$x = 0.68$			
				$y = 0.32$			

表Ⅲ-3 绿投影通道色坐标计算表

λ	τ_λ^{fG}	$s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
460	3.0	0.9567	2.8701	0.1974	0.5932	5.4917	16.4751
470	8.0	0.7113	5.6904	0.3312	2.6496	4.6869	37.4952
480	13.0	0.3824	4.9712	0.5560	7.2280	3.2520	42.2760
490	20.0	0.1398	2.7960	0.9090	18.1800	2.0329	40.6580
500	29.0	0.0232	0.6728	1.5310	44.3990	1.2893	37.3897
510	36.0	0.0476	1.7136	2.5754	92.7144	0.8100	29.1600
520	43.0	0.3488	14.9984	3.9121	168.2203	0.4309	18.5287
530	45.0	0.9765	43.9425	5.0858	228.8610	0.2490	11.2050

（续表 3）

λ	τ_λ^{fG}	$s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fG}s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
540	42.0	1.8237	76.5954	5.9911	251.6262	0.1275	5.3550
550	35.0	2.8864	101.0240	6.6267	231.9345	0.0579	2.0265
560	26.0	4.1912	108.9712	7.0148	182.3848	0.0275	0.7150
570	20.0	5.6548	113.0960	7.0638	141.2760	0.0156	0.3120
580	15.0	7.1471	107.2065	6.7860	101.7900	0.0133	0.1995
590	10.0	8.3849	83.8490	6.1847	61.8470	0.0090	0.0900
600	7.0	9.0606	63.4242	5.3824	37.6768	0.0068	0.0476
610	5.0	8.8931	44.4655	4.4616	22.3080	0.0027	0.0135
620	2.0	7.8776	15.7552	3.5128	7.0256	0.0018	0.0036
Σ		$X=792.0420$		$Y=1600.7144$ $x=0.30$ $y=0.61$		$Z=241.9504$	

表Ⅲ-4　蓝投影通道色坐标计算表

λ	τ_λ^{fB}	$s(\lambda)x(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fB}s(\lambda)\bar{x}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fB}s(\lambda)\bar{y}(\lambda)$	$s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$	$\tau_\lambda^{fB}s(\lambda)\bar{z}(\lambda)$
380	5.0	0.0015	0.0075	0.0000	0.0000	0.0071	0.0355
390	9.0	0.0055	0.0495	0.0001	0.0009	0.0263	0.2367
400	13.0	0.0219	0.2847	0.0006	0.0078	0.1039	1.3507
410	18.0	0.0774	1.3932	0.0021	0.0378	0.3692	6.6456
420	24.0	0.2742	6.5808	0.0082	0.1968	1.3170	31.6080
430	30.0	0.6586	19.7580	0.0269	0.8070	3.2146	96.4380
440	32.0	0.9160	29.3120	0.0605	1.9360	4.5946	147.0272
450	30.0	0.9952	29.8560	0.1125	3.3750	5.2454	157.3620
460	25.0	0.9567	23.9175	0.1974	4.9350	5.4917	137.2925
470	18.0	0.7113	12.8034	0.3312	5.9616	4.6869	84.3642
480	13.0	0.3824	4.9712	0.5560	7.2280	3.2520	42.2760
490	7.0	0.1398	0.9786	0.9090	6.3630	2.0329	14.2303
500	3.0	0.0232	0.0696	1.5310	4.5930	1.2893	3.8679
Σ		129.82		35.4419 $x=0.15$ $y=0.04$		722.7346	

$$Z=\frac{0.83}{(f_1^*)^2\text{anti log}\,D_a}+\frac{24195}{(f_2^*)^2\text{anti log}\,D_b}+\frac{72274}{(f_3^*)^2\text{anti log}\,D_c}$$

在导出式（Ⅲ-13）之后，合成影象色度数据的计算步骤如下：

（1）把各投影通道的f^*及D_i值代入式(Ⅲ-13)，计算该影象的色坐标X，Y，Z；

（2）根据计算出来的三刺激值，用式（Ⅲ-9）求该影象的色坐标X，Y；

（3）根据求出的X，Y值，确定该影象在色品图中的位置B；

ⓐ 把B点和W点相连，延长与色品图舌形曲线相交，求主波长；

ⓑ 按式（Ⅲ-10）计算该影象色彩的饱和度；

（4）根据式(Ⅲ-11)、(Ⅲ-12)、(Ⅲ-13)计算该色彩的亮度（百分数）

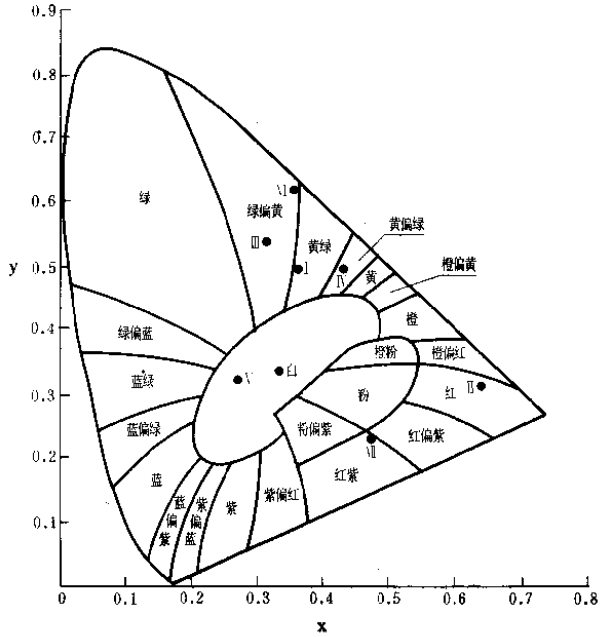
按照上述步骤，我们计算了某个物体合成影象在不同滤光片-光谱段影象组合条件下的色度数据，结果在表（Ⅲ-5）及图Ⅲ.2中给出。这些结果清楚地表明，以不同滤光片-光谱段影象组合方案处理同一组多光谱影象其效果是极不相同的。

表Ⅲ-5 在不同滤光片-光谱影象组合条件下物体合成影象色度的变化

试验编组	投影通道	滤光片主色	光谱影象密度 D_i	光圈数 f^*	三刺激值 X	三刺激值 Y	三刺激值 Z	色坐标 x	色坐标 y	色特征 主波长	色特征 饱和度	色特征 亮度
Ⅰ	1	红	$D_R=1.6$	5.6	210.64	292.23	83.36	0.36	0.50	562	63.3%	9
	2	绿	$D_G=0.8$	5.6								
	3	蓝	$D_B=1.2$	5.6								
Ⅱ	1	红	$D_{IR}=0.3$	5.6	1571.68	768.65	121.04	0.64	0.31	620	92.3%	25
	2	绿	$D_R=1.6$	5.6								
	3	蓝	$D_G=0.8$	5.6								
Ⅲ	1	红	$D_R=1.6$	5.6	493.52	842.29	235.54	0.31	0.54	551	60.8%	27
	2	绿	$D_{IR}=0.3$	5.6								
	3	蓝	$D_G=0.8$	5.6								
Ⅳ	1	红	$D_G=0.8$	5.6	884.61	1030.35	139.26	0.43	0.50	572	82.2%	33
	2	绿	$D_{IR}=0.3$	5.6								
	3	蓝	$D_R=1.6$	5.6								
Ⅴ	1	红	$D_R=1.6$	5.6	267.35	307.71	399.73	0.27	0.32	493	14.3%	10
	2	绿	$D_G=0.8$	5.6								
	3	蓝	$D_{IR}=0.3$	5.6								
Ⅵ	1	红	$D_{IR}=0.3$	5.6	1659.99	977.39	56.91	0.62	0.36	603	95.5%	32
	2	绿	$D_G=0.8$	5.6								
	3	蓝	$D_R=1.6$	5.6								
Ⅶ	1	红	$D_G=0.8$	5.6	570.13	287.03	367.58	0.47	0.23	497*	64.3%	9
	2	绿	$D_R=1.6$	5.6								
	3	蓝	$D_{IR}=0.3$	5.6								

* 补色主波长。

* 为简便起见，式中的常数K，π，β^2已被略去。



图Ⅲ.2　不同滤光片-光谱影象组合时的合成影象色坐标变化

附录Ⅳ　常用黑白显影液、定影液配方

显影液配方

药名＼配方＼重量	D-72	D-76	D-19	Yn-2	菲尼酮Ⅰ型	菲尼酮Ⅱ型
温水（60℃）	750毫升	750毫升	750毫升	750毫升	750毫升	750毫升
米吐尔	3.1克	2克	2克	5克		
无水亚硫酸钠	45克	100克	90克	40克	50克	85克
对苯二酚	12克	5克	8克	6克	12克	5克
无水碳酸钠	67.5克		48克	31克	60克	
硼砂		2克				7克
硼酸						2克
溴化钾	1.9克		5克	4克	2克	2克
菲尼酮					0.5克	0.13克
苯骈三氮唑					0.2克	
水加至	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升
性能	通用	微粒	强力显影	普通	通用	微粒
用途	胶片、相纸	胶片	曝光不足胶片	航空胶片	胶片、相纸	胶片
显影时间（20℃）	胶片5～6分 相纸1.5～2分	10～16分	20分	5～6分	1:7 5分 1:3 2分	16～18分

