遥感图像目视解译原理与方法

濮静娟 主编



中国科学技术出版社

遥感图像目视解译原理与方法

濮静娟　主编

中国科学技术出版社

内 容 提 要

全书共分三篇十章。第一篇遥感基础，简洁系统地介绍了遥感的基本原理、传感器及遥感信息处理方法和地物波谱特征；第二篇遥感图像，全面地介绍了遥感图像的种类、特性，目视解译标志和分析方法；第三篇遥感应用，以大量篇幅分专题阐述了遥感图像在农业、水资源、地质、土地利用、环境监测等领域的应用研究。

本书可供农林水利、地质地理、军事测绘、土地管理、环境保护、城市规划、资源调查等部门科研、生产工作者，以及有关大专院校师生参考。

（京）新登字175号

遥感图像目视解译原理与方法

濮静娟 主编

责任编辑：张秀智

特约编辑：卫 政

*

中国科学技术出版社出版 （北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市怀柔黄坎印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16印张：14.5 插页：16 字数：350千字

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数：1—1500册 定价：15.00元

ISBN 7-5046-0632-4/Z·49

序

濮静娟副教授主编的《遥感图像目视解译原理与方法》一书出版了。作为第一读者，我感到很荣幸，也很欣慰。因为，这是我曾经较长时期工作过，而且比较熟悉的领域。从60年代，我们就开始尝试如何综合利用航空像片，从中提取较多的地学信息，为经济建设和科学实验提供服务。70年代以后，有了卫星影像和航空彩色红外像片，我们也主要是通过目视解译（判读）的方法，来提取专题信息，进行系列制图的。经历了30多年的实践，现在濮静娟等同志着手来总结这方面的原理和方法，不仅是非常必要的，自然内容也是丰富多彩的了。

目视解译的经验性很强，专业深度也很大。从个别实例分析的基础上，归纳成为具有普遍性的规律，上升为原理与方法，确系相当困难的事。这方面有过不少教科书，从技术上加以讨论的论著也不少，但从科学原理和思维方法上深入进去的则不多。濮静娟副教授等在这部著作中付出了艰巨的劳动，所进行的辛勤探索，基本上是成功的。

例如在遥感基础方面，作者努力将地物波谱特性和解译标志联系起来，探讨其中内在的本质的联系，知难而进，勇气可嘉，是值得称道的。以应用为先导，从解译的角度对多种卫星与航空遥感信息进行评价，对读者也是很有启发的。在应用方面，侧重于环境历史变迁、自然灾害评估……等等动态分析的实例；对海岸带、三角洲等问题，作者更作过许多深入的研究工作，写来得心应手，读来也格外亲切充实、生动活泼，给读者以范例，为本书增色不少。

作者在前言中提到，遥感工作者难免有偏爱计算机数字图像处理，或多或少有忽视或轻视目视解译的倾向。此系大势所趋，是可以理解的。为了形成现代生产规模，遥感应用必将走向自动化，而且信息源愈来愈多，数据量愈来愈大，需求的高速度、大范围，几乎超越了目视解译的极限，这些均迫使愈来愈多的人依赖数字处理和模型分析与软件系统。同时，图像处理软件功能的渐趋完善、地理信息系统的支持与区域指标体系的参与及分析模型的迅速发展，也在促使这种社会需求逐步成为现实。

但是，目视解译决不会因为图像数字处理与模式识别等技术的进步而被摈弃、被束之高阁。我们认为：

(1) 目视解译是遥感应用的一项基本功。遥感应用工作者，不能没有野外实地观察的训练，也不能没有目视解译的技能。它是制定自动分类体系和图例系统的基础工作。否则那些经过信息增强和回归分析的图像，有可能成为数字游戏，成为一种缺乏物理含义或地学含义、知其然而不知其所以然的缺乏理论指导的盲目的技术。

(2) 遥感图像处理和分析的效果，最终必需经过实践的检验，才能成为有效信息。自动化、大批量处理后的结果，是否真有道理，是否符合客观事实，是否适应地域差异的特点，必须通过抽样检验或典型试验，才能作出结论。其中就必然要有一部分非标准化的工作，即手工式的、经验式的目视解译工作。

(3) 地理信息系统的支持，已经成为现代计算机遥感图像处理不可缺少的部分。而

地理信息系统本质上也是地学规律分析的定量化。没有来源于实践的感性知识，也就难以运用地理信息系统这类高新技术手段，从规律上来加深对现象的理解，掌握影响物流、能流的关键所在，认识自然历史过程和物质结构、信息流程的全局。

(4) 专家系统来源于专家的知识积累。一批善于专业分析、解译的专家，特别是那些新兴科学领域的专家，似乎都需要经历一定阶段的目视解译，获得由表及里、由此及彼的推理经验，才有可能设计相应的知识库和推理机，从而填平专业分析与计算机图像处理之间的鸿沟。有了共同的语言，才有创造智能化和专家系统的开发环境。

从以上的理解来看，目视解译并不意味着它是遥感应用的初级阶段，或者是可有可无的，相反，它是遥感应用中无可替代的组成部分，它将与其它地学分析方法“长期共存”、相辅相成。就象有了印刷技术，机械化自动化程度很高，仍不能排除画家创作的手稿；又象有了摄影技术，也不能排除画家的素描一样。即劳动创造了世界，人类创造了文明。

我祝贺这部专著的问世，希望有许多读者欢迎它。特别希望有更多从事遥感图像数字处理、模式识别的专家，能够抽出一点时间来阅读它，从中得到启迪，求得共识，从而加深对遥感信息本质的理解。我还不敢说这部专著一定能够满足这种期望，但至少有助于接近这种期望。

陈述彭

1992 年 3 月于访问加拿大途中

前　言

“遥感”顾名思义就是“遥远的感知”。通常人们所认为的遥感技术的概念是从不同高度的平台上，使用各种传感器，接收来自地球表层各类地物的各种电磁波信息，并对这些信息进行加工处理，从而对不同的地物及其特性进行远距离的探测和识别的综合技术。由于电磁能包括光、热和无线电波，因此，从飞机上用电、磁和重力对力场进行的测量，属于航空地球物理测量而不看成是遥感。

遥感技术在近 20 多年来得到了迅速的发展。早期的遥感是从航空摄影开始的，并被广泛应用到摄影制图、工程与环境研究和探查石油、金属矿藏等领域。这些仅利用了电磁波谱中的可见光部分。50 年代末和 60 年代初，人类观测电磁波谱的能力已远远超过了人类视觉和摄影胶片灵敏度的范围，已能在热红外和微波等波段上成像；载人和不载人地球卫星的发展和配置，为获取地球遥感图像提供了所需要的平台高度。从此空间科学技术的发展，使人类征服宇宙的历程，从航空阶段跃入到了航天阶段。遥感技术随着现代光学、电子学、信息论和电子计算机理论的发展，不断地与地球科学理论相结合，使它不仅具有很大的国防意义和生产实用意义，而且还有很大的科学意义，带动着一系列自然学科、技术学科的发展，组成为一门新兴的、综合性很强的科学技术，成为空间科学技术的重要组成部分，被称为宇宙中的“眼睛”。

遥感数据的波谱、极化、时间和空间特征反映了自然界中物体的相应特征，是人工目视解译和计算机遥感图像分析处理的理论依据。目前，计算机图像分析处理是一个十分活跃和富有发展前景的领域，即使在这种情况下，人工目视解译仍起着不容忽视的作用。实践证明：仅利用遥感数据的波谱特征进行统计识别分类，其精度很难提高，一般分类精度在 70～80%。如果能充分和综合地利用遥感数据的波谱、极化、时间和空间等特征以及多种信息源的辅助数据的话，分类精度可明显地提高 10～20% 或更多。可见，人工目视解译不仅是不可取代的，而且还是计算机图像分析处理技术进一步发展的基础和出发点。

随着计算机图像处理能力的加强和遥感数据空间分辨率的不断提高，遥感图像的空间特征在计算机图像分析处理中的作用显得越来越突出，同时也使得人工目视解译的经验和生物地学规律有可能逐步引入这一领域，形成一些专题解译的专家系统。特别是在地理信息系统支持下，发展多种信息源（包括非遥感）数据的综合分析方法，将会收到遥感图像智能化识别的效果。

现今从事遥感技术应用的工作人员，目光大多集中在遥感图像计算机分析处理技术方面，而对人工目视解译过程，即如何利用图像的影像特征（色调或彩色，即波谱特征）和空间特征（形状、大小、阴影、纹理、图型、位置和布局），与多种非遥感信息资料相结合，运用生物地学相关规律，进行由此及彼、由表及里、去伪存真的综合分析和逻辑推理的思维过程，建立图像模式识别的研究却重视不够，尚属起始阶段。

随着我国国民经济的发展和遥感技术在各个业务领域应用的不断深入，特别是经过

“六五”、“七五”两个五年计划的拓展，遥感信息作为一个新的高科技信息服务行业，已取得比较明显的社会经济效益、“八五”期间将更趋向行业化的形势下，对认识和掌握遥感图像目视解译原理与方法的要求将会更加热切。为了适应形势的需要，本书主要总结遥感图像目视解译的思维过程，将全书分为遥感理论基础，遥感图像解译标志和分析方法及遥感应用三部分，对应于我们应用遥感图像认识自然、分析研究自然及应用于自然的逻辑过程，希望它能在服务于国民经济建设、实现遥感图像计算机分析处理智能化的过程中起到一点积极的作用。

本书是一部集基础性、理论性和实用性于一体的综合性遥感读物，内容丰富，论述详尽，图文并茂，既可充作遥感工作者的工具书，也是指导初学者入门的较好的教科书。

本书由濮静娟主编，前言、第一章、第三至七章由濮静娟编写，第二章和第十章由李彤编写，第八章和第九章由周艺编写。在编写过程中，曾参考大量有关著作，因篇幅所限，文中只列出主要参考文献，请予以谅解。全书的版面设计和编辑工作由卫政负责，插图由刘薇薇清绘，在此一并致谢。

由于编写时间仓促，作者水平有限，不足之处在所难免，敬希专家和读者批评指正。

作　者

1991年9月

目　录

序……陈述彭（ⅰ）
前言……（ⅲ）

第一篇　遥感基础

第一章　遥感的基本理论……（1）
第一节　遥感的概念……（1）
第二节　电磁波波谱……（3）
第三节　太阳辐射、大气窗口和散射……（4）
第四节　地物的反射……（6）
第五节　地物颜色和彩色原理……（8）
第六节　大地辐射……（10）
第七节　人工发射的探测波束……（13）
第二章　遥感信息的获取与图像数据处理……（16）
第一节　遥感信息的获取……（16）
第二节　遥感信息的载体……（27）
第三节　图像数据处理……（33）
第三章　地物波谱特性……（39）
第一节　地物波谱……（39）
第二节　水体的波谱特征……（41）
第三节　植被的波谱特征……（45）
第四节　岩石的波谱特征……（51）
第五节　土壤的波谱特征……（57）
第六节　城市地物的波谱特征……（62）

第二篇　遥感图像

第四章　遥感图像的种类与解译标志……（65）
第一节　遥感图像的种类……（65）
第二节　摄影像片和扫描影像的几何性质……（67）
第三节　卫星图像的符号及注记……（75）
第四节　目视解译标志……（77）
第五节　MSS，TM 和 SPOT 图像单波段的解像力……（86）

第五章　遥感图像目视解译方法……（90）
第一节　地物的客观规律与影像信息特征……（90）
第二节　目视解译的原则、步骤、程序和操作……（92）
第三节　目视解译方法……（95）
第四节　常用的地学分析方法……（96）

第三篇　遥感应用

第六章　农业遥感……（110）
第一节　地貌形态和堆积物的识别……（110）
第二节　植被类型的识别……（122）
第三节　土壤类型的识别……（133）
第七章　水资源遥感……（142）
第一节　水文物理量的定量分析……（142）
第二节　水域历史变迁……（145）
第三节　河口三角洲的变化……（153）
第四节　海岸带和海洋……（159）
第八章　地质遥感……（167）
第一节　岩类识别……（167）
第二节　地质构造解译……（173）
第三节　地质灾害的遥感分析……（185）
第九章　土地利用现状遥感……（191）
第一节　土地利用现状分类……（191）
第二节　土地利用现状指标含义及计算方法……（198）
第三节　城市土地利用遥感……（204）
第十章　环境遥感……（217）
第一节　环境遥感的目视解译特点……（217）
第二节　大气环境遥感……（219）
第三节　水环境遥感……（221）
第四节　地面环境遥感……（223）

图版说明……（225）

第一篇　遥感基础

第一章　遥感的基本理论

第一节　遥感的概念

所谓遥感（Ramote Sensing)就是不直接接触有关目标物或现象而能收集信息，并能对其进行分析、解译和分类等的一种技术[1]。遥感所收集的信息是由目标物反射或发射的电磁波信息。收集电磁波信息的装置（如摄影机和扫描仪等）叫做传感器。装载传感器的设备，如飞机和人造卫星等称为运载工具或平台。

遥感之所以能够根据收集到的电磁波信息来解译地面目标物和现象，是由于不同的物体种类及其所处环境，具有完全不同的电磁波的反射或发射辐射的特性。

所以，所谓“遥感”也就是着眼于各物体对电磁波的反射和发射辐射所固有的特性，收集这些电磁波信息，从而解译出目标物及其所处环境条件的一种技术。图 1-1 显示了目标物所固有的电磁波特性会受到太阳、大气、气象等环境条件因素的影响，传感器收集到的是发生畸变的图像数据，经过数据处理最后成为可以应用的数据的流程。

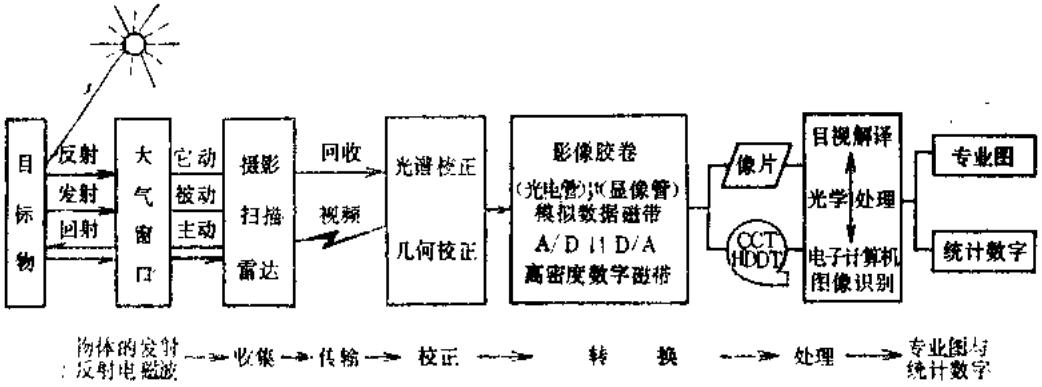


图 1-1　遥感数据的流程

遥感可以从不同角度，按照不同的原则和标准进行分类●。例如可以按遥感平台高度和类型，传感器工作方式，遥感波段范围以及遥感应用领域等的不同进行分类。

(1) 按平台高度和类型分类

- 轨道卫星遥感
  - 地球同步卫星遥感（3 600 公里）
  - 太阳同步卫星遥感
    - 长寿命（500～1 000 公里）
    - 短寿命（150～500 公里）
- 航天遥感
  - 载人飞船遥感（<500 公里）
  - 航天飞机遥感（<300 公里）
  - 探空火箭遥感（100～650 公里）

● 阎守邕，遥感技术应用基础，1987 年。

第一篇　遥感基础

第一章　遥感的基本理论

第一节　遥感的概念

所谓遥感（Ramote Sensing)就是不直接接触有关目标物或现象而能收集信息，并能对其进行分析、解译和分类等的一种技术[1]。遥感所收集的信息是由目标物反射或发射的电磁波信息。收集电磁波信息的装置（如摄影机和扫描仪等）叫做传感器。装载传感器的设备，如飞机和人造卫星等称为运载工具或平台。

遥感之所以能够根据收集到的电磁波信息来解译地面目标物和现象，是由于不同的物体种类及其所处环境，具有完全不同的电磁波的反射或发射辐射的特性。

所以，所谓“遥感”也就是着眼于各物体对电磁波的反射和发射辐射所固有的特性，收集这些电磁波信息，从而解译出目标物及其所处环境条件的一种技术。图 1-1 显示了目标物所固有的电磁波特性会受到太阳、大气、气象等环境条件因素的影响，传感器收集到的是发生畸变的图像数据，经过数据处理最后成为可以应用的数据的流程。

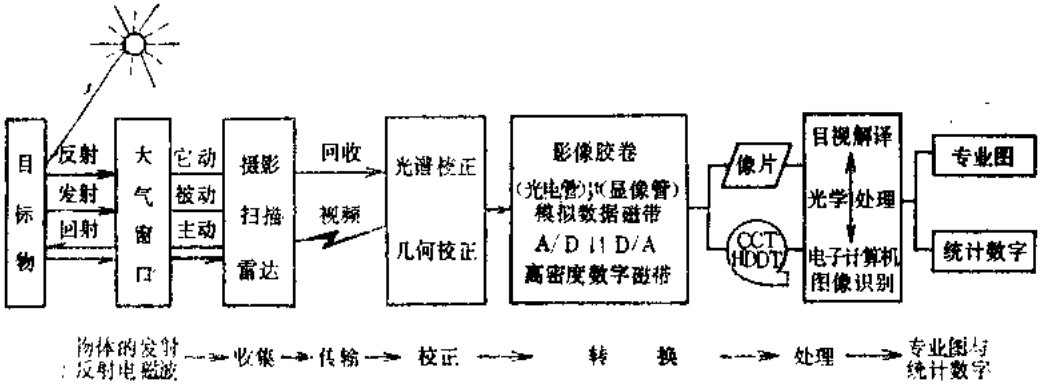


图 1-1　遥感数据的流程

遥感可以从不同角度，按照不同的原则和标准进行分类●。例如可以按遥感平台高度和类型，传感器工作方式，遥感波段范围以及遥感应用领域等的不同进行分类。

(1) 按平台高度和类型分类

- 轨道卫星遥感
  - 地球同步卫星遥感（3 600 公里）
  - 太阳同步卫星遥感
    - 长寿命（500～1 000 公里）
    - 短寿命（150～500 公里）
- 航天遥感
  - 载人飞船遥感（<500 公里）
  - 航天飞机遥感（<300 公里）
  - 探空火箭遥感（100～650 公里）

● 阎守邕，遥感技术应用基础，1987 年。

- 航空遥感
  - 气球遥感
    - 漂浮气球遥感(<50 公里)
    - 系留气球遥感(<5 公里)
  - 飞机遥感
    - 高空飞机遥感(>15 000 米)
    - 中空飞机遥感(15 000~9 000米)
    - 低空飞机遥感(<9 000 米)
- 地面遥感
  - 高塔平台遥感 (<300 米)
  - 船载平台遥感 (<30 米)
  - 车载平台遥感 (<30 米)
  - 低架平台遥感 (<1.5 米)

(2) 按传感器工作方式分类

- 成像遥感
  - 照像遥感
    - 单波段
    - 多波段
  - 被动遥感
    - 电视摄像遥感
      - 单通道
      - 多通道
    - 扫描遥感
      - 单波段
      - 多波段
  - 主动遥感——雷达遥感
    - 单极化
    - 多极化
- 非成像遥感
  - 被动遥感
  - 主动遥感

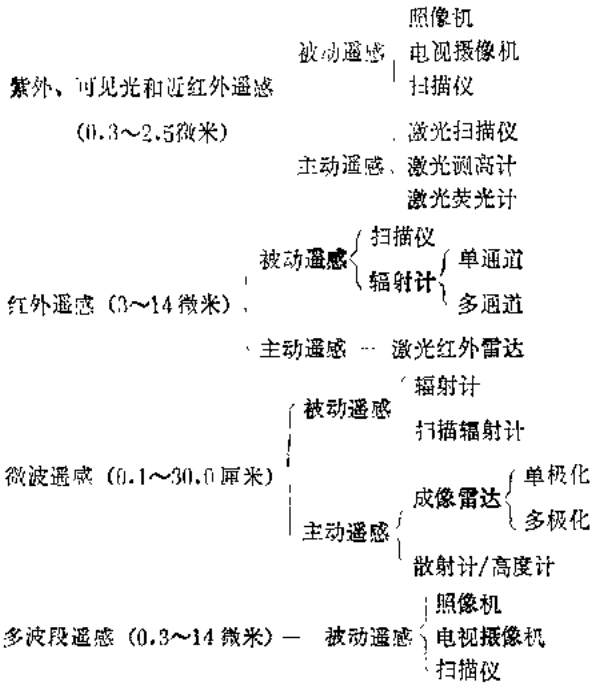
(3) 按遥感波段范围分类

- 紫外遥感 (0.3~0.4 微米)
- 可见光遥感 (0.4~0.7 微米)
  - 窄波段
  - 宽波段
- 红外遥感 (0.7~14 微米)
  - 反射红外 (0.7~2.5 微米)
  - 热红外 (3~14 微米)
- 微波遥感 (0.1~30.0 厘米)
  - 单极化
  - 多极化
- 多波段遥感 (0.3~14 微米)
  - 可见光 (0.4~0.7 微米)
  - 可见光、近红外 (0.4~2.5 微米)
  - 红外 (3~14 微米)
  - 紫外、可见光、红外 (0.3~14 微米)

(4) 按遥感应用领域分类

根据遥感应用领域的不同，可以分为气象遥感、海洋遥感、水文遥感、农业遥感、林业遥感以及地质遥感等等。由于各应用领域的研究对象及其变化规律不同，在遥感时采用的工作平台、传感器以及数据处理与分析的方法等也有很大的差别。因此，各应用领域需结合自己的特点和要求，系统地发展适合于自己需要的成套遥感技术，才能取得较好的效果。

应该指出，平日里较常用的是将(2)，(3) 两种分类归并为按传感器、工作波段和方式的遥感分类。



第二节　电磁波波谱

凡是温度高于绝对零度（－273°C）的物体都发射电磁波。遥感采用的电磁波波段可以从紫外一直到微波波段。只是由于产生电磁波的波源不同，它们的波长或频率也就不同。下面列出物质在各种内部状态下所产生的电磁波类型：

原子核内部的相互作用……γ 射线
层内电子的离子化……X 射线
外层电子的离子化……紫外线
外层电子的激化……可见光
分子振动、晶格振动……红外线
分子旋转和反转、电子自转与磁场的相互作用……毫米波和微波
核自转与磁场的相互作用……米波

各种类型的电磁波，由于波长范围的不同，它们的性质（如传播方向、穿透性等）有很大差别。不同物质的分子结构和规模是不一样的，所以它们发射和吸收的电磁波系列，即电磁波谱也是不一样的。我们即根据电磁波波谱曲线所决定的影像特征来识别物质。

人眼可见的电磁波波段称为可见光，即平时所说的光。在可见光中，蓝光的波长短，红光的波长长。比可见光的波长长的电磁波是红外线。红外线按其波长可分成近红外、中红外、远红外（或热红外）等，然而它们的波长范围，由于在物理上没有给出明确的定义，所以区分它们的波长范围的规定就因人而异。通常认为近红外为 0.76～3 微米，中红外为3～5微米，远红外是8～14微米。比红外线波长长的电磁波是微波等无线电波。微波是以厘米波为中心的无线电波波段的总称。在遥感中，雷达传感器所使用的是无线电波短波段中的毫米波和分米波。工作波长不同，使用的传感器也就不同。图 1-2 所示的是电磁波波谱和现在正在研制或使用的传感器。

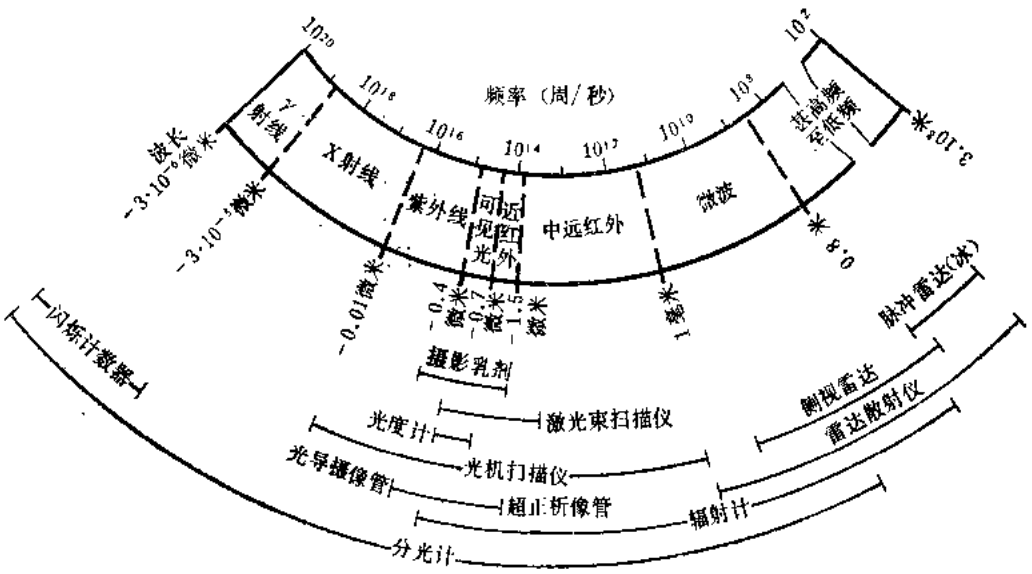


图 1-2　电磁波波谱和传感器

电磁波一般按波长进行分类，也可按波数或频率进行分类。“波数”是指在 1 厘米内所包含的波的数目。“频率”则是在 1 秒钟内所传播的波的数目，用赫兹（Hz）作为单位。频率和波长的关系可用下式表示：

$$\text{频率} = \text{光速} / \text{波长} = 3 \times 10^{10} \text{ 赫兹/厘米}$$

第三节　太阳辐射、大气窗口和散射

太阳是地球的主要光源，也可近似地看作 5 800K 的黑体。太阳辐射在大气上界处的垂直入射辐射通量密度称为太阳常数值，平均太阳常数值是 $1\,400 \times 10^{-4}$ 瓦/厘米^2，而通过大气到达地面的有效辐射通量密度为 903×10^{-4} 瓦/厘米^2，只占太阳直接辐射于大气上界的 64.5%，图 1-3 给出了大气上界太阳照度、海平面上太阳照度和 5 800K 黑体辐射的分布曲线。由于太阳辐射在到达地面之前要穿过大气层，其能量一部分被大气吸收、一部分被大气所散射，还有一部分被云层反射。大气对太阳辐射中不同波长的辐射的吸收、散射的多少是不一样的，所以太阳辐射穿过大气到达地表时，不仅其能量被衰减，而且光谱组成也发生了变化。太阳光球层发射的连续光谱，在地面观测时就发生了变化。粗略地看，太阳光谱辐射能量的分布似乎是连续的，但是详细研究太阳光谱，仅在可见光区域内，就可发现两万多条吸收线[2]。

太阳辐射能量绝大部分分布在 0.2 微米到 3 微米之间。若把太阳对地球的有效辐射通量密度视为 903×10^{-4} 瓦/厘米^{2}时，地球接受到的太阳辐射通量密度按波段分布大致如下：

0.2～1.4 微米波段 为 820×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 90.8%
1.4～1.8 微米波段 为 47×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 5.2%
1.8～2.5 微米波段 为 24×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 2.6%
3.0～4.2 微米波段 为 10×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 1.1%
4.5～5.5 微米波段 为 1.6×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 0.18%

7.5～14 微米波段 为 1.0×10^{-4} 瓦/厘米^2，占 0.11%

微波波段的辐射通量密度极为微弱

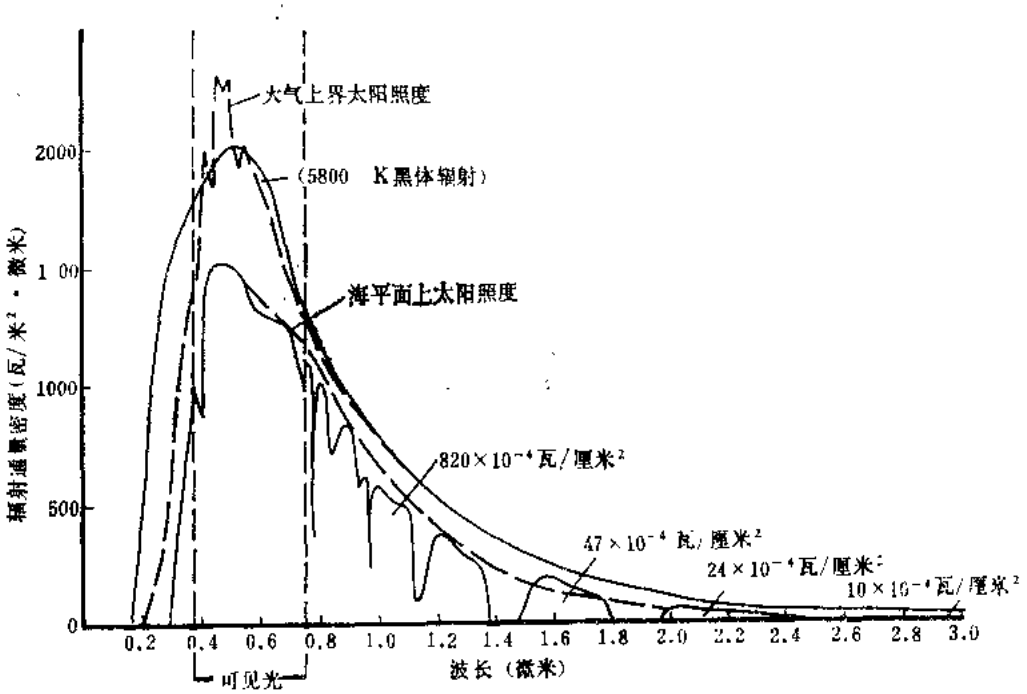


图 1-3 太阳辐照度分布曲线

地面或海面在接受太阳辐射时，还受日地距离、太阳高度角、地理纬度与高度不同而变化。地面上测量太阳辐射时还必然会掺杂天空辐射。已往的经验证明，地面所接受的总辐射照度中，约有20%来自天空辐射。只有在大气上界测量太阳辐射时，才可避免天空辐射。航空遥感在大气层中进行，航天遥感在大气层外进行，因此对太阳辐射的研究，不仅要研究地面和海面的辐照度，而且要研究大气上界的辐照度。

从飞机和人造卫星上探测地表的传感器，它接收到的是通过大气的电磁波。大气大致含有两种状态的物质：

(1) 分子：二氧化碳（CO_2）、臭氧（O_3）、氮（N_2）等粒径小的分子。

(2) 气溶胶：雾霾等水汽、烟、尘埃等粒径大的颗粒物。

电磁波通过大气时，由于受到分子和气溶胶的散射和吸收，透过的比例随波长各异。图 1-4 为大气的分光透过特性曲线，它是用对应于电磁波波段的透过率来表示透过量的。图中的分子式是表示由于该分子而影响了透过率。除所示的以外，N_2，O_2 和 Ar 等分子对可见光和近红外区波段几乎没有吸收。可见光的透过率是好的，1.4 微米和 1.9 微米附近的透过率则很差，这是由于水汽吸收的影响。透过率好的波段称为“大气窗口”。