定影液配方

药名＼配方＼重量	常用定影液 F 5	快速坚膜定影液 F 7	非坚膜定影液 F 24	急速定影液
温水（60℃）	600毫升	600毫升	600毫升	600毫升
大苏打	240克	360克	240克	350克
氯化铵		50克		25克
无水亚硫酸钠	15克	15克	10克	
重亚硫酸钠			25克	
醋酸（28%）	48毫升	48毫升		
硼酸	7.5克	7.5克		
钾矾	15克	15克		
加水至	1000毫升	1000毫升	1000毫升	1000毫升
定影时间（20℃）	10～20分	8～10分	15分	8分

附录V　度量衡换算表

重量换算表

磅	盎司	格林	克	公斤	市斤	市两	市分
1	16	7000	453.6	0.4536	0.9072	9.072	90.72
	1	437.5	28.35	0.02835			
		1	0.065				
		15.4	1	0.001			2
2.205	35.27	154.32	1000	1	2	20	2000
1.102	17.63	7716	500	0.5	1	10	1000

容量换算表

加仑	瓜脱	盎司	特拉姆	毫升	升	市升	市撮
1	4	128	1024	3.785	3.785	3.785	3785
	1	32	256	946.3	0.9463	0.9463	946.3
		1	8	29.57	0.0295	0.0295	29.57
			1	3.697			3.697
			0.27	1	0.001	0.001	1
		33.81	270.5	1000	1	1	0.001

长度换算表

码	英尺	英寸	毫米	米
1	3	36	914.4	0.9144
0.333	1	12	304.8	0.3048
0.0277	0.0833	1	25.4	0.0254
0.00109	0.00328	0.03937	5	0.001
1.0936	3.2808	39.37	1000	1

主要参考文献

〔1〕阎守邕：遥感——一门新兴的综合性探测技术，科学实验，1977年，第10期，1—3页。

〔2〕龚家龙、阎守邕：环境遥感技术简介，科学出版社，1980年。

〔3〕ASP：Mannal of Romote Sonsing，P. 1176.

〔4〕Loploy, L. K. et al., Oceanographic Studies of the Morthern Gulf of California, Proceedings: Fourth Annual Conference On Remote Sensing in Arid Lands 1973. pp. 227—258.

〔5〕Sondra Wenderoth and Edward Yosf. Multispectral photography for earth resources, 1975.

〔6〕キセノンイメージ編集室：宇宙・高空・地上汇ねけ为リモートセンシンク技术の研究开発と应用，昭和49年10月，pp. 59—65。

〔7〕和达清夫等：リモートセンシンク，朝仓书店，昭和51年，pp. 238—245.

〔8〕荆其诚等：色度学，科学出版社，1979年。

〔9〕陈水泉：彩色片洗印，上海人民美术出版社，1978年。

〔10〕Joseph Lintz Jr. and David S. Simonett, Romote Sonsing of Environment, 1976, p. 387.

〔11〕濮静娟、王长跃：利用卫星遥感资料研究河口三角洲、湖泊的动态，地理学报，34卷1期，1979年3月，43—54页。

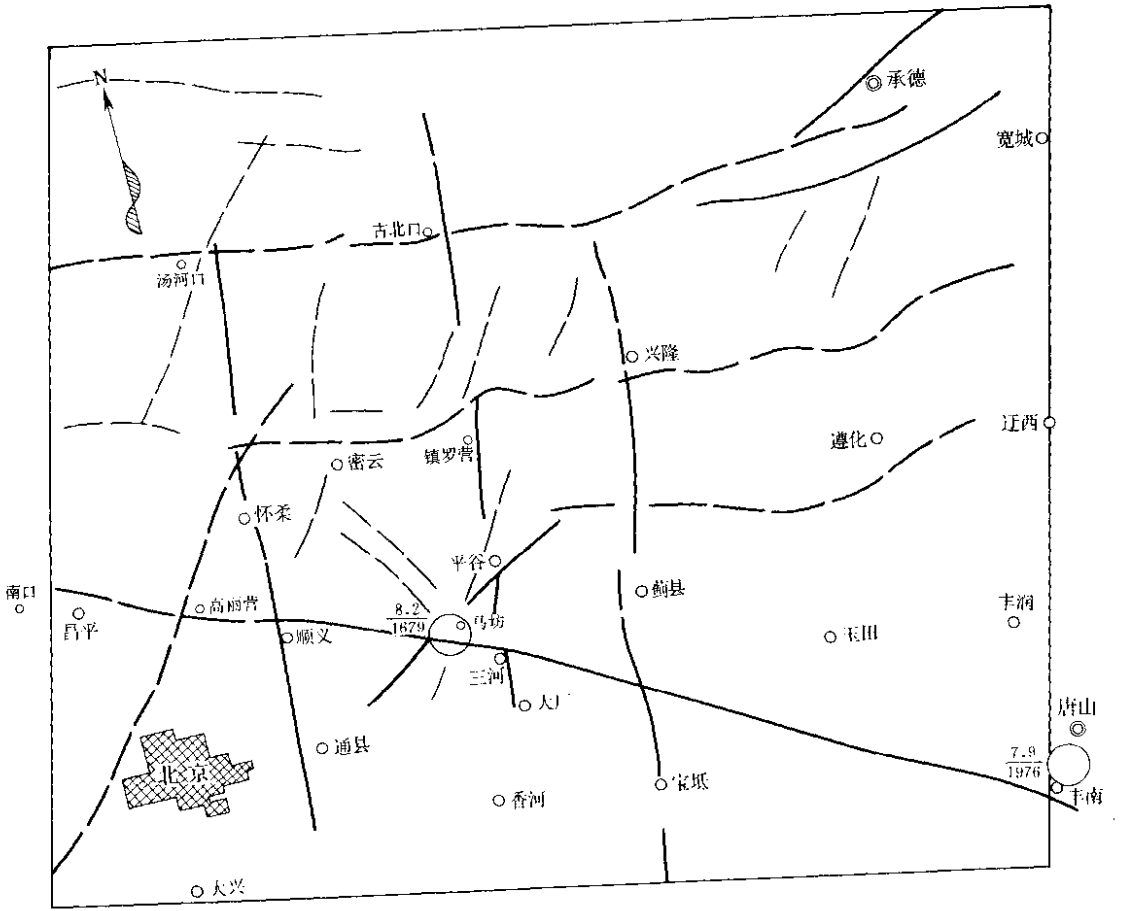
〔12〕A．A．拉帕乌里：电影放映光学，中国电影出版社，1959年。

〔13〕复旦大学电光源实验室：电光源原理，上海人民出版社，1977年，501—568页。

〔14〕张圣凯：多光谱图象的彩色合成处理，科学实验，1978年，第10期4—5页。

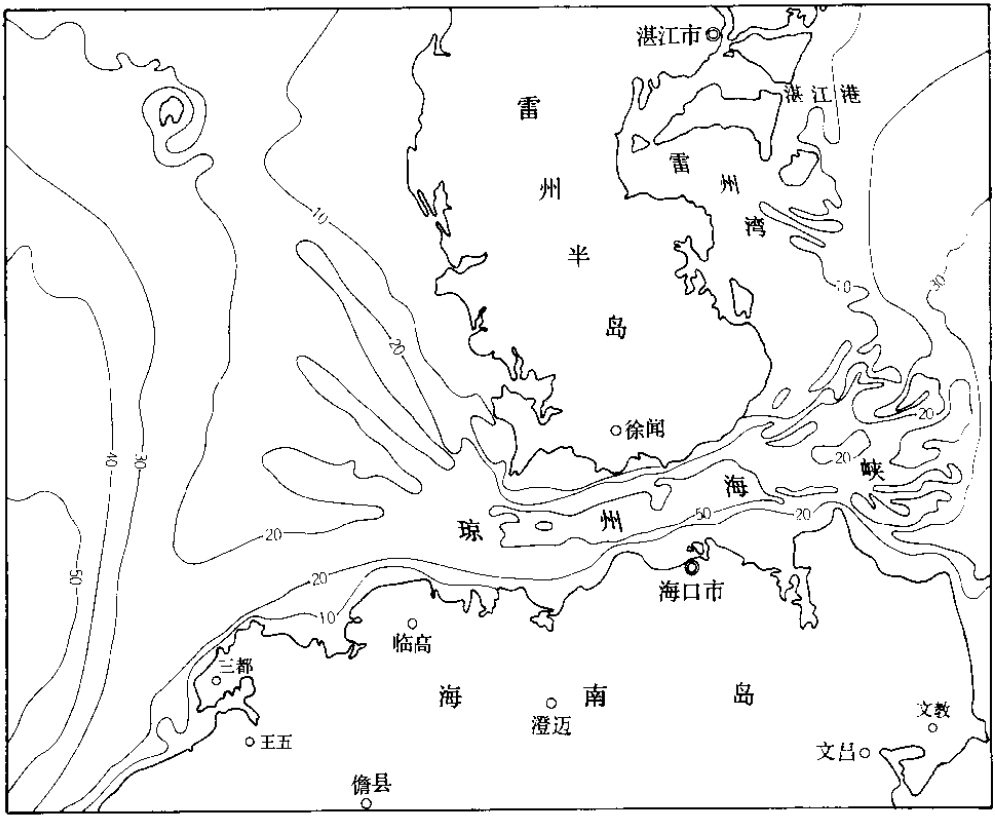
〔15〕彭心先：染印法彩色影片制作原理，化学通报，1975年，第5期。

〔16〕桐澤　武：ダイトテンスファ—法，写真工业增刊，昭和52年，通卷三一六号 p. 122—125。

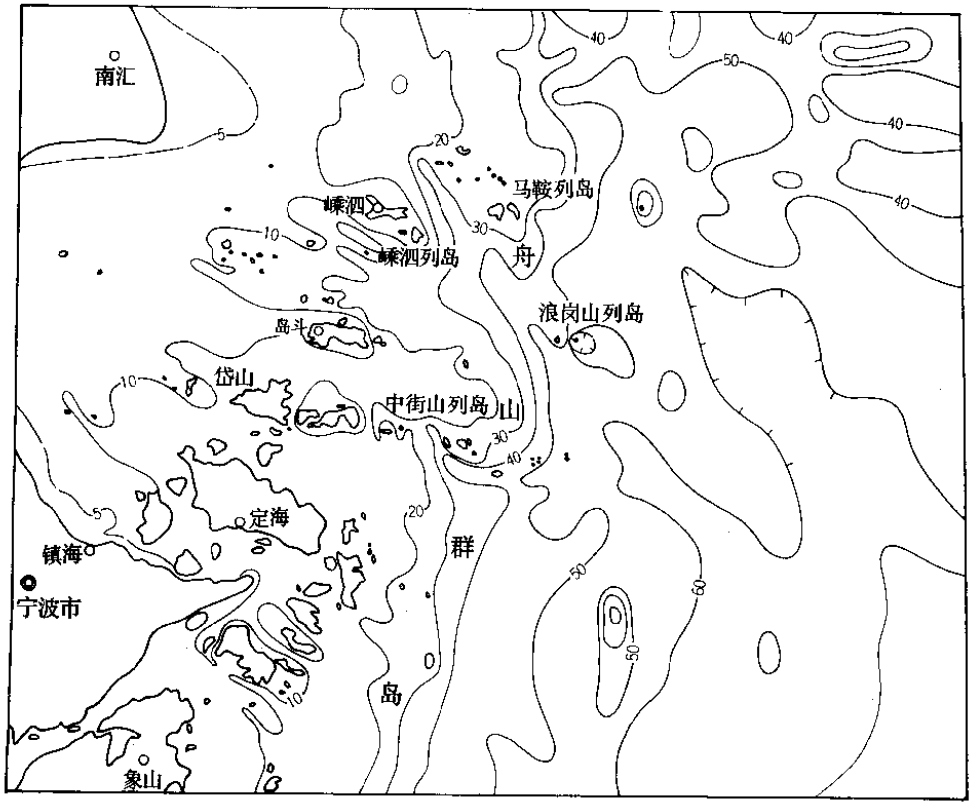


图版 5　北京地区主要断裂判读图

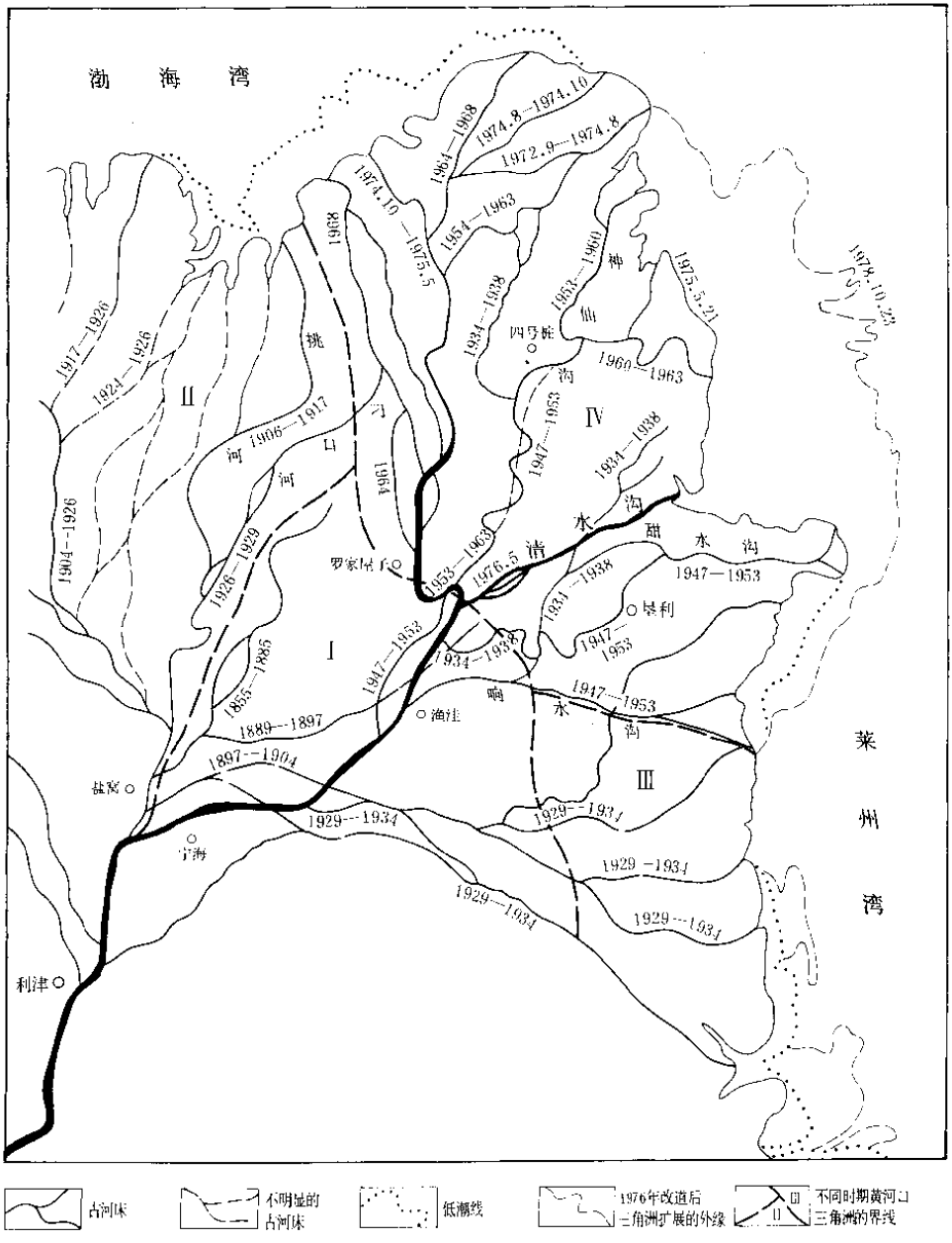
（魏成阶，1980）



图版 9　琼州海峡海底地形略图