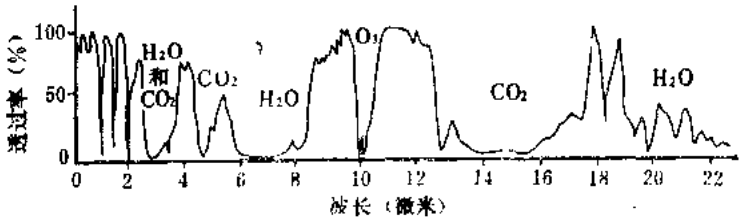


图 1-4 大气的分光透过特性

大气中光的衰减，在可见光区大多是由散射引起的。电磁波在大气中或在水中传播时，受到分子和微小粒子的散射。散射的方式因电磁波波长与散射体大小之间的相对关系而异。

一般说来，散射粒子的粒径比波长小得多时粒子引起的散射称为瑞利（Rayleigh）散射，粒径大于波长时粒子引起的散射称为米氏（Mie）散射（表 1-1）。

表 1-1　两种散射

瑞利散射	比波长小得多的粒子所引起的散射； 散射截面积∝(波长)$^{-4}$； 前后方的散射，偏振性显著
米氏散射	比波长大的粒子所引起的散射； 散射截面积∝(波长)$^{-n}$，$n\simeq 0\sim 2$； 气溶胶散射(大气中)

瑞利散射的重要特征是散射横截面积与波长的四次方成反比。光的波长越短，则其散射越强，天空呈现蓝色就是这个缘故。图 1-5 反映出由瑞利散射引起的散射光随着波长变短而增大。在紫外和蓝紫波段散射的影响非常大，所以航空摄影时需要使用蓝色滤光片。

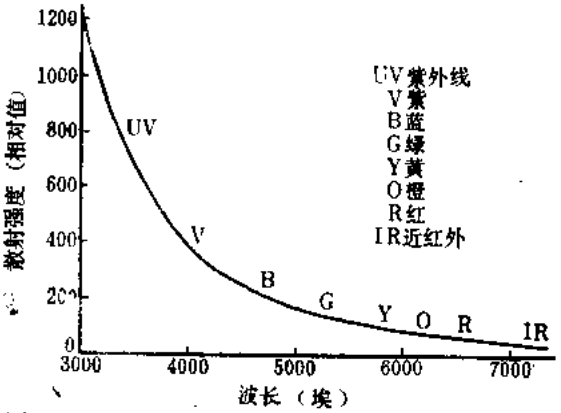


图 1-5　瑞利散射引起的散射光强度随波长的变化

米氏散射则由于粒子的大小和折射率，使得散射横截面变得较为复杂，前向散射所占的比例较大，方向性比较明显。在大气中，米氏散射主要是气溶胶引起的，故也称为气溶胶散射。海洋和湖泊的水色也是这种散射决定的。

以上两种散射均与波长有关，称为选择性散射。当粒子的粒径比入射的电磁波波长大得多时所引起的散射称为非选择性散射。非选择性散射强度与波长无关，在可见光波段由非选择性散射产生的散射光是白光，这是因为所有波长的光被散射的机率都相等的缘故。例如，云和雾都是由较大颗粒的水滴组成的，对可见光产生非选择性散射，因此云和雾看起来都是白色的。

第四节　地物的反射

地表上任何物体或现象对于外来电磁波辐射都具有反射、吸收和透射的性质。太阳辐射到地面后其入射功率为 E，将有一部分被地物吸收，一部分被透射和反射。若被地物吸收的功率以 E_α、透射功率以 E_τ、反射功率以 E_ρ 分别表示，根据能量守恒定律：

$$E = E_\alpha + E_\tau + E_\rho$$

$$1 = \frac{E_\alpha}{E} + \frac{E_\tau}{E} + \frac{E_\rho}{E}$$

若分别令 $\frac{E_\alpha}{E}$ 为吸收率 α；$\frac{E_\tau}{E}$ 为透射率 τ；$\frac{E_\rho}{E}$ 为反射率 ρ，于是

$$1 = \alpha + \tau + \rho$$

一般地物可看成是非透明体，即 $\tau \simeq 0$，则

$$1 = \alpha + \rho,\quad \rho = 1 - \alpha$$

这说明反射率大的物体，吸收率小；吸收率大的物体，反射率小。海水在可见光的蓝绿波段有透射能力，$\tau \neq 0$，因此海水的反射率应为

$$\rho = 1 - (\alpha + \tau)$$

实验证明，可见光波段中透射能力最强的 0.47 微米波长的蓝光对纯净的大洋海水有 100～120 米左右的透射深度。但是，当水体中含有悬浮泥沙颗粒和有机物等物质时，可见光对水体的透射能力将随着其悬浮物质含量的升高而迅速衰减。自然水体大都含有大量的悬浮物质，因此，对于一般的清水，即使是在 0.47 微米的蓝光波长，也只有 10～20 米的穿透深度。

由于地物的反射、吸收和透射特性一般是入射波波长的函数。对同样波长的入射电磁波，不同的物体将表现出不同的反射、吸收和透射特性；对于同一个物体，当入射电磁波的波长不同时，各能级受激跃迁的机率不同，所吸收的辐射能和再发射辐射的能量也不同。可见不同的物体由于其成分、内部结构及表面状态等因素的不同，能级结构特征有差异，从而吸收入射辐射和产生新辐射的性能也不同。在物体对入射电磁波的各种作用中，反射是最有实用意义的。对遥感来说，物体的反射特性最能揭示其本质，且反射信息的接收比较容易实现。

根据入射电磁波的波长与物体表面粗糙度之间的关系，可将地物的反射分为镜面反射、漫反射和方向反射三种。物体表面的粗糙度可用所谓的瑞利判据 h 来确定：

$$h = \lambda / 8 \sin\nu$$

式中：λ——入射波波长；ν——辐射与地面夹角；h——物体表面粗糙度。

当 $h \leqslant \lambda/8\sin\nu$ 时，物体表面相对于波长 λ 来说是平滑的，将产生镜面反射；当 $h > \lambda/8\sin\nu$ 时，则称物体表面是粗糙的，将产生漫反射。不难看出，粗糙度是入射波波长的函数，同一物体的表面，对可见光可能是粗糙的，但在微波波段可能就是一个光滑的表面。

镜面反射的入射光和反射光及折射光之间遵循一定的角度关系，因而反射光具有很强的方向性，其光强相对较强。镜面反射的物体在遥感图像上容易形成“闪烁”现象，往往掩盖了地物的信息，不过，对可见光而言，自然界物体的表面大多是粗糙而，仅仅一些平静的水面和一些人工表面才可能发生镜面反射，所产生的影响也仅限于航空等低平台遥感。

漫反射是指物体表面均匀地向各个方向反射入射光。通常称具有漫反射性质的表面为朗伯面，故漫反射亦称朗伯反射。地表上大多数物体的反射，对可见光来说，都属漫反射。

地面的反射完全符合朗伯面反射的也不多，由于地形起伏和地面结构的复杂性，往往在某些方向上反射最强烈，这种现象称为方向反射。地面起伏使得入射角因地而异，根据朗伯余弦定律，这种入射角的差异将导致各个部位上漫反射强度的不同，入射角越小的部位漫反射的强度相对越要强一些，从而使传感器在接收这种漫反射时具有一定的“方向性”。

紫外和近红外的波长与可见光相近，反射特性差别不大，但人的眼睛无法感应，只有仪器才能检测它们。

在微波波段内，物体的反射方式仍然是这三种，瑞利判据同样适用。只是微波段的

波长比可见光段的波长要大 10 万倍左右，瑞利判据的量值要大得多。因此，许多在可见光波段产生漫反射的物体表面在微波段却成了镜面反射，如水泥路面、沙地、有微小起伏的水面等。因此，在微波遥感中，镜面反射的情况较多。

第五节　地物颜色和彩色原理

在人的视网膜结构中有一层视细胞，在视细胞层中有两类视细胞，一类叫做视杆细胞，其直径约 1.8～2 微米，长度约 60～80 微米，它只能感觉外界光的强弱，换句话说，它没有色感；另一类叫做视锥细胞，其直径由 2～7 微米不等，平均长度为 35 微米。根据视锥细胞不同的光谱敏感度，人眼视网膜中有三种色细胞，即红视锥细胞、绿视锥细胞和蓝视锥细胞。各种视锥细胞由于吸收不同波长的光子，视网膜才有感色的能力。图 1-6 是人眼的视觉光谱。由图可知，夜里只有视杆细胞感光，其峰值波段在 0.5 微米附近；白天除视杆细胞外还有视锥细胞感蓝（B）、感绿（G）、感红（R）。感蓝光谱段为 0.35～0.55 微米，吸收峰值波长在 0.45微米处；感绿光谱段为 0.4～0.65 微米，吸收峰值波长在 0.54 微米处；感红光谱段为 0.45～0.75 微米，吸收峰值波长在 0.59 微米处。蓝、绿、红三谱线合成白色感觉的峰值波长在 0.55 微米处。

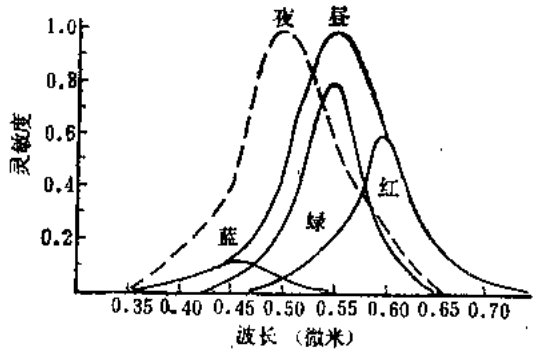


图 1-6　人眼的视觉光谱

太阳辐射中只有 0.38～0.76 微米波段是人眼可见的波段，它是多种色光的混合光，当它照射到地球上不发光的物体上时，有的色光被物体反射得多一些，有的色光被物体反射得少一些，这些被物体反射出来的色光混合起来，就成为物体的颜色。例如，雪对所有的色光都是强反射体，所以呈白色；海水主要透射→反射蓝光，因此呈深蓝色；沙漠主要反射黄光，所以呈黄色等等。

各种物体对光波的吸收方式也不相同，一般可分消色物体和彩色物体两类。所谓消色物体就是对入射的白光，进行非选择性的吸收。由公式 $\rho = 1 - \alpha$ 可知，吸收极少而反射很多的物体呈白色，反之，呈黑色。中间过渡的是淡灰、灰、深灰等灰色。根据人眼分辨能力可以按非选择性吸收的程度分出 10 个灰阶（表 1-2）。

表 1-2　人眼能分辨的灰阶分类

灰　阶	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
吸收率 α (%)	0～10	11～20	21～30	31～40	41～50	51～60	61～70	71～80	81～90	91～100
反射率 $\rho=1-\alpha$ (%)	100～91	90～81	80～71	70～61	60～51	50～41	40～31	30～21	20～11	10～0
色　调	白	灰白	淡灰	浅灰	灰	暗灰	深灰	淡黑	浅黑	黑

所谓彩色物体就是对入射的白光进行选择性的吸收，即吸收率的大小与波长有关，公式可写为

$$\rho(\lambda)_i = 1 - \alpha(\lambda)_i$$

吸收率与反射率都是波长 λ 的函数。如果物体吸收 0.4～0.6 微米色光及反射 0.6～0.7 微米色光多些，那么该物体呈现橙红色。由于被物体反射出来的色光对人眼三种感色视锥细胞的刺激不等，因而就合成出各种彩色。国外的实验表明，人眼在仪器帮助下可以分辨出 13 000 多种颜色。从理论上分析，在密度计帮助下，人眼识别 $2^7 = 128$ 种灰阶是可能的，那么识别 $2^7 = 128$ 种颜色也应是不困难的。假定每种颜色的反射强度也可以象灰阶一样识别，那么人眼在光学仪器帮助下应该可以识别 $(2^7)^2 = 2^{14} = 16\,384$ 种不同色别、不同色阶的颜色。CIE 舌形色度图中的彩色范围都是人眼所可见的。

由人眼的色觉形成过程到色度学的研究认为，世上全部颜色都是用互相独立的三种单色光（称此为三原刺激）的加色法得到的，其表色系统称之为 CIE（国际照明协会）的 RGB（红绿蓝）表色系统（图 1-7）。三原刺激采用了 0.70 微米波长的红光（R）、0.546 微米的绿光(G)、0.4358 微米的蓝光（B）。基础刺激（W）采用了相等能量光谱的白色光。色度图上，0.38 微米到 0.77 微米的吊钟状曲线称为光谱轨迹，它表示纯度最高的光谱单色光。全部颜色都包括在此光谱轨迹和把两端连起来的直线（称为纯紫轨迹）范围以内的色度坐标上。饱和度越小的颜色越处于中部，白色光在图中 W 点上。设未知颜色的色度坐标在 F 点，连结 W 和 F 两点的直线，与光谱轨迹的交点为 S，S 点即为其最佳波长，也就是所代表的颜色，它的饱和度由 F 点在 SW 线上的比例给出。

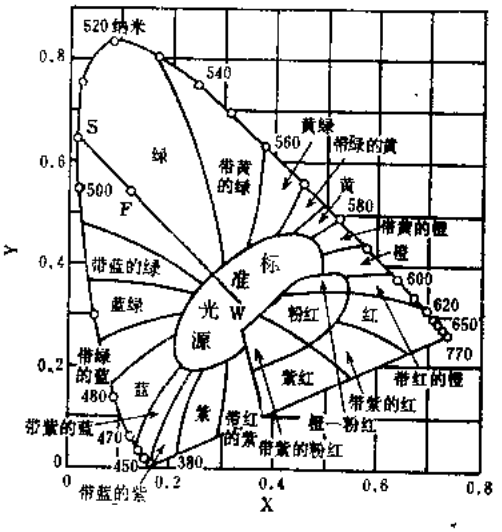


图 1-7 CIE 色度图

R, G, B三原色可以合成各种彩色色光，这是现代彩色摄影、假彩色合成、彩色电视、彩色密度分割等技术的理论基础。

由色光相加和相减实验得到：

(1) R，G，B 两两相加可合成三种间色光：

$$R + G = Y \text{（黄光）}$$
$$G + B = C \text{（青光）}$$
$$B + R = M \text{（品红）}$$

(2) 凡是两色光能合成白光者称为互补色光，或者从白光中减去 B，G，R 而得到 Y, M, C，此时称黄—蓝互补；品—绿互补；青—红互补。此为减色法（图 1-8）。现代彩色摄影正、负片上颜色就是互补的。

以上所述，均是以白光为光源而言的。光源的颜色对物体的颜色是有影响的。云、雪、白纸等都是消色物体，在强太阳光照射下呈白色，在阴天呈浅灰色，在黑夜呈浅黑

色。白纸在红灯照射下呈红色，在绿灯照耀下呈绿色。然而一块绿布在红灯下就变成黑色了，因绿布吸收红光又没有绿光可反射，所以呈黑色。总之，不同的物体对不同波长的光波具有固定的吸收、反射和透射的光学特性，与物质结构有关，而没有固定的颜色。这在测定地物反射光谱时是十分重要的概念。