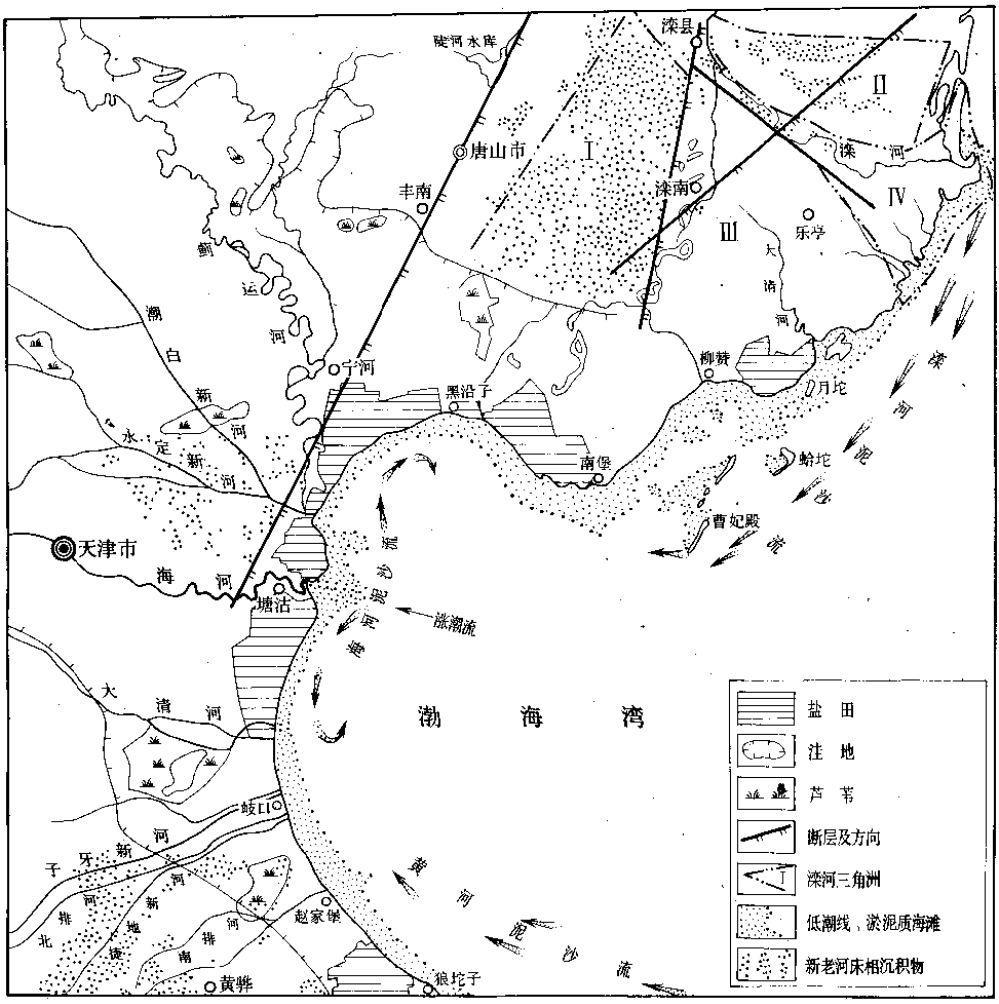
图版14　舟山群岛海域海底地形略图



占河床　不明确的占河床　低潮线　1976年改道后三角洲扩展的外缘　Ⅰ Ⅱ 不同时期黄河口三角洲的界线

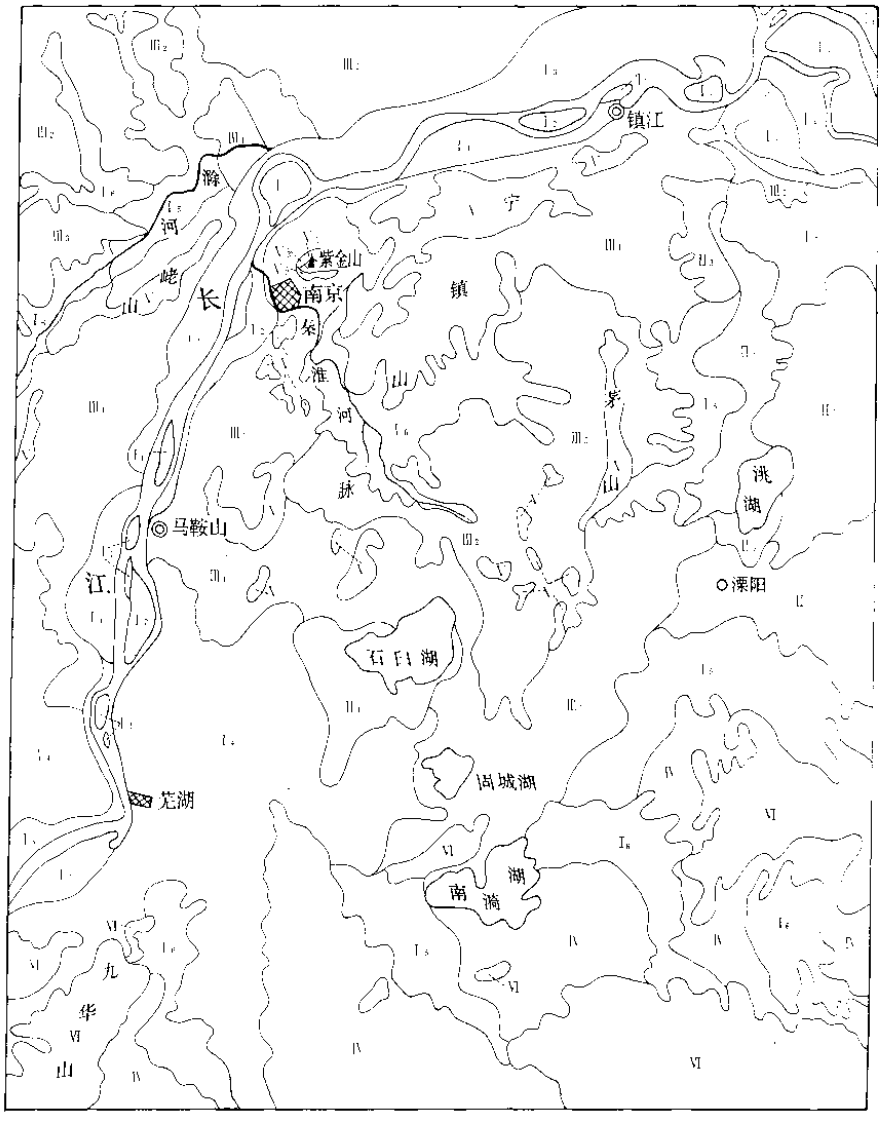
图版17　黄河口三角洲河道变迁分析判读图

（郑威，1980）



图版20　渤海湾地区判读分析图

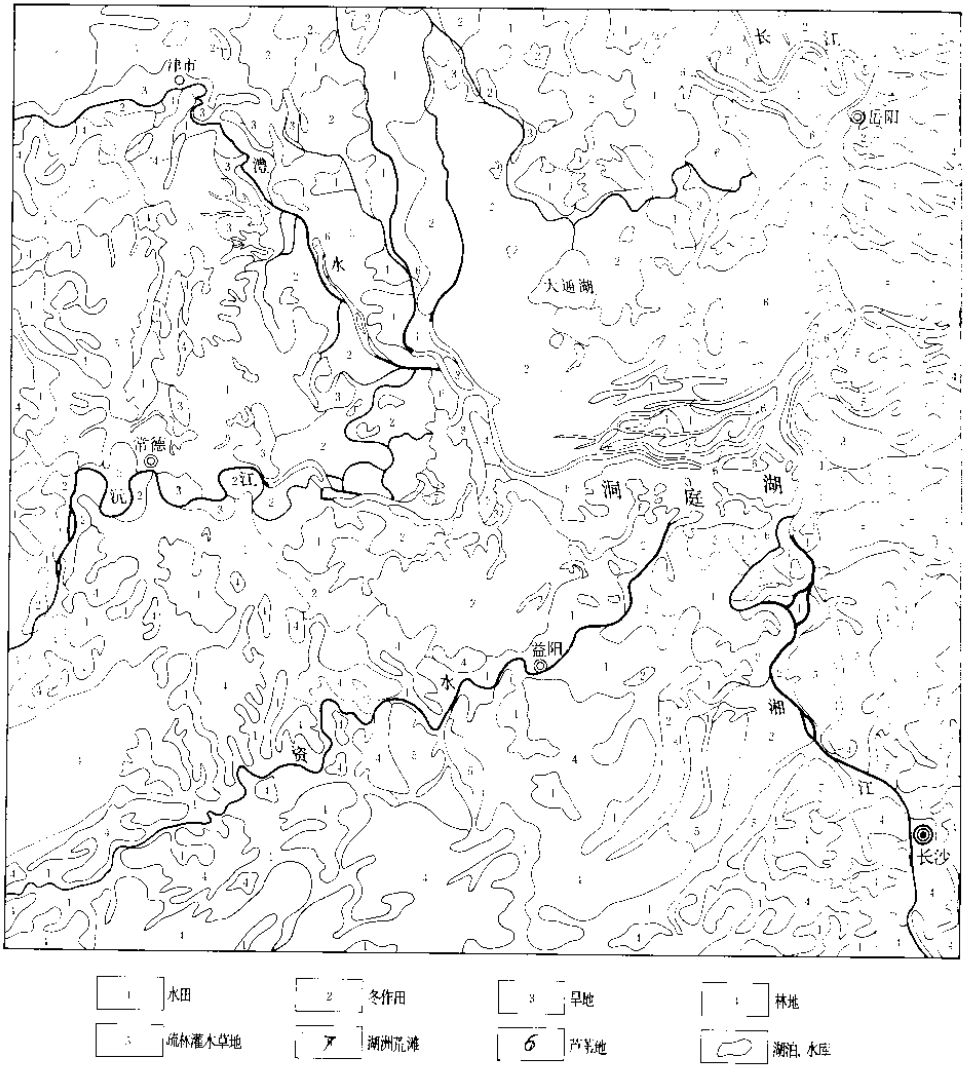
（濮静娟、王长耀，经修改 1979）



Ⅰ冲积平原土壤　Ⅰ₁新冲积滩地幼年土　Ⅰ₂老洲滩油沙土　Ⅰ₃河滩低阶地潮土　Ⅰ₄河滩低阶地圩田青泥土、马干土　Ⅰ₅河谷平原圩田、马干土、青泥土　Ⅰ₆河谷冲积平原青泥土　Ⅱ淤积平原土壤　Ⅱ₁湖荡平原圩田青紫泥　Ⅱ₂古泻湖平原乌山土、鳝节土　Ⅱ₃低湿地青泥土　Ⅲ黄土丘陵土壤　Ⅲ₁岗塝神马干土　Ⅲ₂岗塝神小粉土、白土　Ⅳ红土丘陵粘质红黄壤　Ⅴ山地森林灌木黄棕壤　Ⅴ₁混交林中厚层黄棕壤　Ⅴ₂砂砾质黄棕壤　Ⅴ₃灌丛草类薄层粗骨黄棕壤　Ⅵ山地常绿林黄壤

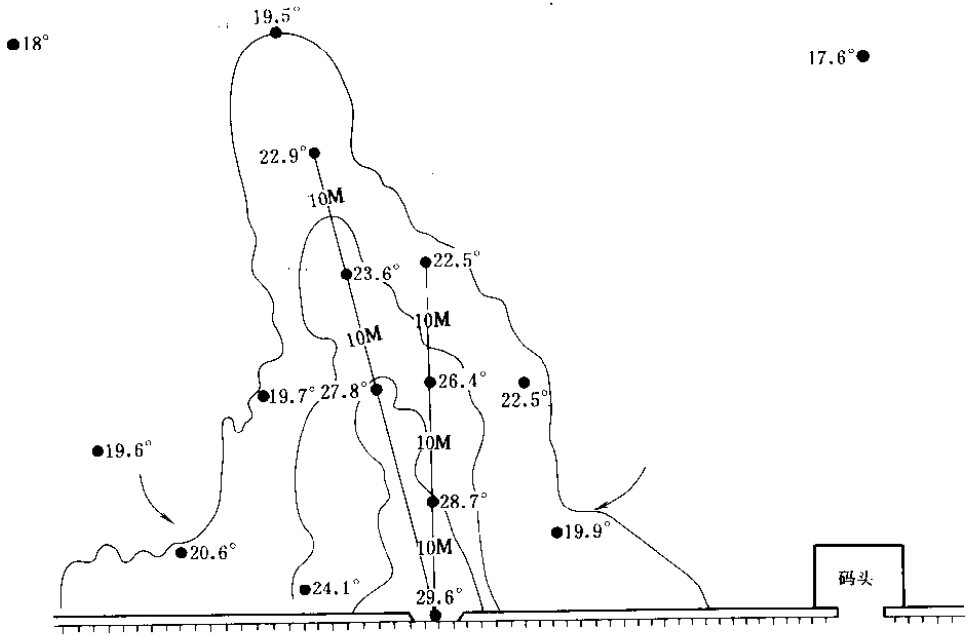
图版26　南京地区土壤、景观分析判读图

（戴昌达、李爽，1981）



图版29　洞庭湖地区土地利用现状判读图

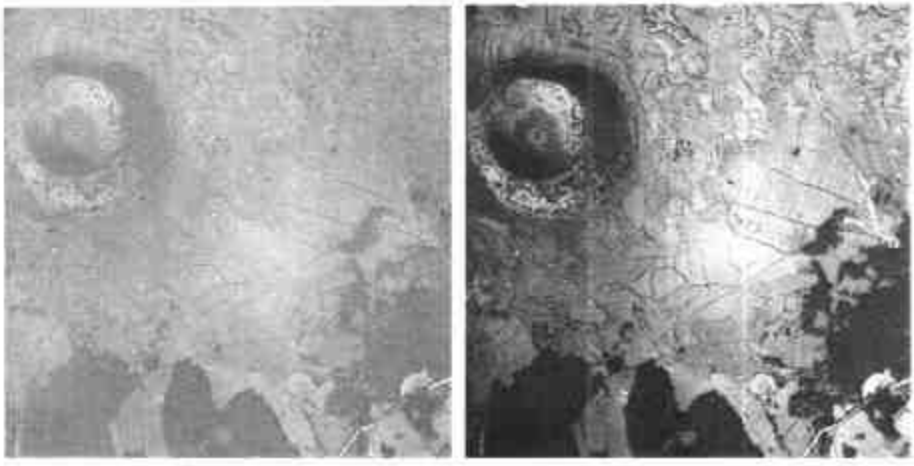
（沈象仁、张豪禧，1980）



说明：1.1980年5月3日上午9时15分用ER—2007红外测温计实测。2.所测温度系亮度温度(℃)。

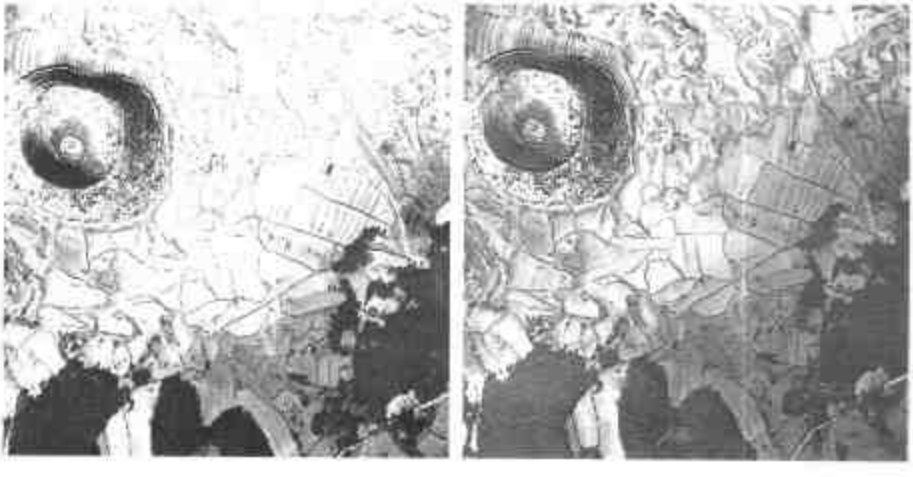
图版33　热排水羽流图　（郭之怀，1981）

（1：500）



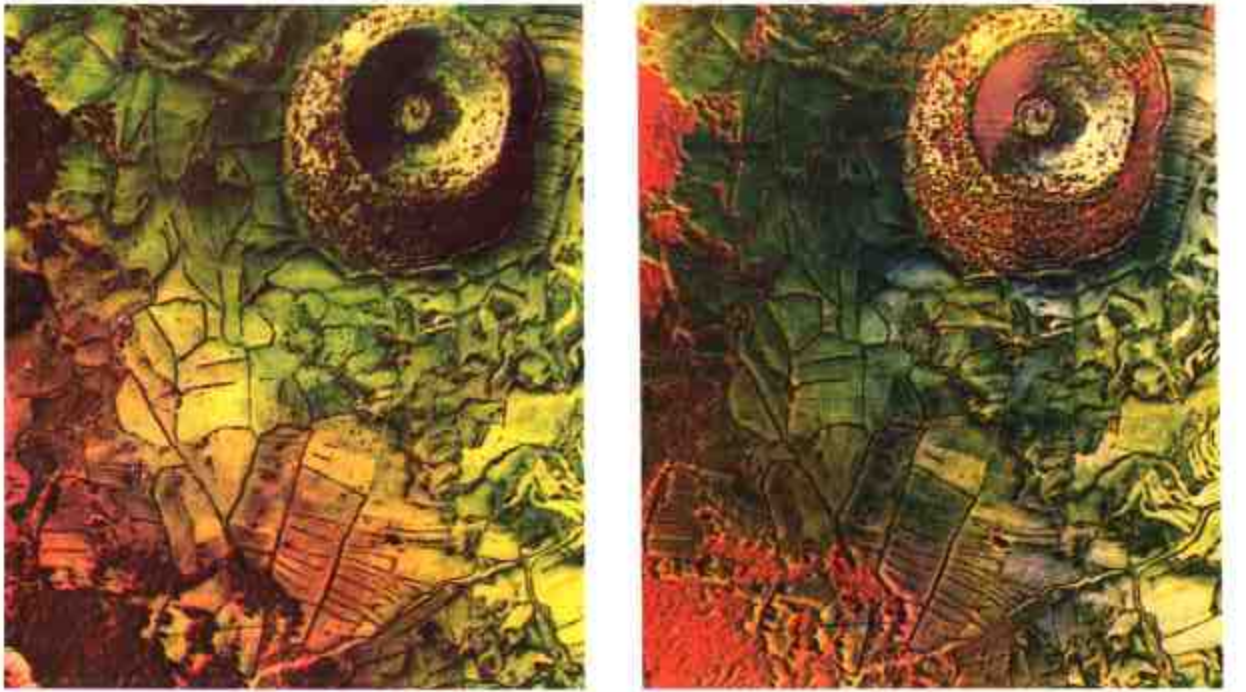