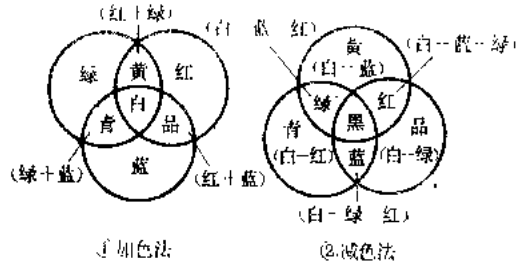


图1-8 三基色圆图

必须注意的是，不要把色光混合与染料的混和相混淆。因为色光混合遵循三基色相加的原理，而染料混和却是按相减方式进行的。当把等量的红染料颗粒与绿染料颗粒混和搅拌均匀，红、绿染料均反射各自本色光，吸收其它色光，红染料反射出来的红光被绿染料吸收，绿染料反射出来的绿光被红染料吸收，因此，混和后的染料呈黑色。

第六节 大地辐射

由于太阳辐射的大部分能量集中在可见光波段，一般称之为短波辐射。地球表面(大地和海洋)所保持的温度与辐射能量主要依靠太阳短波辐射，在吸收太阳短波辐射后，一部分能量变为长波辐射，即大地辐射。所有由地物本身的温度所产生的辐射能量，都分布在从近红外到微波波段这一很宽的范围内，但是大部分能量集中在8～14微米之间，因此，大地辐射又常称为电磁波谱的“热区”。

地表的热平衡，粗略地看，一方面是由太阳辐射引起的地表增温，这种热能从地表向地壳一定深度传导，另一方面，地球内部的热能也能通过地壳传递到地表上来，两者在地表下一定深度的地方达到热量平衡。在平衡线以上主要受太阳辐射影响，地温随地球的自转与公转发生日变化与年变化；在平衡线以下的地方主要受地球内部热能分布的影响。因此，地球表面的长波辐射，主要是由太阳短波辐射转化来的。

地表的热平衡线在地球各处的深度是不同的。局部地区地球内部热对流使地表温度剧增，形成地热异常区，这时地表的热辐射有很大变化，且受制于地球内部热能变化。通常利用地热异常区在热红外的波谱特征，应用热红外遥感来研究地热、火山。

海水的温度变化要比陆地的复杂得多。因为海洋中有大、中、小不同尺度的涡流，还有海流、洋流等对流作用，因此，海面的辐射研究更具有特殊的意义。

遥感探测实际是辐射量测定。关于辐射量的测定历来有辐射测量和光度测量两种。光度测量是以对人产生视觉的可见光波段为对象的辐射量测定；辐射测量则是从红外到无线电波波段宽广的范围内进行测定的。所以尽管所测定的是同一个量，两者术语表达的意义却不同。表1-3是辐射测量和光度测量的术语对照表。在各物理量的前面加上“分光”这个词时，就是指单位波长宽度的物理量，如有分光辐射通量、分光辐射亮度等。

用辐射通量来定义吸收率、反射率和透射率时，它们都是温度和波长的函数，即：

$$1=\alpha(\lambda,T)+\rho(\lambda,T)+\tau(\lambda,T)$$

表 1-3 辐射测量和光度测量术语对照表

辐射测量			光度测量		
名称	符号	单位	名称	符号	单位
辐射能	Q_e	焦耳	光量	Q	流明·秒
辐射通量	Φ	瓦	光通量	F	流明
辐射强度	I_e	瓦·球面度$^{-1}$	光强度	I	坎德拉
辐射散射度	M_e	瓦·米$^{-2}$	光通量散射度	M	流明·米$^{-2}$
辐射照度	E_e	瓦·米$^{-2}$	照度	E	勒克斯(流明·米$^{-2}$)
辐射亮度	L_e	瓦·米$^{-2}$·球面度$^{-1}$	亮度	L	坎德拉·米$^{-2}$

式中 $\alpha(\lambda,T)$，$\rho(\lambda,T)$，$\tau(\lambda,T)$ 分别称为分光的吸收率、反射率和透射率，对于波长为 λ 的辐射是不透明的物体来说，$\tau(\lambda,T)=0$，于是

$$\alpha(\lambda,T)=1-\rho(\lambda,T)$$

说明强吸收体必然是弱反射体。

若物体在任何温度下，对任何波长的辐射通量完全吸收，即吸收率 $\alpha(\lambda,T)=1$，则该物体称为绝对黑体，简称黑体。黑体的热辐射仅由温度决定而与物体性质无关，黑体的热辐射称黑体辐射。

黑体是一种具有最大辐射的物体。实际上各种物体並不是黑体，一般物体的辐射要比黑体辐射小，因此，以黑体为基准所表达的就是发射率，又叫比辐射率，它的定义是目标物体的辐射量与该物体同温度下的黑体辐射量之比。分光发射率是指特定波长下每单位长宽度的辐射量之比。

1860 年，基尔霍夫得出了“好的吸收体也是好的辐射体”的定律。1890 年，普朗克用量子论概念推导出热辐射定律，其解析式为：

$$W_\lambda=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{ch/\lambda kT}-1}$$

式中：W_λ——分光辐射通量密度，瓦/厘米^2·微米；

λ——波长，微米；

h——普朗克常数 $=6.6\times10^{-34}$ 瓦·秒^2；

c——光速 $=3\times10^{10}$ 厘米/秒；

k——玻耳兹曼常数 $=1.38\times10^{-23}$ 瓦·秒K^{-1}；

T——绝对温度，K；

π——3.1415……；

e——自然对数的底，等于 2.718。

由普朗克公式与实验求出的各种温度下的黑体辐射波谱曲线（图 1-9）能够很好符合。从图中可直观地看出黑体辐射的三个特性。

(1) 与曲线下的面积成正比的总辐射通量密度是随温度 T 的增加而迅速增加的。在从零到无穷大的波长范围内，对普朗克公式进行积分，得到从 1 平方厘米面积的黑体辐射到半球空间里的总辐射通量表达式为：

$$W=\frac{2\pi^5k^4}{15c^2h^3}T^4=\sigma T^4$$

式中 $\sigma=\frac{2\pi^5k^4}{15c^2h^3}=5.67\times10^{-12}$ 瓦/厘米^2·K^4

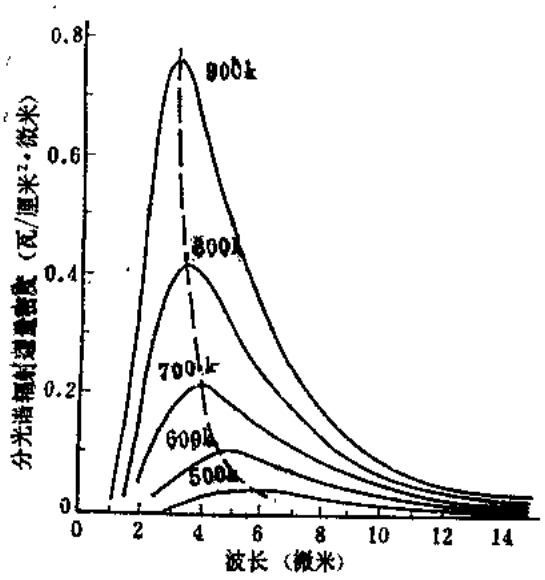


图 1-9　各种温度下的黑体波谱辐射通量密度

称为斯蒂芬-玻尔兹曼常数。由此可见，黑体辐射通量密度的增加与绝对温度的四次方成正比，称为斯蒂芬-玻尔兹曼定律。

(2) 分光辐射通量密度的峰值波长 λ_{max} 随温度的增加向短波方向移动。微分普朗克公式，並求极值得到：

$\lambda_{max}T=2897.8\pm0.4$ 微米·K

可见，峰值波长与绝对温度成反比，称为维恩位移定律。图 1-9 中的虚线就是这些峰值的迹线。在常温下（如 27°C，即 300K），黑体最大辐射的波长约在远红外 10 微米附近。

(3) 每根曲线彼此不相交，故温度越高，所有波长上的波谱辐射通量密度也越大，即 W_λ 随 T 的增加而增大。

物体按其发射辐射特性一般可以分成三种类型。第一种是黑体，它的发射辐射最大（发射率为1），发射率与波长无关；第二种称为灰体，它的发射辐射大体与黑体相近，其发射率也与波长无关，其发射率小于1；第三种则是一种有选择性的发射体，其发射率与波长密切相关（图 1-10）。例如土壤在 20°C 时的发射率为 0.92～0.95，水在同样温度下的发射率为0.96，它们都是与黑体颇为接近的灰体。选择性辐射体是原子和分子的辐射吸收效果比较强的物体，例如水银灯和氙灯等。

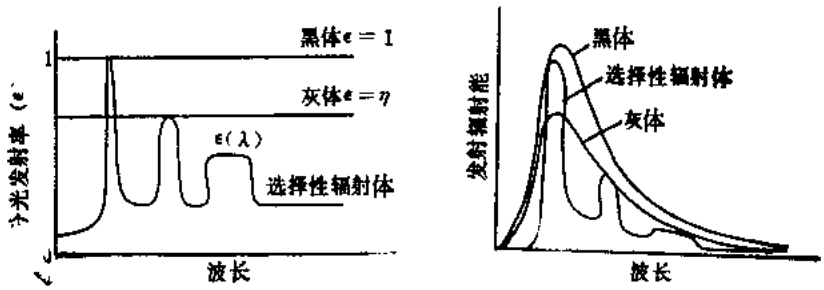


图 1-10　物体发射辐射的三种类型

黑体、灰体和选择性辐射体的辐射通量密度按波长分布的波谱是不相同的。但是，应该指出的是，在红外波段的黑体并不一定是黑色的，灰体也不一定是灰色。黑、灰、白、彩色是对可见光来说的。黑体、灰体、选择性辐射体是对红外波段来说的。例如，大理石在可见光下呈白色，它在 8～14 微米的红外波段发射率为 0.95，几乎是黑体。

黑体辐射的辐射通量密度 W_λ 一直分布延续到微波波段，只是在微波波段上的 W_λ 值已经很小，只有 10^{-9}～10^{-20} 瓦/米^2。

第七节　人工发射的探测波束

遥感技术除了利用太阳辐射源、大地辐射源等自然辐射源外，还使用人工辐射源。人工发射一定波长、一定功率的波束，然后再接收该波束被地物散射后返回的后向反射信号，从而探知地物和测距，称为雷达。利用电磁波来工作的有微波雷达和激光雷达，应用超声波工作的称为声纳或声雷达。

人工发射的雷达波束，大都选在微波波段(0.1～100厘米)内，为无线电波中波长最短的部分。正因为微波的波长短，因而，它具有一系列的优点，例如，地物目标对微波的反射性能好；易于聚成较窄的波束，波束立体角可达1°左右；近似直线传播；不受高空（100～400公里）电离层的反射；由于大地微波辐射能量小（10^{-9}～10^{-20}瓦/米^2），对人工发射的微波波束干扰小；微波透射大气的性能好，可以全天候工作等等。因此，雷达波束选用微波为多。限于目前技术水平，激光雷达在遥感技术中还未普遍应用。

在微波波谱中，0.1～1.0厘米波段又称毫米波；1～10厘米波段称为厘米波，10～100厘米波段称为分米波。遥感中常用的微波波段为0.8～30厘米。这个波段又可细分为K，Ku，X，G，C，S，Ls，L等波段，各波段的波长与频率的关系如表1-4所述。

表1-4　遥感中常用的微波雷达波段

波段	波长（厘米）	频率（千兆赫）	能量（10^{-4}电子伏）	常用波段
K	1.13	26.50	1.1	
	1.67	18.00	0.74	高度计
Ku				λ=2.2厘米，ν=13.5千兆赫 λ=2.15厘米，ν=13.9千兆赫 散射计
				λ=2.05厘米，ν=14.6千兆赫
X	2.42	12.40	0.51	合成孔径雷达 λ=3厘米，ν=10千兆赫 λ=3.3厘米，ν=9.1千兆赫
G	3.66	8.20	0.34	
C	5.13	5.85	0.24	λ=6.7厘米，ν=4.5千兆赫
S	7.39	3.95	0.168	λ=10厘米，ν=3千兆赫
Ls	11.52	2.60	0.108	
L	17.63	1.70	0.071	合成孔径雷达 λ=23.5厘米，ν=1.275千兆赫
	26.76	1.12	0.046	

雷达，具有测定目标位置、方向、距离和运动目标速度的作用。大部分雷达的作用是地对空的监测，而雷达遥感则是居高临下，由空中对陆地或海洋进行工作。

天线发出的微波束，射到地面后，产生方向和强弱都不相同的辐射，其中返回原来天线的一部分称作后向反射。微波从物体表面反射回来的后向反射强度，将因物体的属性、表面特性、大小、形状以及入射微波的波长、入射角的大小不同而有很大的差别。分述如下。

(1) 地物表面发生的反射方式仍由瑞利判据来确定。当入射波波长 λ 远远大于地面和海面的粗糙度 h 时，微波入射到达这种表面时就产生镜面反射；当 $\lambda = h$ 时，则为漫反射；当 $\lambda < h$ 时，为方向反射。在漫反射和方向反射时，天线才能接收到后向反射。

(2) 物体的有效反射面积越大，反射越强。所谓有效反射面积可以理解为一个垂直于微波传播方向的面积，它所反射的辐射强度与原物体所反射的辐射强度相等。一般来说，目标的有效反射面积比实际的几何面积要小。

有效面积的后向反射强度 I 与入射角 i 的大小有关，如图 1-11 所示，当 $i = 0$ 时，后向反射强度最大（I_{max}），随着 i 的增加，后向反射强度 I 逐渐减小，将其变化轨迹连结起来，则构成一个立于地面的椭球体。

(3) 平行的微波束入射到地面，由于地面坡度不同，入射角不同，微波后向反射强度也不相同。图 1-12 中“1”状态入射，对平地和立坡只有很小的后向反射，斜坡却有极大的后向反射。可见地形的影响很大。

(4) 由于地物的介电常数不同，所形成的地物反射立椭球的形状也不同(图 1-13)，耕地的立椭球接近于球形，草地为椭球，平静水面为长椭球。

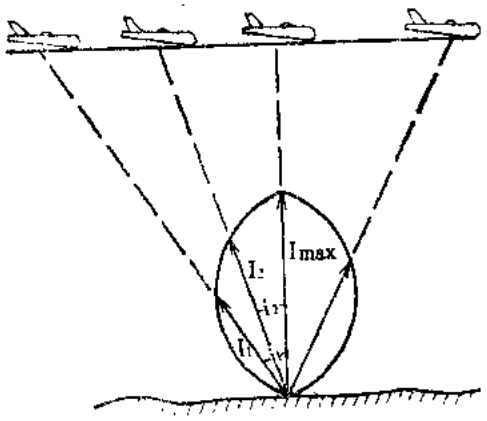


图 1-11　入射角与反射强度的关系

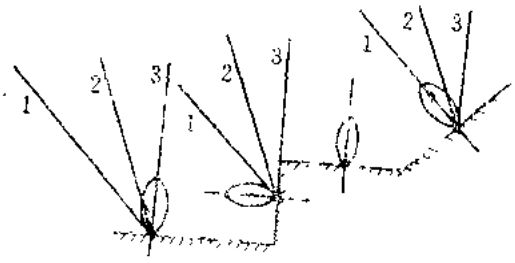


图 1-12　地形对后向反射强度的影响

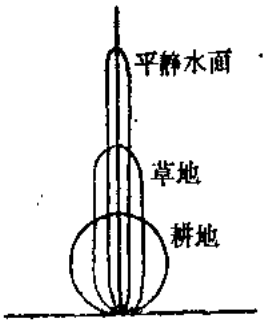


图 1-13　不同地物的后向反射椭球

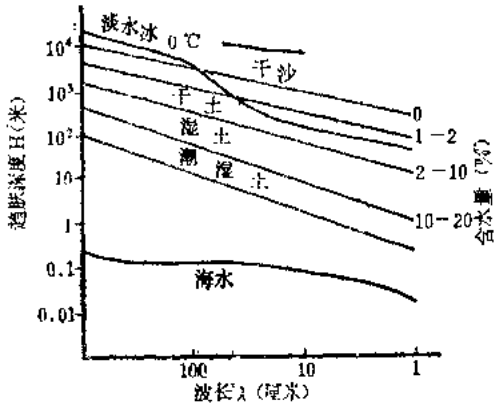


图 1-14　微波雷达对不同物质的趋肤深度

(5) 微波束入射到地面或海面后，除了产生反射和散射辐射外，大部分辐射能被地物吸收。随着微波束穿透地物深度的增加，微波辐射强度逐渐衰减。微波辐射强度减少到 1/e 倍时的穿透深度称为趋肤深度 H，微波的趋肤深度在地面平整的条件下，可用下

式表示

$$H = \frac{5.3 \times 10^{-3} \sqrt{\varepsilon}}{\sigma}$$

式中：ε——地物的介电常数；

σ——地物的电导率。

不同波长的微波对各种地物的趋肤深度是不同的。图 1-14 归纳了几种主要地物的趋肤深度。由图可见，海水的趋肤深度，无论在微波的哪个波段都只有 0.1～1.0 毫米；干沙、干土、干冰趋肤深度比湿沙、湿土来得深；频率越低、波长越长的微波穿透能力越强，例如干沙的趋肤深度，当 $\lambda = 10$ 厘米时，$H = 10$ 米；当 $\lambda \approx 1$ 米时，$H \approx 70 \sim 80$ 米。由此可见，微波的穿透力受制于波长和含水量两个主要因素。

紫外线、可见光、红外线等电磁波大部分不能穿透岩石和海水。可见光中的蓝绿波段对海水有较强的穿透力。微波对干沙、干土、干冰等有一定的穿透力，但趋肤深度也很有限。声波由于其波速慢、穿透力强，因此，能够穿透海水和地层。声纳工作波段主要是超声波，其频率相当于无线电波与微波的频率，具有微波波束的一系列优点。超声波的发射功率大，可达 $10^2 \sim 10^3$ 千瓦。目前声纳主要用来探测海底地物，工作原理与微波雷达相同。

参 考 文 献

[1] 日本遥感研究会编（龚君译），遥感原理概要，科学出版社，1981 年。

[2] 马蔼乃编，遥感概论，科学出版社，1984 年。

第二章　遥感信息的获取与图像数据处理

地物发射或反射的电磁波信息，通过传感器收集、量测并记录在胶片或磁带上，然后进行光学或计算机处理，最终才能获得可以进行目视解译的遥感图像。本章对传感器的结构和类型、遥感成像原理及对获得的遥感信息进行加工处理的方法作一概要叙述，为目视解译提供必要的理论依据。

第一节　遥感信息的获取

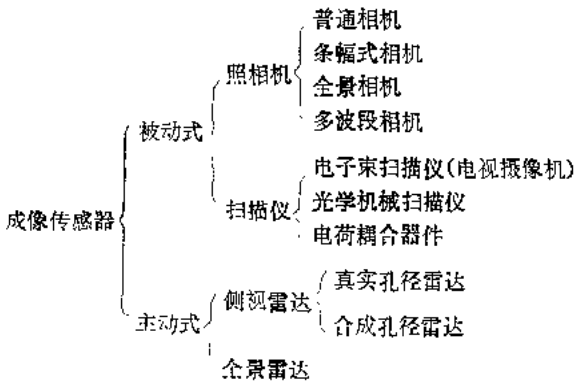
由于电磁波随着波长的变化其性质有很大的差异，地物对不同波段电磁波的发射和反射特性也大不相同，因而接收电磁辐射的传感器的种类极为丰富，不同传感器的工作原理及所涉及的技术领域更是千差万别。然而，不论传感器的形式如何多样，结构如何复杂，它仍具有共同的结构组成。了解传感器的类别和组成可使我们对传感器有一个全面的认识。

一、传感器的分类、组成及性能

1. 传感器的分类

依照不同的分类标准，传感器有多种分类方法。按工作的波段可分为可见光传感器、红外传感器和微波传感器。按工作方式可分为主动式和被动式两类。被动式传感器接收目标自身的热辐射或反射太阳辐射，如各种相机、扫描仪、辐射计等；主动式传感器能向目标发射强大的电磁波，然后接收目标反射的回波，主要指各种形式的雷达，其工作波段集中在微波区。按记录方式可分为成像的与非成像的两大类，非成像的传感器记录的是一些地物的物理参量；在成像系统中，按成像原理可分为摄影成像、扫描成像和全息成像三类，其中摄影和扫描是两种最主要的成像方式。

综上所述，将目前最常见的成像传感器归纳如下：



2．传感器的组成

一般来说，传感器可分为收集系统、探测系统、信号处理系统和记录系统四个部分（图 2-1）。只有摄影方式的传感器探测与记录同时在胶片上完成，无需在传感器内进行信号处理。

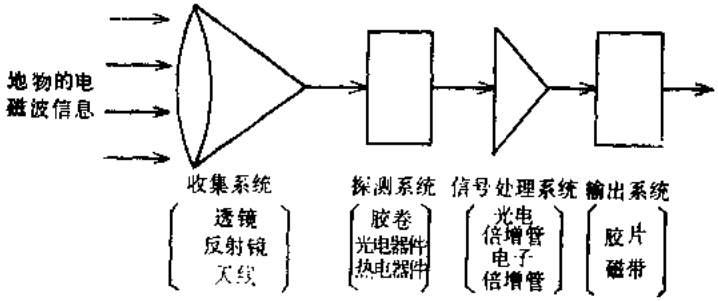


图 2-1　传感器结构框图

(1) 收集系统

地物辐射的电磁波在空间是到处传播的，即使是方向性较好的微波，在远距离传输后，光束也会扩散，因此接收地物电磁波必需有一个收集系统。该系统的功能在于把收集的电磁波聚焦并送往探测系统。相机的收集元件是凸透镜，凸透镜聚焦是我们所熟知的。扫描仪用各种形式的反射镜以扫描方式收集电磁波，雷达的收集元件是天线，二者都采用抛物面聚光，物理学上称抛物面聚光系统为卡塞格伦系统。

如果进行多波段遥感，那么收集系统中还包含按波段分波束的元件，一般采用各种色散元件和分光元件，如滤色片、分光镜和棱镜等。

(2) 探测系统

探测系统用于探测地物电磁辐射的特性，是传感器中最重要的部分。常用的探测元件有胶片、光电敏感元件和热电灵敏元件。不同探测元件有不同的最佳使用波段（图 2-2）和不同的响应特性曲线[1]。

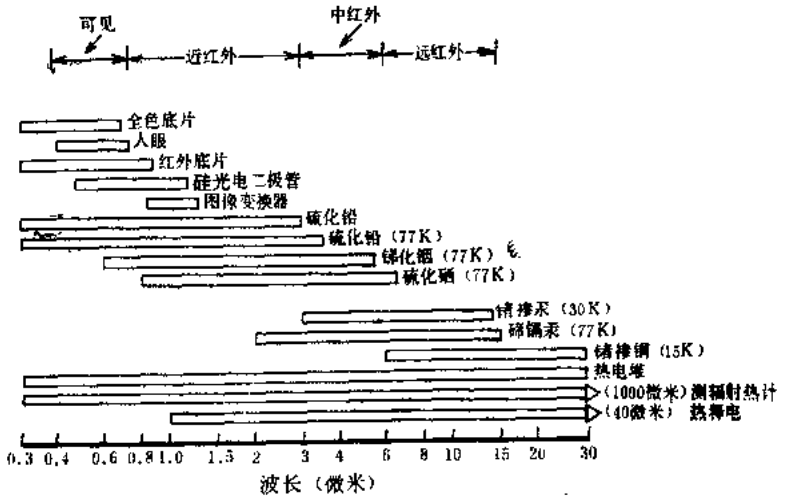


图 2-2　各种探测元件的工作波段

探测元件之所以能探测到电磁波的强弱，是因为探测器在光子（电磁波）作用下发生了某些物理或化学变化，这些变化记录下来并经过一系列处理便成为人眼能看到的像

片。感光胶片便是通过光化学作用探测近紫外至近红外的电磁辐射。这一波段的电磁辐射能使感光胶片上的卤化银颗粒分解，析出银粒的多少反映了光照的强弱并构成地面物像的潜影，胶片经过显影、定影处理，就能得到稳定的可见影像。

光电敏感元件是利用某些特殊材料的光电效应把电磁波信息转换为电信号来探测电磁辐射的。其工作波段涵盖紫外至红外波段，在各种类型的扫描仪上都有广泛的应用。光电敏感元件按其探测电磁辐射机理的不同，又分为光电子发射器件、光电导器件和光伏器件等。光电子发射器件在入射光子的作用下，表面电子能逸出成为自由电子；相应地，光电导器件在光子的作用下自由载流子增加，导电率变大；光伏器件在光子作用下产生的光生载流子聚集在二极管的两侧形成电位差，这样，自由电子的多少、导电率的大小、电位差的高低，就反映了入射光能量的强弱。电信号经过放大、电光转换等过程，便成为人眼可见的影像。

还有一类热探测器是利用辐射的热效应工作的。探测器吸收辐射能量后，温度升高，温度改变引起其电阻值或体积发生变化。测定这些物理量的变化便可知辐射的强度。但热探测器的灵敏度和响应速度较低，仅在热红外波段应用较多。

值得一提的是雷达成像。雷达在技术上属于无线电技术，而可见光和红外传感器属光学技术范畴。雷达天线在接收微波的同时，就把电磁辐射转变为电信号，电信号的强弱反映了微波的强弱，但习惯上并不把雷达天线称为探测元件。

(3) 信号处理系统

扫描仪、雷达探测到的都是电信号，这些电信号很微弱，需要进行放大处理；另外有时为了监测传感器的工作情况，需适时将电信号在显像管的屏幕上转换为图像，这就是信号处理的基本内容。目前很少将电信号直接转换记录在胶片上，而是记录在模拟磁带上。磁带回放制成胶片的过程可以在实验室进行，这与从相机上取得摄影底片然后进行暗室处理得到影像的过程极为类似，可使传感器的结构变得更加简单。

(4) 记录系统

遥感影像的记录一般分直接与间接两种方式。直接记录方式有摄影胶片、扫描航带胶片、合成孔径雷达的波带片；还有一种是在显像管的荧光屏上显示图像，再用相机翻拍成的胶片。间接记录方式有模拟磁带和数字磁带。模拟磁带回放出来的电信号，通过电光转换可显示为图像；数字磁带，记录时要经过模数转换，回放时则要经过数模转换，最后仍通过电光转换才能显示图像。

3. 传感器的性能

反映传感器性能的指标很多，其中最重要的且直接影响到应用效果的指标有三个：地面分辨率、灰度分辨率和波谱分辨率。

(1) 地面分辨率

地面分辨率是用来表征传感器获得的影像反映地表景物细节能力的指标，亦称为空间分辨率，定义为影像上能够详细区分的最小单元所代表的地面距离的大小。可见地面分辨率 m 是由传感器系统的分辨率 n 及传感器工作时的比例尺 s 决定的：

$$m = n/s$$

影像的比例尺可以缩小放大，而地面分辨率是不变的。地面分辨率在不同比例尺的具体影像上的反映叫做影像分辨率。举例来说，陆地卫星 MSS 的地面分辨率为 79×79 平方

米，笼统地讲其地面分辨率为80米，在1:100万图像上，其影像分辨率为0.08毫米，在1:10万图像上，其影像分辨率为0.8毫米。

传感器系统的分辨率受传感器收集系统的分辨率、探测元件的分辨率和灵敏度等多种因素的制约。一般传感器的角分辨率（地面分辨率对传感器的张角）β 与波长 λ 和收集器的孔径 D 有关[2]：

$$2\beta = \lambda / D$$

当收集器的孔径一定时，可见光与微波的波长相差4～5个数量级，因此对地面的分辨率也相差很大。总的说来，可见光传感器对地面分辨率最高，热红外波段次之，微波波段最差。

(2) 灰度分辨率

灰度分辨率是表征传感器所能探测到的最小辐射功率的指标，指影像记录的灰度值的最小差值。在不同波段，用不同传感器获得的影像灰度分辨率很不相同。摄影胶片的灵敏度很高。原则上认为摄影成像的灰度是连续的，因此灰度分辨率对相机而言是没有意义的。使用各种量子探测器和热探测器的传感器因受探测器灵敏度的限制，灰度分辨率较低。灰度记录是分级的，一般分为2^n级。灰度分辨率越高，可记录的灰度级别就越多。对可见光波段的影像而言，灰度分为$2^7=128$级，这样的灰度等级足可以满足目视解译要求，不需要作更精细的划分，也就是说对灰度分辨率要求不高。对热红外遥感而言，灰度变化反映了地物亮度温度的变化，地物亮度温度变化是我们最关注的目标，这时的灰度分辨率（也可称温度分辨率）越高，对地物亮度温度区分得越细，效果就越好。

但是对一定的传感器来讲，地面分辨率和灰度分辨率是一对矛盾体。要提高地面分辨率，就要缩小瞬时地面视场，探测器接收的辐射能将随之减少，灰度分辨率就要降低。因此，有时为了提高地面分辨率而牺牲灰度分辨率，有时则为了提高灰度分辨率而牺牲地面分辨率。只有探测器的灵敏度提高，二者才能同时得到提高。

(3) 波谱分辨率

波谱分辨率指传感器所用波段数、波长及波段宽度，也就是选择的通道数、每个通道的波长和带宽。一般来说传感器的波段越多，频带宽度越窄，所包含的信息量越大，针对性越强。多波段像片可以对照分析或进行彩色合成，为目视解译提供方便。目前使用的传感器，特别是扫描仪，少则三五个通道，多的达20甚至上百个通道。

在实际工作中，对于特定目标，选择的传感器并非波段越多、分辨率越高效果就越好，而要根据目标的波谱特性和必需的地面分辨率和灰度分辨率来考虑。在某些情况下，波段太多，分辨率太高，接收到的信息量太大，反而会“掩盖”地物电磁辐射特性，不利于快速探测和识别地物。

表2-1列出了几种典型传感器的性能，我们可根据实际情况，扬长避短，配合使用。

二、照 相 机

照相机是使用历史最长、发展最完善的传感器。它通过摄影方式获取地物的可见光和近红外波段的影像，信息量大，灵敏度高，分辨本领强，为其它传感器所不具备。

1．照相机的结构与原理

遥感技术中使用的照相机的结构与日常生活中人们使用的照相机的结构类似，由底

表 2-1 典型传感器性能比较[2]

性能 \ 遥感传感器	可见光照相机	热红外扫描仪	微波合成孔径雷达
日夜工作	5	10	10
全天候工作(穿透云、雾、雨)	1	2	10
探测水下深度	5	1	1
探测地表以下深度	1	5(地热)	8(干沙，干冰)
地面分辨率	9	7	9
物质成分分辨率	9	4	6
温度分辨率	5	10(热惯性)	10
导电率分辨率	1	1	10
几何逼真程度	10	7	10
立体能力	10(像对)	5,8(像对)	10
远距离能力	7	4	10
判别运动目标	5	7	9
图像解译难易程度	10	6	8
装备的难易程度	10	6	4