(a) 处理前　　(b) 处理后

图版 1　反差增强



(a) 处理前　　(b) 处理后

图版 2　反差减弱



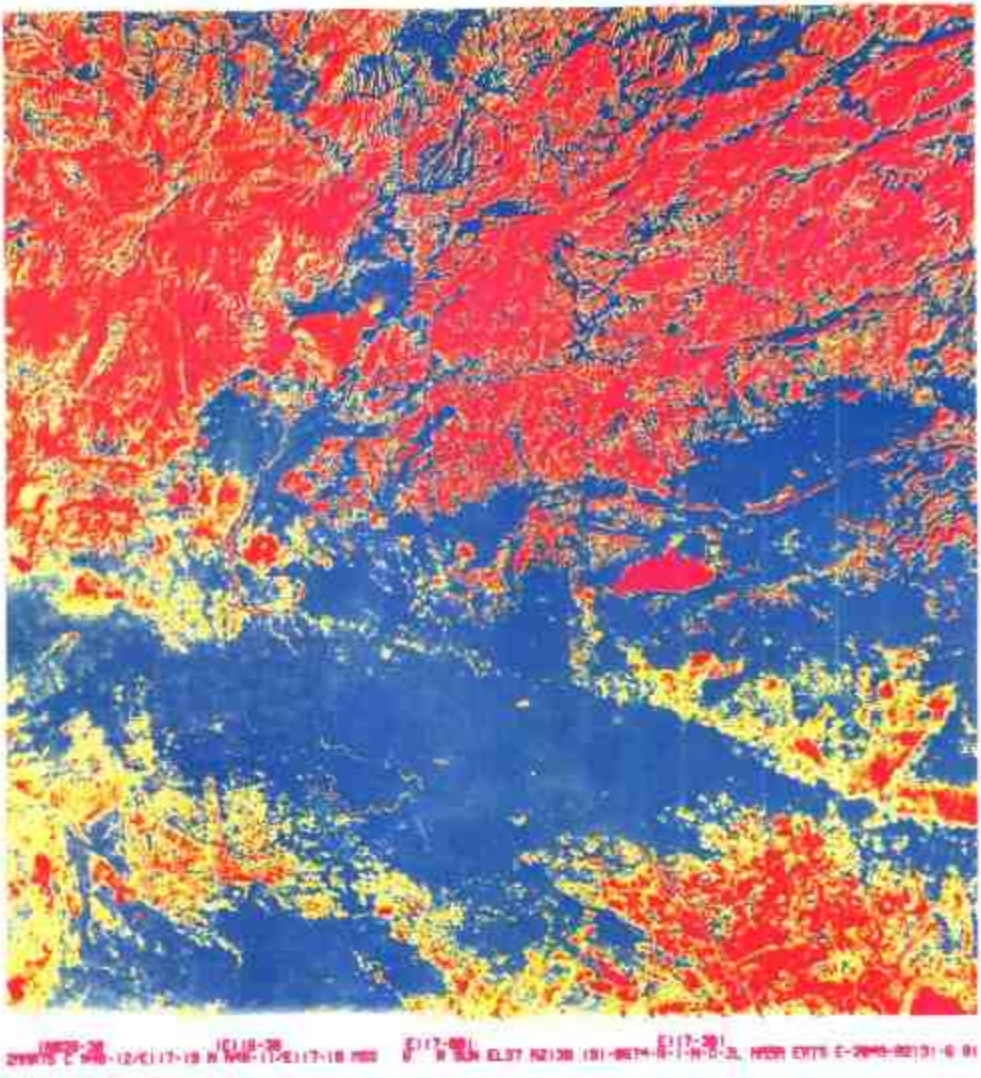
（a） 未经过变换处理的假彩色图象　　（b） 经过变换处理的假彩色图象

图版 3　等照度变换处理的图象及效果比较



图版 4　　鄱阳湖地区影象相减彩仁图象

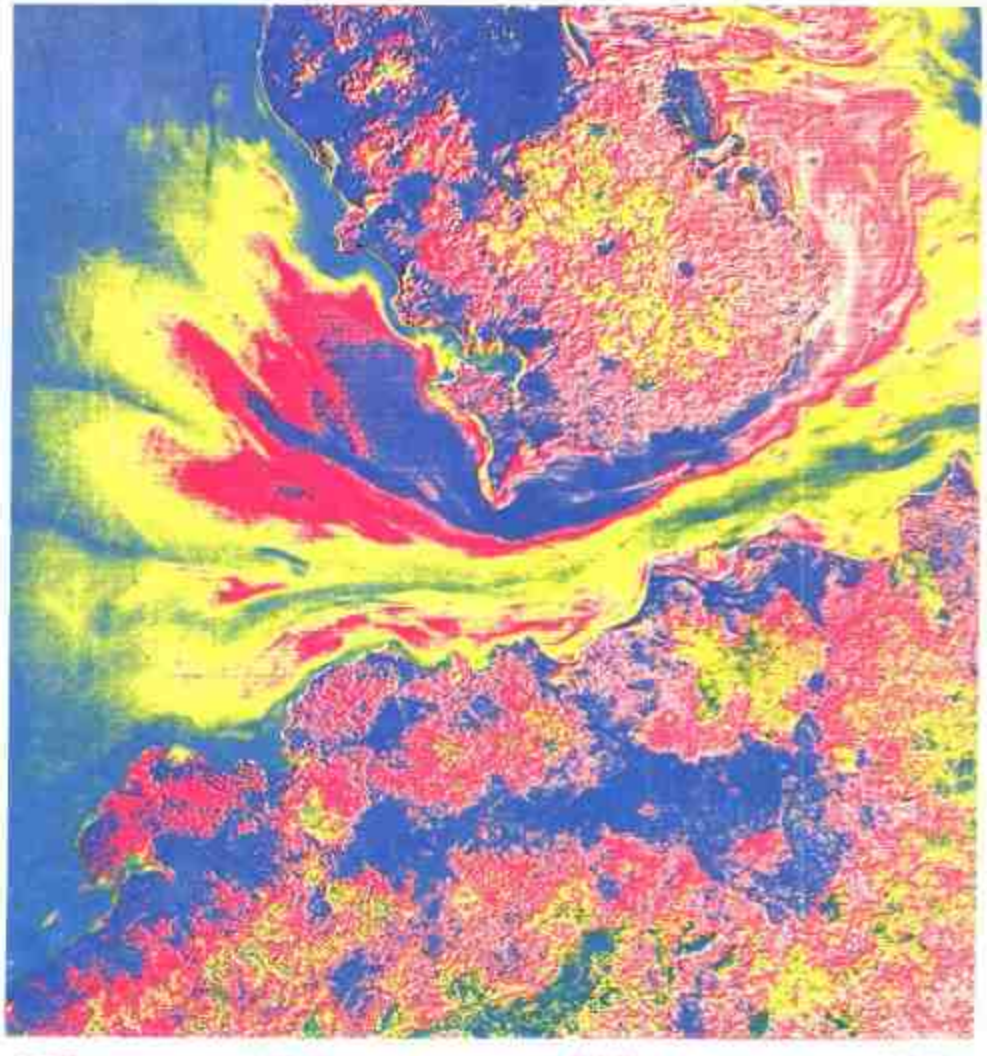
图 6 福建省行政区划图



图版 7　北京地区黑白发色图象



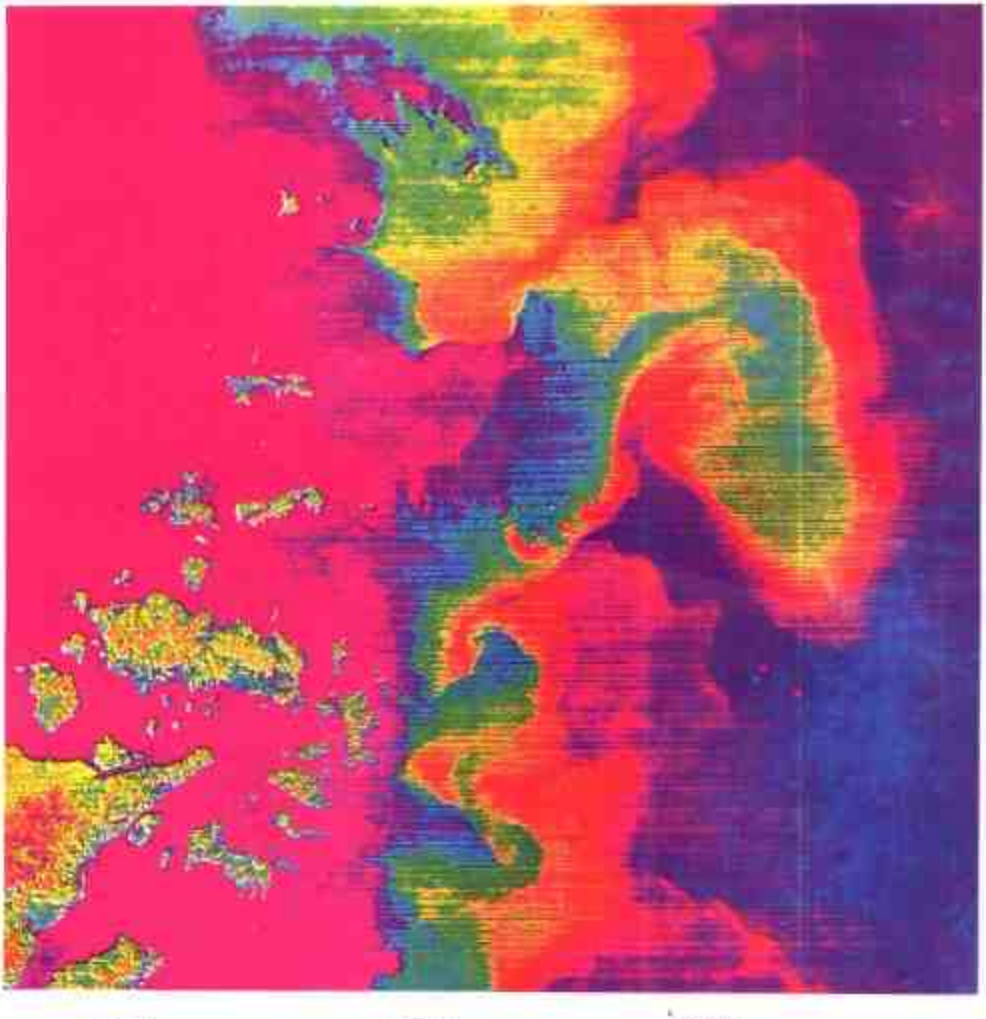