注：表中数字表示效果好坏的程度，1 为效果不好，10 为效果最好。

片盒、机身和镜头三部分组成（图 2-3）。底片盒内装有两个转轮，一个转轮卷有未曝光的胶片，另一个接收曝光后的胶片。机身内装有操纵照相系统机械动作的部分机件，如底片转动器、快门等。镜头筒内有镜头、滤光片等。

摄影时，将相机对准地物，打开快门，使地物的反射光通过镜头聚焦在感光胶片上成像。成像光路如图 2-4 所示，底片位于镜头的焦平面上。由于航高 H 远大于焦距 f，

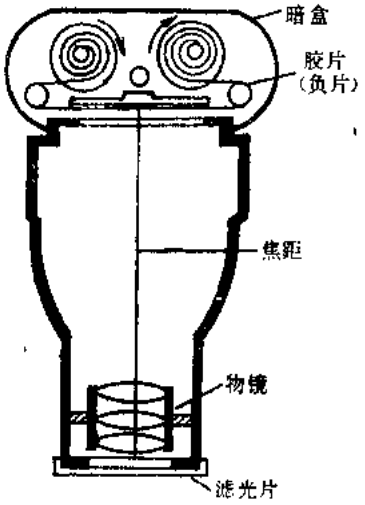


图 2-3 照相机的结构

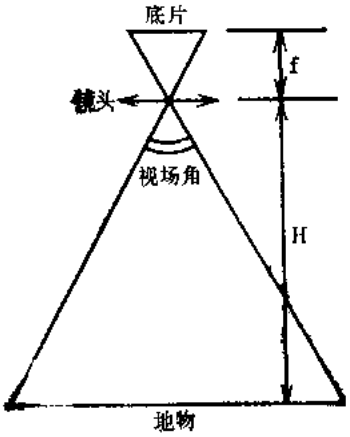


图 2-4 相机的成像光路图

来自地物的光线可视为平行光，能在焦平面（底片）上会聚成清晰的影像，那么像片的比例尺 s 为：

$$s = f/H$$

根据 $m = n/s$，可得

$$m = nH/f$$

其中 m 是相机的地面分辨率，n 是相机的分辨率。此式说明，当相机的分辨率一定时，

其焦距越大，地面分辨本领越高，也就是说可以通过增大焦距获得较高的地面分辨率。如美国侦察卫星“大鸟”上的照相机，镜头焦距长达 2.44 米，在距地面 170 公里的高空摄影，可分辨地面 30 厘米的地物。

2．感光胶片的成像原理

感光胶片曝光成像的原理很复杂，这里只略作说明。典型感光胶片（负片）的结构如图 2-5 所示，主要由乳剂层和片基组成。乳剂层的主要成分是卤化银和明胶，其中以溴化银使用得最多。片基能使胶片保持一定的硬度和弹性，明胶能使溴化银颗粒均匀分布其中。溴化银见光后能迅速分解成银原子和单质溴，且析出银原子的多少与受光量成一定的比例关系，溴被明胶所吸附，而银原子便构成了目标物的潜影。

胶片上的潜影是不可见的，需要经过显影定影处理才能成为稳定可见的影像。显影就是利用显影液，使已曝光的溴化银大量还原成银原子，构成可见的影像。定影就是利用定影液将未曝光的溴化银清除，防止其再感光影响影像的质量。这样处理过的底片，黑暗部分还原银原子多，说明该处接受的曝光量大，对应物体光亮的部分；反之，底片上淡灰或透明的地方对应物体黑暗的部分，影像的黑白与实物亮度呈反对应关系，因此摄影底片也叫负片或阴片。

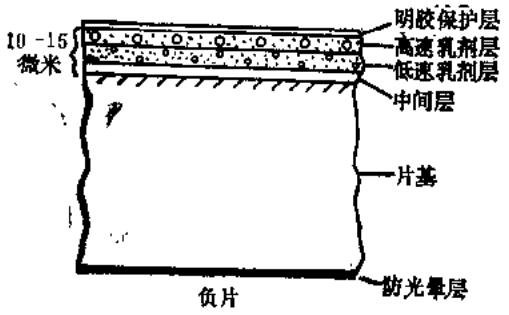


图 2-5　感光胶片的结构

最后负片还要经过印像才成为我们使用的遥感像片。印像时，将一张印像纸的感光层对着负片的药面，照明负片，使光线通过负片作用在印像纸上，这时负片上浓黑的地方透过的光量少，透明的地方通过的光量多。印像纸经过显影定影得到稳定可见的影像，它与底片的黑白程度正好相反，而与实物亮度一致，因此也叫做正片或阳片。

3．常用的遥感相机

普通相机在胶片带上分幅成像，也叫画幅式相机或像幅式相机。普透相机有许多缺陷，如只能在可见光某个波段成像，镜头孔径和焦距限制了视场角等，而新发层起来的条幅式相机、全景相机和多波段相机便能弥补这些不足。

(1) 条幅式相机

这种相机的缝隙式快门与飞行方向垂直，且不关闭，随着飞行器的前进，胶片同步拉进，这样在胶片上能得到不分幅的连续影像带。由于成像时景物移动速度与像的移动速度一致，因此像片上没有像移误差。胶片上的影像不分幅，也没有重叠，减少了胶片的浪费，这是条幅式相机的优点。

(2) 全景相机

全景相机通过广角镜头或镜头的旋转，在与飞行方向垂直的方向上进行广角摄影，即将飞行器两侧地平线之间广大面积同时摄入镜头。其特点是胶片被压成圆弧状而不是平面状，图像两端有较大的畸变。这种相机的优点在子一次飞行就能提供大面积的地面影像。

(3) 多波段相机

多波段相机能利用各种滤光片，在同一曝光时间内，在不同感光片上取得同一地区不同波段的影像。多波段相机可分为三类。第一类是多相机型，由几台带有不同窄波段滤光片的照相机同时对准地景拍摄，其优点是相机的架数、滤光片和胶片类型可按目的自由选择，缺点是各波段像片不容易实现几何配准。第二类是多镜头型，由一架照相机把几个镜头和滤光片配合起来在一张大胶片上拍摄各波段的像片，其优点是在同一张胶片上各波段像片可以同时进行显影处理，便于保存，缺点与第一类相似。第三类是光束分离型，它只有一个机身和一个镜头，入射光聚焦后通过相机内的分光器分解成蓝、绿、红、红外四个波段，分别记录在相匹配的四张胶片上，这类相机的同步和配准精度高，只是分光时损失了一部分能量，光强有所减弱。

三、电视摄像机

电视摄像机是以电子束扫描方式获得图像信号（亦称为视频信号）的扫描仪。电视摄像管的种类很多，基本上可分为光电导摄像管与超正析像管两大类。这两类摄像管的主要区别在于使用的探测元件不同：前者使用光电导器件，后者使用光电子发射器件，因而在结构和探测方法上有一定的差异。其它许多类型的摄像管都由它们派生，不作一一介绍。

1. 光电导摄像管

光电导摄像管尺寸小、结构简单、分辨率高，是应用较广的摄像管之一。它由光电导阴极、电子枪及聚焦电极等几部分构成，且光电导阴极与电子枪的阴极连接在同一电路之中（图 2-6）。电子枪是发射电子流的仪器，聚焦电极控制电子束对靶面扫描，光电导阴极是在金属片上喷涂光电导材料制成的敏感元件。

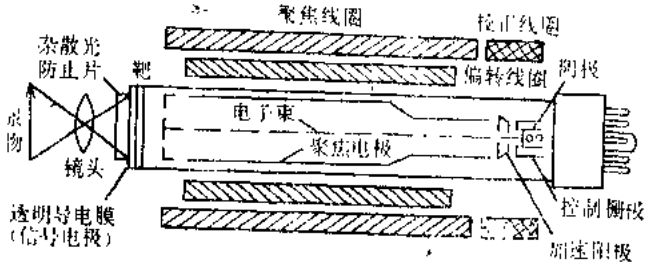


图 2-6　光电导摄像管的结构

使用时，地物的反射光通过光学系统在光电导阴极（靶面）上成像，光线的强弱会使光电导涂层的导电率变大或变小。电子束对像面扫描时，光电导阴极与电子枪阴极连成一闭合回路，光电导阴极上导电率的不同，将使电路中的电流值产生变化，一般将在电路中的已知电阻上取得的一系列随电流变化的电压信号作为图像的视频信号。视频信号可直接记录在磁带上，也可以通过显像管回放成图像。

2. 超正析像管

超正析像管是一种灵敏度较高的摄像管。它由三部分组成，前端是电子成像与移像部分，中部是电子束聚焦扫描部分，尾部是电子枪与电子倍增器部分（图 2-7）。

超正析像管的光电子发射阴极，在光的照射下能激发出电子，光电子数目与光强成正比，因此称它为电子像。电子被加速后打在靶极上，又激发出二次电子，电子被金属栅网捕获，靶极失去电子后电位升高，电位高低与失去的光电子数成正比，于是靶极上形成了一幅电位分布图。当电子束对靶面扫描时，能中和靶上的正电荷，剩余电子返回，这样剩余电子的多少就反映了图像信息。返回电子束经过电子倍增器可以被放大几千倍，

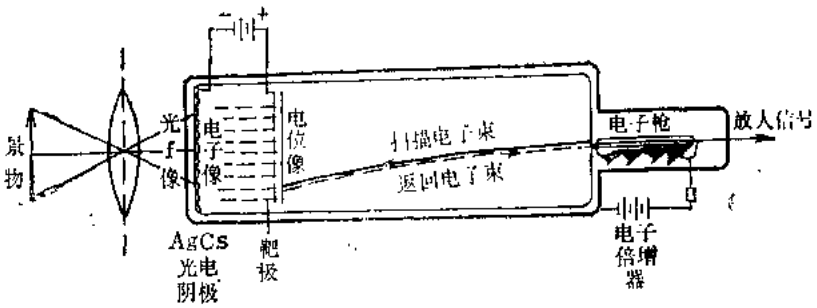


图 2-7　超正析像管的结构

因此超正析像管具有很高的灵敏度。

在陆地卫星 Landsat 1，2，3 号上装有反束光导摄像管(Return Beam Vidicon，简称 RBV)。RBV 的结构界于光电导摄像管与超正析像管之间，它的成像方式和扫描方式与光电导摄像管一样，但不从光电导阴极上提取电信号，而是与超正析像管一样把放大的反束电子流作为图像信号。由于 RBV 采用光电导靶，因而分辨率高；加之也采用了电子倍增器，灵敏度也较高，所以说 RBV 是一种高性能的电视摄像机。

四、光学机械扫描仪

光学机械扫描仪（简称光机扫描仪）利用扫描镜的摆动获得垂直于飞行方向的一维逐点扫描图像，而飞行器本身的向前运动提供了另一维图像，这就得到了一条具有一定宽度的连续的条带式地面影像。光机扫描仪的工作波段可从紫外一直延伸到远红外，而且可以把波段分得很多、很窄，因此获得的信息量较大。

这里以机载光机扫描仪为例讲述光机扫描成像原理。该系统由光机扫描部分、探测器和图像记录系统三个基本部分组成（图 2-8）。扫描部分常以平面镜、棱镜等反射镜的转动对物面（也可以对像面）扫描，它安置在一个转轴与飞行方向平行的马达上，能垂直于飞行方向连续扫描地面。来自地物的辐射从扫描镜聚集到探测器上，探测器将光信号转变成电信号。电信号放大后可以直接记录在磁带上，也可以通过电光转换记录在胶片上（图版 VIII-1）。图中所示的就是用电信号调节一个小光源的强度，再用一个与扫描镜同步旋转的反射镜将这个经调制的光源图像扫描到记录胶片上[3]。

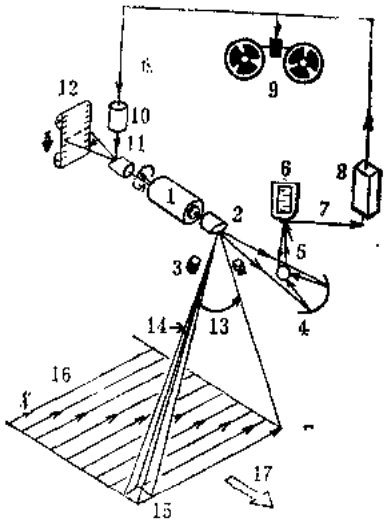


图 2-8　机载光机扫描仪成像原理

1—电动机；2—扫描器；3—受控温度辐射源（用于标定图像）；4—聚焦镜；5—探测器；6—液氮冷却装置；7—信号；8—放大器；9—磁带记录；10—受调制光源；11—记录反射镜；12—胶片记录；13—视场角；14—瞬时视场角；15—地面分辨单元；16—地面扫描图样；17—飞行方向

最早出现的光机扫描仪是红外光机扫描仪。其工作波段集中在两个红外窗口：3～5 微米和 8～14 微米，使用的探测器有热电敏感元件，也

有光电敏感元件。这种扫描仪最终所得的影像以黑白灰阶反映地物的亮度温度，因此它在白天和黑夜均能工作。为了获得较高的温度分辨率常要牺牲地面分辨率，一般红外扫描仪温度分辨率取 0.1～0.5K，地面分辨率取 1～5 毫弧度。红外扫描仪有单波段的，也有多波段的，近年来发展的红外细分光谱仪达 20 多个波段，它们在岩性分析、地热异常监测、水文调查、寻找成矿靶区等方面有广泛的应用。还有一些红外扫描仪使用多个探测器组成的多元线阵，同时接收扫描输入的辐射能，大大提高了扫描仪的分辨率。

多光谱扫描仪（或称多波段扫描仪）是在红外光机扫描仪的基础上发展起来的新型传感器。与红外光机扫描仪相比，它一般只使用光电敏感元件作探测器，灵敏度较高；其工作波段扩展到可见光波段(0.38～14 微米)。Landsat 1～5 号上均使用了多光谱扫描仪（MSS），大部分 MSS 有四个通道，分别是 MSS4(0.5～0.6 微米)，MSS5 (0.6～0.7 微米)，MSS6 (0.7～0.8 微来)，MSS7 (0.8～0.11 微米)。Landsat 4，5 上使用的专题制图仪 (Thematic Mapper，简称 TM) 是经过改进的多光谱扫描仪，其波段划分更为精细和适宜，分别是 TM1 (0.45～0.52 微米)，TM2 (0.52～0.60 微米)，TM3 (0.63～0.69 微米)，TM4 (0.76～0.90 微米)，TM5 (1.55～1.75 微米)，TM6(10.4～12.5微米)，TM7 (2.08～2.35 微米)。TM 和 MSS 的技术性能见表 2-2。

表 2-2 TM 和 MSS 性能比较

性能		TM			MSS		
各谱段的辐射分辨率和几何分辨率		谱段(微米)	辐射分辨率(NEP)	几何分辨率(米)	谱段(微米)	辐射分辨率(NEP)	几何分辨率(米)
		(1)0.45～0.52	0.8	30	0.5～0.6	0.57	80
		(2)0.52～0.60	0.5	30			
		(3)0.63～0.69	0.5	30	0.6～0.7	0.57	80
		(4)0.76～0.90	0.5	30			
		(5)1.55～1.75	1.0	30	0.7～0.8	0.65	80
		(6)10.40～12.50	0.5(1)	120			
		(7)2.08～2.35	2.4	30	0.8～1.1	0.70	80
扫描瞬时视场角(毫弧度)		TM 1,2,3,4,5,7 0.042		TM6 0.17	1,2,3,号星 0.086		4,5号星 0.11
地面分辨率畸变(2)(米)	D_o	30		120	79		80
	D_s	30.5		122	79.8		81.4
	D_t	30.3		121	79.4		80.7
检出像元数		100			24		
量化级		$2^7=256$			MSS7 $2^5=64$		MSS4,5,6 $2^6=128$
每波段像元数		TM1～5,7 $6166^2=38023666$; TM6 $1542^2=237764$			$3240\times2340=30326400$		
一景总信息量(兆字节)		230			32		