图版Ⅹ　北京地区彩色合成图象



图版10　琼州海峡彩色密度分割图



图版11　舟山群岛彩色合成图象



图版 12　舟山群岛单光谱段彩色密度分割图



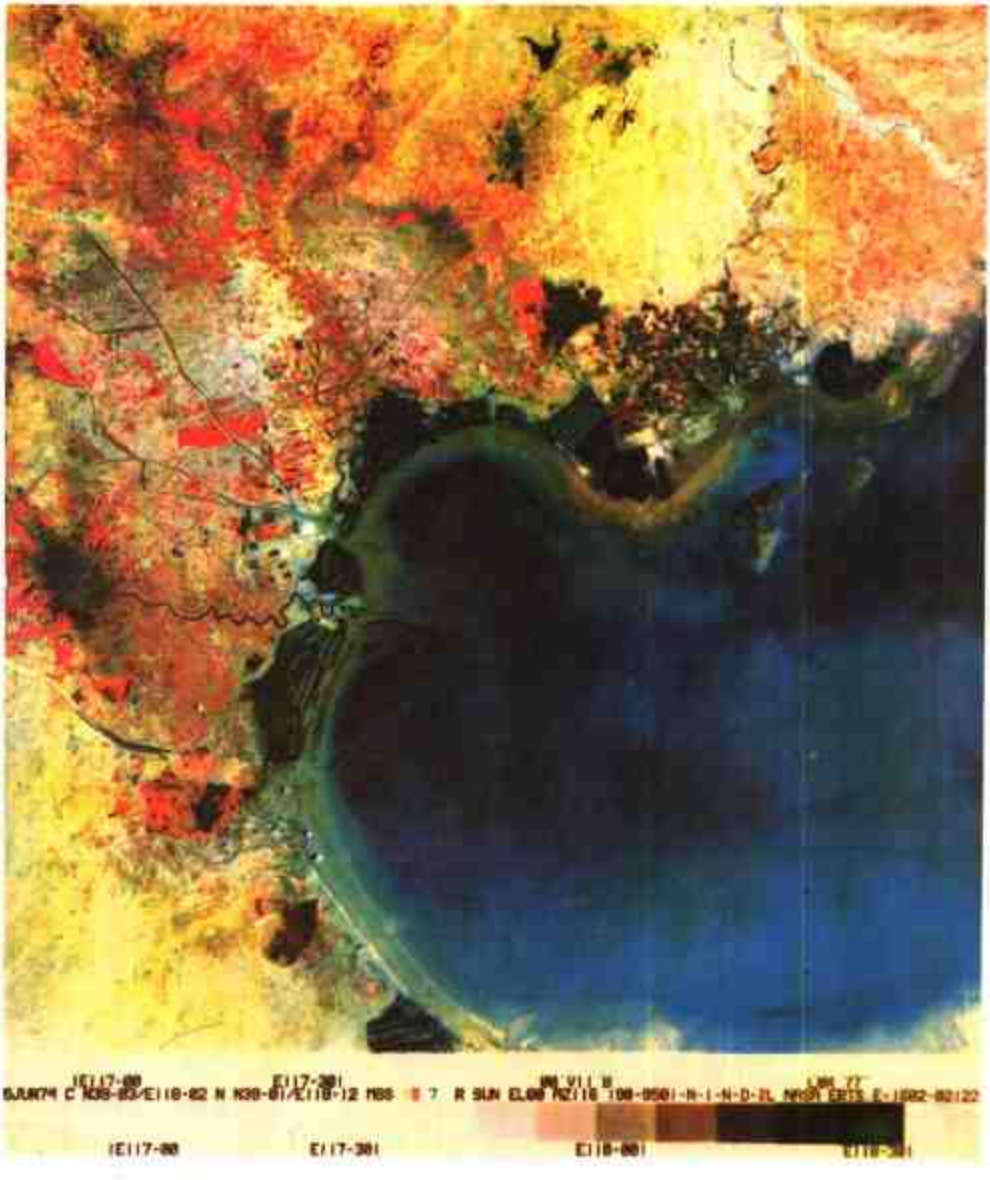
图版13　舟山群岛多光谱段彩色密度分割图象



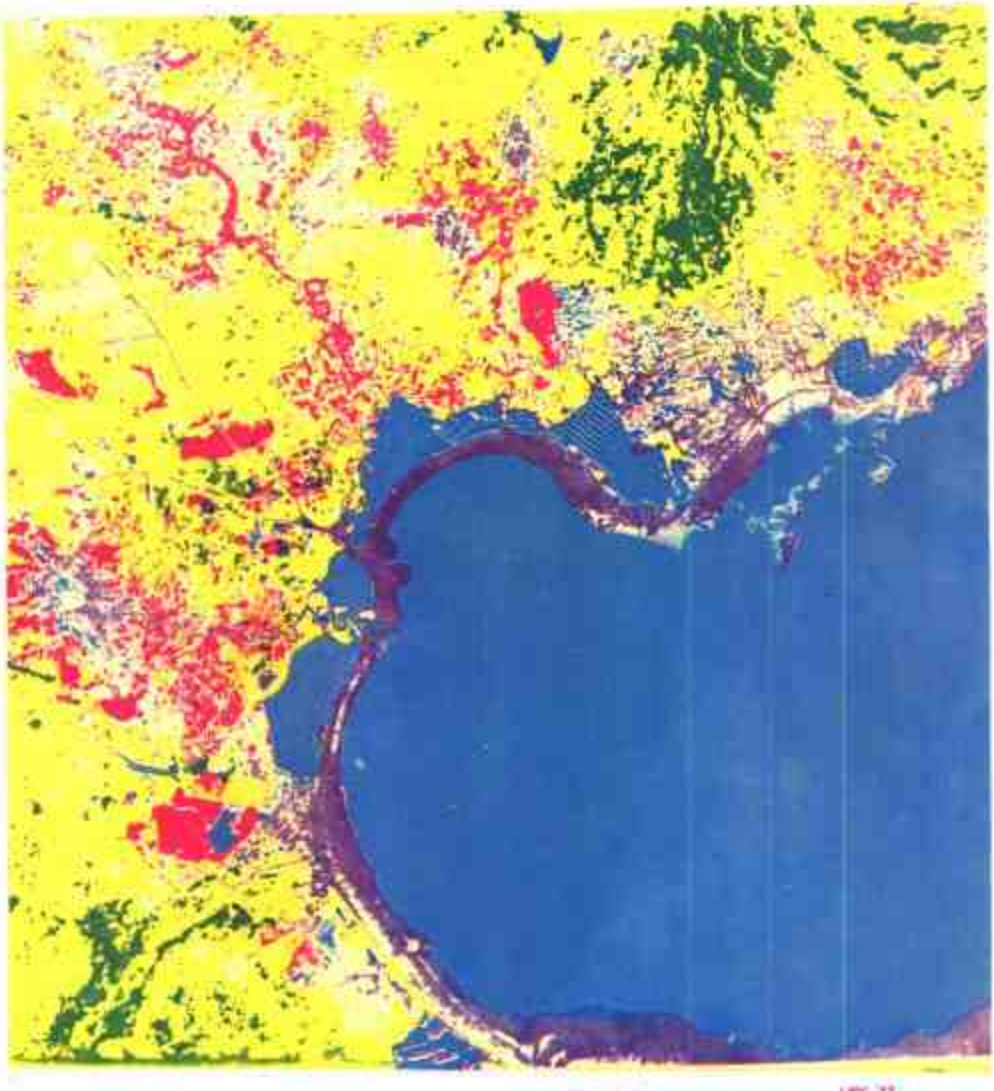
图版15　黄河口三角洲的影象相减图象



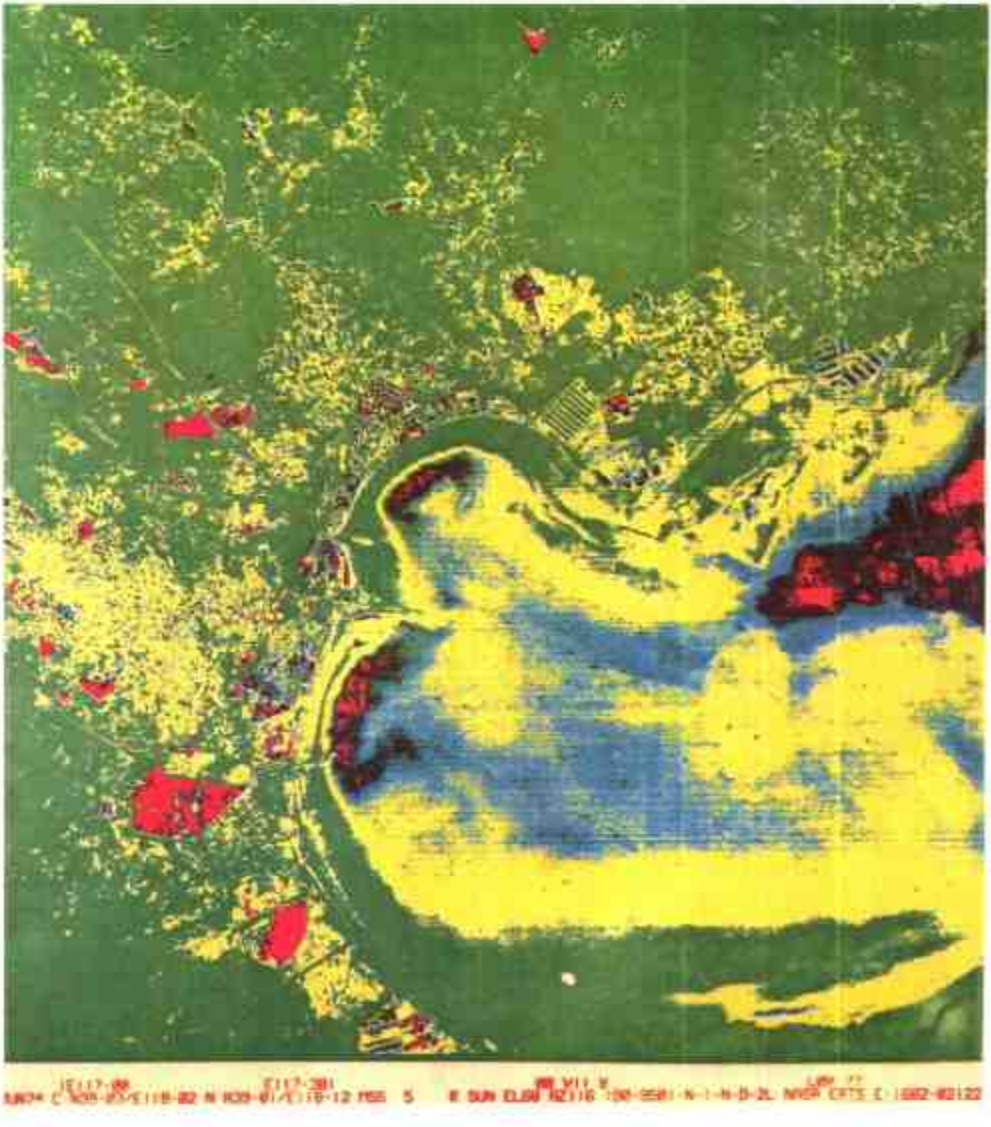
图版16　黄河口三角洲彩色合成图象



图版18　渤海湾地区彩色合成图象



图版13　渤海湾地区的专题抽取图象