注：(1) 为等效温差噪音信号百分数。NEP为等效反射噪音信号百分数。

(2) D_o 为扫描中心像元对应的地面尺度；D_s 为扫描端点像元对应的地面尺度；D_t 为卫星飞行方向扫描带之间的位置对应的地面尺度。

五、电荷耦合器件

电荷耦合器件 (Charged-coupled Device，简称 CCD) 实质上是利用光伏器件的感光特性，仿照多元列阵探测器的工作方式来探测电磁波信息的。扫描仪通过扫描镜的摆动获得扫描方向上的影像，如果把多个探测器沿扫描方向排列，则无需扫描，传感器随飞行器前进就能获得条幅影像；如果把探测器排成一个方阵，那么就跟摄影成像一样能得到一幅幅影像。这时方阵相当于胶片，每个探测器相当于胶片上的卤化银颗粒。方阵元数越多，分辨率越高，然而要把成千上万个探测器组装成多元列阵是极其困难的，只有依靠现代集成电路技术才能在小块硅片上实现这一设想。

图 2-9 显示了一维电荷藕合器件的工作原理。在一块 P 型硅片上涂一层二氧化硅绝缘层，再盖上一层相互分离的金属片作为电极，给电极分组加上不同的电压，例如给 1，4，7，…号电极加 10 伏电压；2，5，8，…号电极加 15 伏电压；3，6，9，…号电极加 10 伏电压。当光线入射到硅片后，由于光电效应产生电子空穴对，电子向电压高的电极（即加 15 伏电压的电极）下集聚形成电荷包，电荷包内电子数的多少反映了附近入射光量的大小。可以类比胶片曝光时的情形：高电压处相当于胶片的感光中心，曝光后在感光中心形成的潜影便是电荷包。

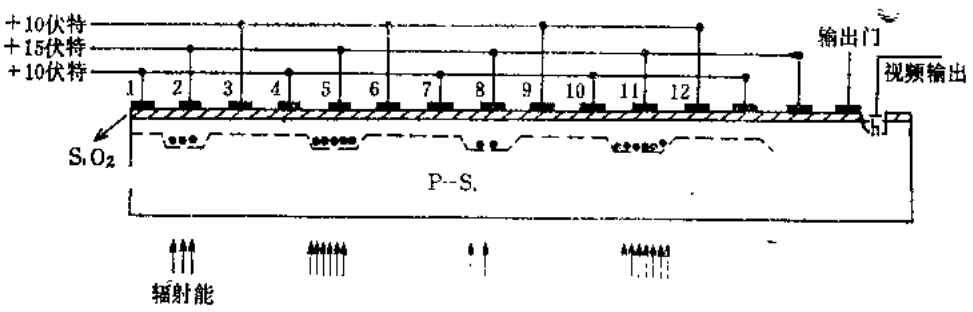


图 2-9　一维电荷耦合器件成像原理

升高第三组电极的电压至 15 伏，降低第二组电极的电压至 10 伏，则电荷包依次右移一个电极的距离；再升高第一组的电压至 15 伏，降低第三组的电压至 10 伏，电荷包再右移一个电极的距离等等，顺次改变各组的电压，电荷包就不断右移，从输出门顺序进入电路，这时电路中的信号就是图像的视频信号。可以把电荷耦合器件的工作方式概括为两句话：用电荷量表示信号大小，以耦合迁移方式传输信号。这就是该传感器名称的由来。

如果在上述硅片上使电极呈方阵排列，就能获得与摄影照像相类似的二维图像。

CCD 具有体积小、重量轻、能耗低、寿命长、简单可靠、动态范围宽等优点，是一种理想的全固体化成像器件，也是现代遥感技术的发展方向之一。目前使用的电荷耦合器件主要有 SPOT 卫星上的高分辨率可见光扫描仪(High Resolution Visible Sensor，简称 HRV)，其地面分辨率多波段图像为 20 米，黑白图像可达 10 米，优于 MSS 和 TM；灵敏度也高，在良好光照条件下可探测出低于 0.5% 的地面反射变化。SPOT 的技术指标见表 2-3。

表 2-3 SPOT 主要特性

轨　道	高度	832 公里
	倾斜角	98.7°
	降交点时间	10:30(上午)
	轨道周期	26 天
高分辨率可见光扫描仪(HRV)	两台相同的仪器 瞄准能力：指向轨道平面东或西±27° 地面宽度：60 公里(垂直入射) 象元大小： 全色波段：10 米 多光谱波段：20 米 光谱通道： 全色：0.51～0.73 微米 多光谱：0.50～0.59 微米 0.61～0.68 微米 0.79～0.89 微米	
图像传输	两个星上记录仪，每个容量为 23 分钟以 8 千兆赫(50 千毕特/秒)的频率直播	
重　量	1750 公斤	
大　小	2×2×23.5 米加上太阳能电池板(9 米)	

六、合成孔径侧视雷达

合成孔径侧视雷达是一种全息成像的主动式微波传感器。下面就其工作原理和特点作一简单介绍。

1. 关于微波传感器

微波（波长 0.1～100 厘 米）为无线电波中波长最短的部分，它有许多独特的性质，如任何温度高于绝对零度的物体都能发射微波，但在常温下发射的能量很微弱，相对来说低温状态下物体的微波特征较明显；微波具有较好的大气透明度；能穿透云、雨及冰雪、干沙等地物；方向性好，近于直线传播等。利用微波的这些性质制成了许多类型的传感器，大体分为被动式和主动式两大类。

被动式微波传感器有微波辐射计，用来探测地物的微波辐射特性。主动式微波传感器主要指各种形式的雷达，它通过人工发射微波，然后接收目标的反射回波，并根据微波传播接收的时差及回波的振幅、位相和极化方式探测目标的距离及目标物的物理特性。常用的雷达系统有雷达散射计、雷 达高度计和微波成像雷达。

微波成像雷达，顾名思义，能把目标的反射回波按其位置分布记录下来，构成雷达影像，用于目视解译。微波成像雷达大多向飞行器一侧发射雷达波束，因此又称为侧视雷达。侧视雷达按天线结构的不同分为真实孔径侧视雷达与合成孔径侧视雷达两类。

2. 合成孔径侧视雷达的工作原理

合成孔径侧视雷达（SAR）由天线、收发转换开关、发射机、信号处理机、显示记录装置等几部分组成（图 2-10）。发射机能以一定的时间间隔产生微波脉冲，通过侧视天线向飞行器一侧发射扇状波束，地面反射回波由同一天线接收。

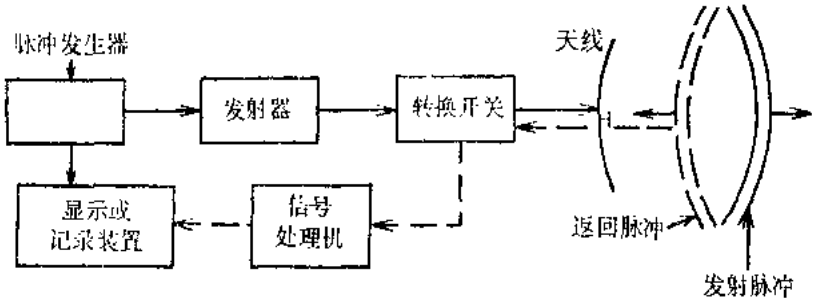


图 2-10 合成孔径侧视雷达工作原理框图

由于飞行器与目标之间的相对运动，不同距离上的目标所反射的回波将产生不同的

多普勒频移；而处在相同距离上的目标，虽然多普勒频移相同，但进入波束探测区的时间不同，即位相不同。因此对回波进行多普勒和位相分析，就可以区别不同的目标[4]。

合成孔径与真实孔径雷达的天线结构是不一样的。对真实孔径雷达来说，要发射强而窄的波束，提高分辨率，就要求用长天线，而合成孔径雷达用一根短天线、随着飞行器的等速直线运动代替一个长天线的作用。二者最重要的区别在于：前者只能一次发射和接收来自目标的一个反射脉冲；而后者可以接收和发射同一个目标的大量反射脉冲。每个目标的反射脉冲组及发射机产生的脉冲作为参考波一同进入信号处理系统，经过相检等一系列处理，记录在胶片上（也可以在显示器上显示）。这时胶片上得到的是波带片，既有回波的振幅信息，又有位相信息，因此也是一种全息片。全息片经过相干光处理才能得到用于目视解译的雷达图像。

人工发射的雷达波束具有偏振性。在无线电技术中偏振叫做极化，如果雷达波的电场方向垂直于入射面，就叫做水平极化（以 H 表示）；如果电场方向平行于入射面，就叫做垂直极化（以 V 表示）。无论雷达发射水平或者垂直极化信号，回波信号总有两种极化方式，而天线只能接收一个方向的极化信号，因此发射和接收信号的极化方式有四种组合：HH，VV，HV，VH，其中前两种叫做相同极化，后两种叫做交叉极化。利用不同地物对不同极化微波的反射特性，可选择适当的极化方式来识别地物。

3．合成孔径侧视雷达的优点

SAR 是主动型传感器，不受白天黑夜和天气状况的限制，具有穿透云雨的性质，所以说 SAR 是一种能全天时、全天候工作的传感器。该仪器的分辨率较高，像片清晰度与一般可见光像片相接近，还能识别一定深度的隐伏目标。雷达回波强弱与地表粗糙度密切相关，图像反映地形起伏很清楚，有较强的立体感。总之，SAR 具有许多独特的优点，是一种应用前景广阔的传感器。

第二节　遥感信息的载体

传感器获得的遥感信息最终记录在胶片或磁带上，因而胶片和磁带又称为遥感信息的载体。胶片上记录的图像直观逼真，便于进行目视解译；磁带上记录的数据精确稳定，便于存储和计算机处理。图像和数据可通过图数转换或数图转换实现相互转换，但最终做据要转换成图像才能进行目视解译。因此，了解感光材料的性能，是获得高质量像片的基础；了解胶片上图像的结构和磁带上做据的结构及二者的相互关系，才能实现光学数据处理，最终得到有利于目视解译的遥感影像。

一、感光材料的性能

感光材料指各种软片、胶片和感光像纸。感光材料的性能是指它的特性曲线、解像力、清晰度和感色性等。

1．感光片的特性曲线

感光片的特性曲线是用来描述感光片的受光量与其变黑程度的关系的曲线。感光片的受光量用曝光量 M 表示，它是感光片接受的照度 E（勒克斯）和曝光时间 t（秒）的乘积，即：

$M = Et$(勒克斯·秒)。

像片变黑程度用光学密度 D 来表示，光学密度是阻光率 O（即透射率的倒数）的对数，即：

$$D = \lg O$$

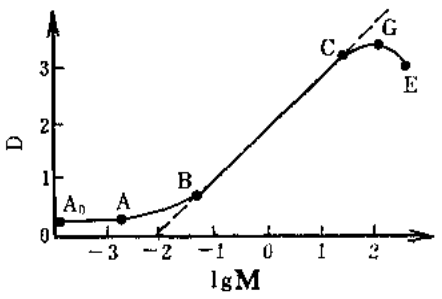


图 2-11　感光片的特性曲线

借助感光仪使胶片获得一系列已知曝光量，用光学密度计测出不同曝光量下胶片的光学密度值；然后以 $\lg M$ 为横坐标、以 D 为纵坐标建立直角坐标系，将所测值标在坐标系内，并连成光滑曲线，这条曲线就是感光片的特性曲线（图 2-11）。

分析特性曲线的解析几何特性（如极值、拐点、斜率等）可以获得感光片的许多性质。

(1) 特性曲线各部分的光化学含义

根据特性曲线上光学密度 D 随曝光量对数 $\lg M$ 变化的快慢程度和性质，可将它分为五个部分。

A_0A 为灰雾部分　D 不随 $\lg M$ 变化而保持稳定值 D_0。这是因为曝光量太小，不足以使感光片发生化学反应，该光学密度 D_0 是感光片在生产、储运和工作过程所产生的，因此 D_0 又称为灰雾度。较好的感光片，D_0 在 0.1 以下，D_0 若超过 0.3，就不便于使用了。

AB 为曝光不足部分　D 随 $\lg M$ 的增加而增长缓慢，说明影像的黑度差别不能正确显示景物的明暗差异。

BC 为曝光正常部分　D 随 $\lg M$ 增加而成线性增加，说明影像黑度与景物的明暗相适应。CB 延长线与横坐标 $\lg M$ 的夹角为 θ。

CG 为曝光过度部分　D 随 $\lg M$ 的增加而增长缓慢，因而形成明暗差别小、黑度很大的影像。显然这部分也不能正确显示景物的明暗层次。

GE 为影像反转部分　D 随 $\lg M$ 的增加而减小，这种现象称为影像反转。G 点是感光片所能产生的最大光学密度的极值点。

(2) 反差、宽容度与反差系数

BC 曝光正常部分是摄影、冲印像片时经常要使用的。直线段 BC 的斜率、定义域、值域在摄影学上有深刻的含义。设 B、C 两点的坐标分别为 $(\lg M_B, D_{\min})$、$(\lg M_C, D_{\max})$，那么 $\lg M_B$ 和 $\lg M_C$ 对应于曝光量对数的最小值和最大值，$(\lg M_C - \lg M_B)$ 定义为感光片的宽容度。$D_{\min}$，$D_{\max}$ 对应于光学密度的最小值和最大值，$(D_{\max} - D_{\min})$ 定义为感光片的反差。

BC 的斜率 Σ 可表示为

$$\Sigma = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\lg M_C - \lg M_B} = \operatorname{tg}\theta$$

根据 $M = Et$，且同一感光片上各点的曝光时间 t 是一致的，上式可简化为：

$$\Sigma = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\lg E_C t - \lg E_B t} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\lg E_C - \lg E_B}$$

$\lg E_B$，$\lg E_C$ 对应景物亮度的极小值与极大值，$(\lg E_C - \lg E_B)$ 称为景物反差，故 BC 的斜

率 Σ 就是影像反差与景物反差的比值，在物理意义上称为感光片的反差系数。

当 $\theta>45°$ 时，$\Sigma>1$，表明 D 的递增大于 $\lg M$ 的递增，景物反差将被夸大，称为硬调感光材料；反之当 $\theta<45°$ 时，$\Sigma<1$，景物反差将被缩小，称软调感光材料。在空中遥感地物时，一般景物亮度范围较小，应选用硬调感光材料来夸大反差。

（3）感光度

感光度是表示感光片对光感受快慢程度的指标。用达到某一规定密度所需要的曝光量 M_0 来定义感光度 S，即：

$$S=k/M_0$$

其中 k 为常数。这一规定密度通常选择为 $(D_0+0.1)$ 或 $(D_0+\Sigma)$。

感光度主要用来确定曝光时间。S 越大，达到规定密度所需的曝光量越小，则曝光时间越短。

2．解像力

解像力又叫分辨本能，指感光片分辨景物细部的能力。它以单位距离内能分辨的线宽或间隔相等的平行细线的条数来表示，单位为线/毫米或线对/毫米（线对指线宽与间隔）。

影响胶片解像力的主要因素是卤化银颗粒的大小。卤化银晶粒平均直径为 1～5 微米，所以一般乳剂的解像力小于 200 线/毫米。其次，景物反差、曝光时间、显影条件等也会影响解像力。