图版21　渤海湾地区彩色密度分割图



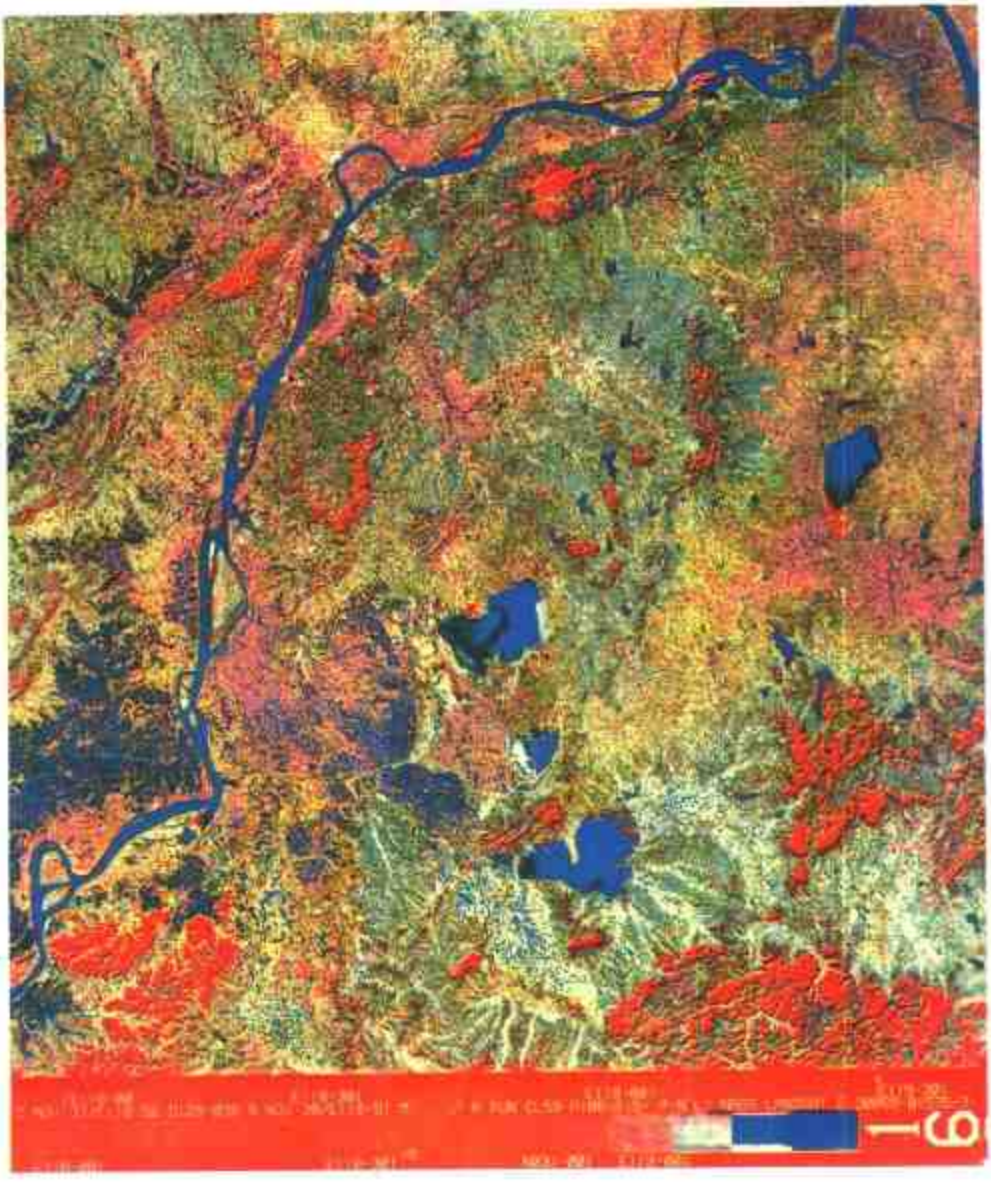
图版22　桂北黔东南地区边界增强图象



图版2-3　南京地区彩色合成图象



图版24　南京地区单光谱段彩色密度分割图



图版25　南京地区多光谱段彩色密度分割图



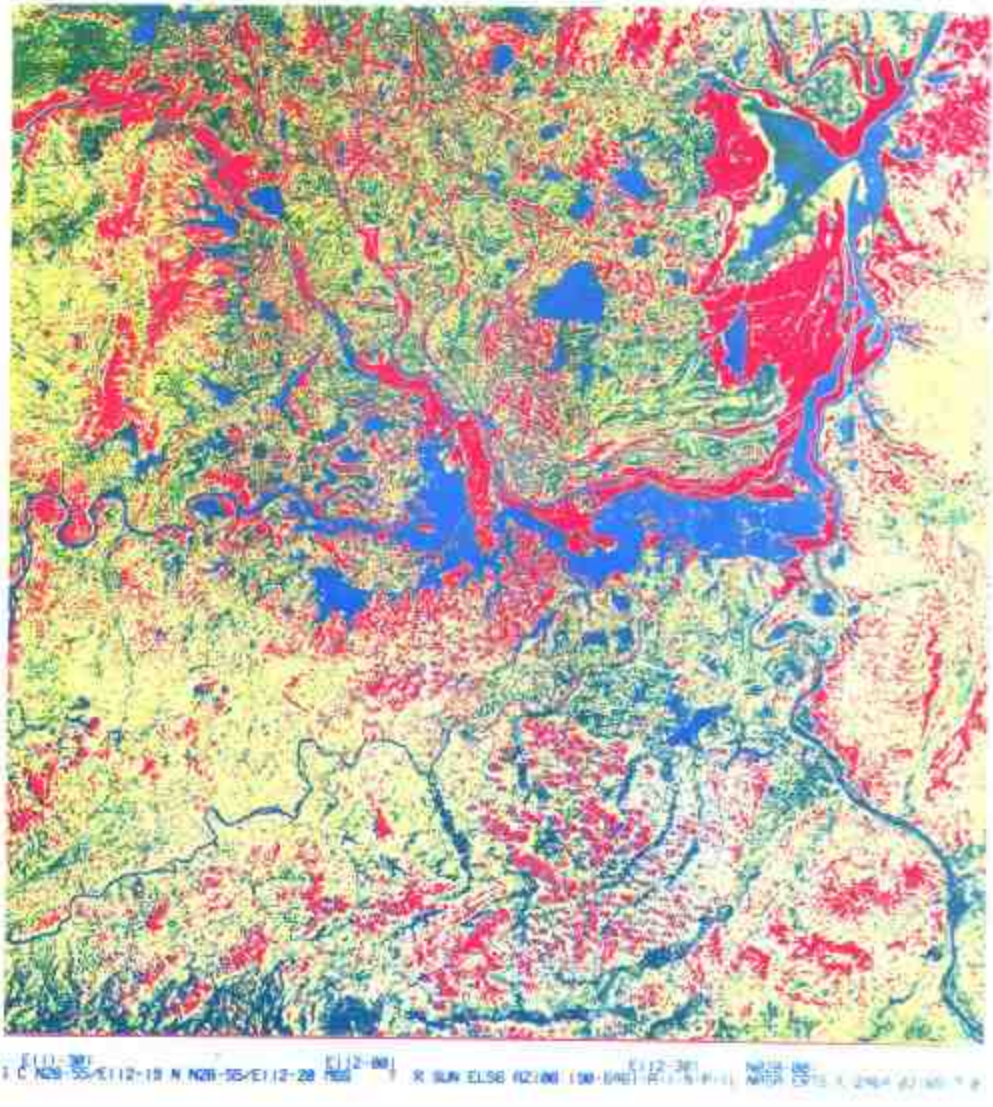
图版27　洞庭湖地区彩色合成图象



图版28　前缘潮地区反差增强彩色合成图象



图版30　洞庭湖地区黑白影象图



图版31　洞庭湖地区黑白发色彩色图象

（a）深层红外热图像　　（b）浅层红外热图像

图版 32　红外热图像