3．清晰度

曝光时入射光在胶片内发生光的折射、反射、衍射和散射等作用，形成杂散光。杂散光会使影像变得模糊，特别是像片边缘区，晕散程度更严重，称为渐晕效应。清晰度与解像力是两个不同的概念，但是，当清晰度太低、杂散光严重到使两条线无法区分时，也会影响解像力。

4．感色性与胶片的分类

感光材料对不同颜色（波段）的光波的敏感程度叫感色性。单纯的卤化银只对蓝紫光敏感，只有加入各种类型的增感剂，才能感受其它色光。感光片按其对光谱的感受范围不同，可分为如下几类。

色盲片　色盲就是对颜色无法感受。色盲片中没有加增感剂，它体现了卤化银乳剂本身的感光能力，感色范围在 0.5 微米以下。只宜于对非彩色的印刷图进行复照。

正色片　它是在色盲片的基础上加入正色增感剂制成的，能感受除红光之外的可见光。正色片适用于红色的彩色印刷图复照和景物摄影。

全色片　能感受人眼可见的一切可见光。适用于彩色图复照和室外景物摄影。

红外片　在色盲片中加入红外增感剂，能感受人眼看不见的红外光。红外光穿透力强，在大气尘雾弥漫的情况下，用红外片摄影可得到清晰的影像。

彩色片　由几种不同的成色乳剂涂布而成，分彩色片和彩色红外片。

二、彩色与假彩色成像原理

由于彩色像片有色调和色阶的差异，它的信息量比黑白像片要大得多。我们在解译时经常要使用到彩色像片，彩色像片有的是通过摄影直接在彩色胶片上成像得到的，大部

分是把多波段遥感时得到的不同波段像片赋以不同的颜色合成的。二者都是根据三原色视觉原理，利用色光的分解和合成得到物体的彩色影像的[2]。

采用加色法合成方法，是把三张分色底片印成三张透明正片，分别装入三部放映机中，并在每部放映机镜头前放上一个在拍摄该底片时所使用的滤光片。调整放映银幕上的三幅不同颜色的图像使之重合在一起，这时得到的影像就是原物体的彩色影像。减色法合成时，把分色底片制作成拍摄该底片时所用滤光片颜色的补色正片，即用蓝滤光片拍摄的底片制成正片后染成黄色，用绿滤光片的染成品红色，用红滤光片的染成青色，再将三张补色正片重合，就得一张与原物颜色相同的彩色片(图 2-12)。

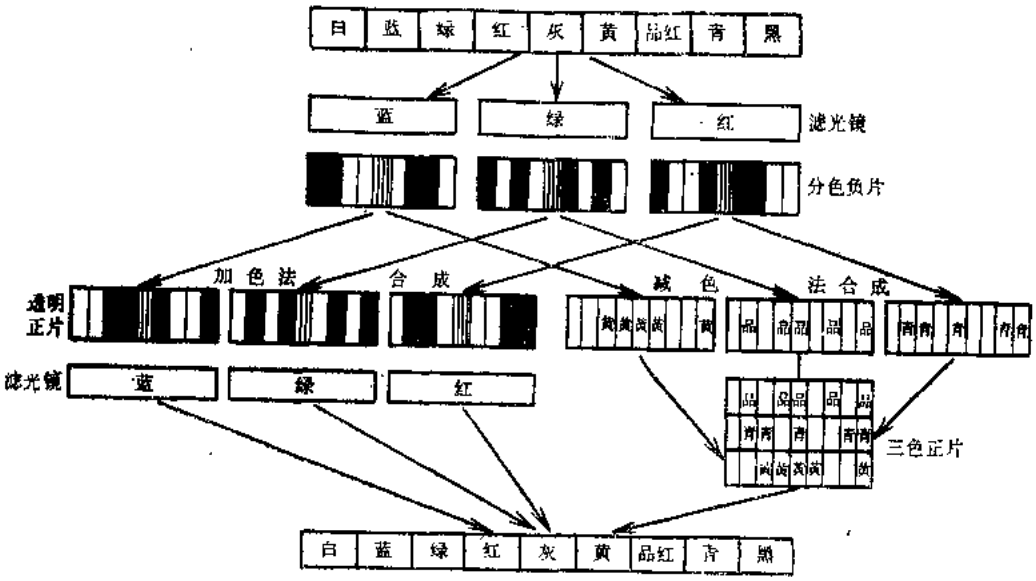


图 2-12　彩色的分解与合成

彩色胶片是通过减色法合成显示物体色彩的，有两种类型：一种是真彩色胶片，另一种是彩色红外胶片，其结构如图 2-13 所示。真彩色胶片涂有三层不同感光性能的补色乳剂层，分别记录三种原色光，上层含黄染料感蓝光，中层含品红染料感绿光，下层含青染料感红光。彩色胶片感光后经冲洗形成各种补色影像，与原物体颜色相反，是负片，负片印像时再经过补色转化就形成了正片彩色。

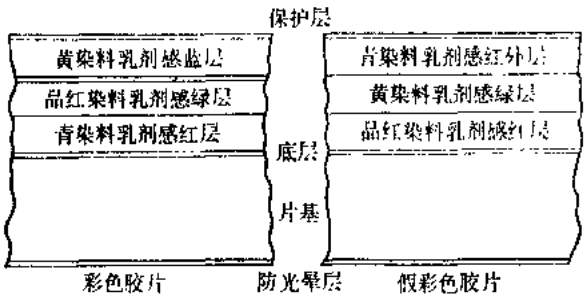


图 2-13　彩色和彩色红外胶片的结构

彩色红外摄影的原理也与此类似，只是摄影时需滤掉蓝光，让绿、红、红外光通过并分别使彩色红外片涂黄染料、品红染料、青染料的感光层感光。经过暗室处理后得到的正片色彩的意义是：蓝色代表绿波段的反射，绿色代表红波段的反射，红色代表红外波段的反射，也就是说彩色红外片上的色相顺次向短波方向发生了移动，与原物体色彩不一致，是一种假彩色影像。

图像光学处理中的彩色合成也是根据加色法或减色法原理实现的。

三、遥感图像与磁带

1. 遥感图像的种类

遥感图像以灰度值来记录地物反射或发射的电磁波的强弱，根据灰度值在像平面上分布性质的不同，可将其分为三类。

(1) 摄影图像

摄影胶片上的卤化银颗粒的大小与所记录的可见光、近红外波段的波长相当，因此在光学透镜成像时，物点与像点能一一对应记录在胶片上，胶片上光强的分布是一个连续的二维函数。显然利用胶片反转得到的像片也具有同样的性质。

(2) 扫描图像

指各种扫描仪所成的图像，即经过电光转换将光像、热像、微波像转换为光信号，并在胶片上扫描形成的图像。这种图像在扫描线方向的灰度是连续分布的，而扫描线的行与行之间是不连续的。

(3) 数字化图像

指从数字磁带中回放出来的图像，数字磁带的每一个数据对应回放图像的一个像元，因此像平面内的灰度分布是离散的。

2. 遥感磁带的种类

遥感磁带记录的是视频电压信号，它可以是传感器直接输出的视频信号，也可以将胶片上的光像模拟化或数字化后记录到磁带上。磁带有模拟磁带和数字磁带两种。

(1) 模拟磁带

模拟磁带的设计原理与录音磁带、录像磁带是一样的。录音磁带记录声频电压，录像磁带记录视频电压，模拟磁带记录的也是视频电压。回放时，模拟磁带可以复原为电压信号，电压信号经电光转换变成光信号，然后聚焦扫描成像。

模拟磁带用于记录探测系统输出的电压信号，每一条扫描线对应一条电压曲线，因此，记录在磁带上的也是模拟电压曲线。模拟磁带在遥感平台上记录的电压曲线，可以定期通过微波传送至地面接收站。这样电光转化及扫描成像系统可以从遥感平台上分离出来，放在地面进行工作，而磁带又可以在记录新信息的同时抹去旧信号。由此可见，模拟磁带可重复使用，记录并传递大量信息，是一种良好的暂时记录工具。

(2) 数字磁带

模拟电压信号经过一个模数转换器(A/D)，对信号进行分段采样和量化，得到的数据记录在磁带上即成为数字磁带。数字磁带与模拟磁带相比大大前进了一步，它可以输入计算机完成各种数字处理，加工处理后的数据经数模转换器（D/A）又能得到模拟电信号，模拟电信号经电光转化，聚焦扫描成像。

数字磁带可再分为：

高密度数字磁带 简称 HDDT(High Density Digital Tape)，它记录密度高，数据容量大，但不能直接输入计算机，必须经过磁带转换机将所记录的信息转换到计算机兼容磁带上才能进入计算机。陆地卫星上的 RBV，MSS 和 TM 所获得的遥感信息都记录在 HDDT 上，当卫星经过地面站时，能把 HDDT 的信息发送至地面接收站，由地面站的磁带转换机转换，向用户提供计算机兼容磁带。

计算机兼容磁带 简称 CCT (Computer Compatible Tape)，它的记录密度低，甚至一盘磁带还不能全部记录一张陆地卫星影像的数据，但是可以输入计算机进行处理。

3. 图像与数据转换

任一记录在照像胶片上的图像都可以转换为数字磁带上的数据，而数字磁带的数据也可转换为胶片上的图像；前者称为图数转换，后者称数图转换。

图数转换时，胶片上的图像经过光电转换变为模拟电信号，模拟电信号再经过模数转换（A/D），便可转换为数据形式记录在数字磁带上。实现图数转换的装置叫数字转换器，主要有磁鼓数字化系统、飞点扫描仪、摄像管和析像管，它们进行电光转换的原理与光机扫描仪、电视摄像机中的电光转换是一致的。这里只叙述模数转换的原理。

模数转换的内容有两个方面："采样"和"量化"。所谓"采样"就是把连续或不连续的空间分布函数，用一系列有限的空间位置上的点来代替。扫模产生的模拟电压信号在扫描方向上是连续的，在各条扫描线上是离散的，对连续的电压曲线每隔一定间隔取一个电压值，这就得到了由 y(第几条扫描线)和 x(扫描方向上第几个取值点)坐标所确定的图像单元的规则排列。

这样取得的一组电压数据，虽然在空间分布上是离散的，但其取值在一定范围内是连续变化的，因此，还需将它们转变为有限个有效数字的数，即"量化"。"量化"时，考虑到计算机以二进位制记录数据，因而，量化等级也以二进制来划分。通常将电压的取值区间划分为 $2^8=256$ 级，令最大值等于 256，最小值等于 1，用内插法(一般是线性内插)将各电压归入到 0, 1, 2, …, 255 的 256 个等级中去。实际上，由于电压值是影像灰度值的反映，这个等级也就反映了影像的灰阶。

经过"采样"和"量化"之后，一个有限的灰度空间分布函数，就变成了有限字长的数所组成的长度有限的序列，这个有限数列就可以送入计算机。这个过程就是模数转换，由专门的模数转换器来完成。

数模转换是模数转换的逆过程，从本质上看，是一个插值过程。由于模数转换时采样点密集，量化等级多，量化误差可以忽略，所以数图转换时只需将一列数依次按行扫描输出，经电光转换记录在胶片上就能得到图像。这种图像在扫描方向和扫描线排列方向上的灰度值分布都是离散的，这就是数字化图像。

下面以陆地卫星 MSS 图像为例讲述其记录格式。

MSS 图像记录在数字磁带上，进行数图转换后的单张图像如图 2-14 所示。MSS 扫描宽度为 185 公里，扫描线数为 2 340 根，地面分辨单元为 79×79 米^2。从图 2-15 中可以看到，MSS 以 57 米的间距对模拟信号取样，一条扫描线上产生了 3 240 个像元。按地面分辨率对取样间距的 1.4 的比率 (79 米/57 米 = 1.4) 取样是经过理论和实际验证的，它能充分显示模拟信号，更高的比值不会明显改善数据质量，更低的比值则将降低数据质量。

MSS 图像数据发送至地面后转换到 CCT 磁带上。每一盘磁带只包含四个波段各1/4幅的信息，1/4 幅即为东西方向宽 46 公里、南北方向长 185 公里的一个条带(图2-14)。单一波段的整幅图像分别包含在四盘磁带里，因此使用时应把这些磁带变换一下，使每盘磁带包含单个波段的整幅图像。

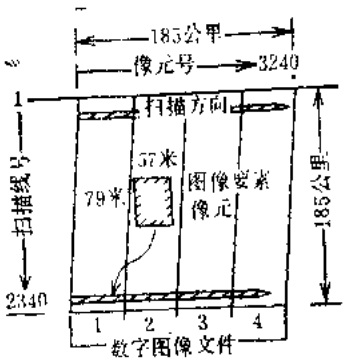


图 2-14　MSS图像的扫描线和像元参考系

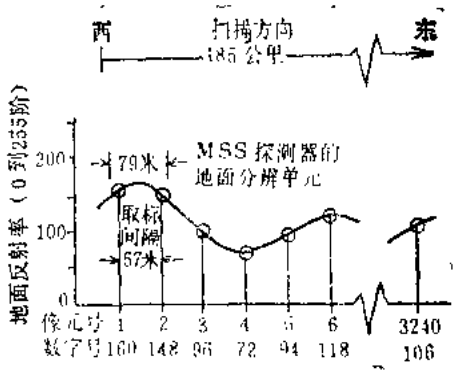


图 2-15　一条 MSS 扫描线的采样图

第三节　图像数据处理

为了获得更加清晰的高质量的图像、或者使图像的某些特征得到增强，需要对遥感图像和数据作进一步的加工处理。狭义的图像数据处理包括恢复和增强两个方面。恢复是指对传感器输出的信号进行几何和辐射校正，并将其转换成胶片、影像或计算机用磁带，以供用户分析研究。这种处理的专业性很强，往往作为传感器工作系统中一个必不可少的环节来完成，因此也叫做图像的预处理过程。增强是在牺牲一部分信息的前提下，使某些有价值的影像特征得到增强，为各种专业的目视解译服务。增强主要有彩色合成、密度分割、边缘增强、反差增强、专题抽取、空间和定向滤波、影像相减、比值处理等具体方法。广义的图像数据处理还包括图像识别与分类，它是指利用电子计算机模拟人的目视解译步骤来实现遥感图像的自动化解译。总的看来，增强处理与目视解译密切相关，因此本节将对此作重点讨论。

图像和数据处理的方法，从技术手段来看，不外乎光学处理和计算机处理两类，其中光学处理按其是否使用相干光处理技术又分为非相干光处理和相干光处理。计算机处理在图像的预处理和自动化识别与分类中占主导地位；而增强处理中的光学和计算机处理则各有千秋。表 2-4 列出了用不同技术手段进行增强处理的有效性[4]。

表 2-4　图像数据的增强处理方法

有效性 / 性质 / 手段	影像增强								特征识别和分类			备注
	彩色合成	密度分割	专题抽取	影像相减	反差扩展	空间过滤	边界增强	比值制图	统计分析	特征识别	特征分类	
光学处理技术	✓	✓	✓	✓	✓		✓					
相干光学处理技术			✓	✓		✓	✓			✓		
计算机处理技术		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

一、光学处理

光学处理主要用于各种胶片影像（当然也包括经过计算机处理的胶片影像）的增强处理，所需仪器设备简单，操作方便，因而应用较为广泛。它通过改变影像密度结构或对黑白像片赋以色彩来达到增强影像特征的目的。比较重要的光学处理方法有彩色合成、密度分割及摄影处理当中经常使用的边缘增强、反差增强和影像相减等。

1. 彩色合成

彩色合成是把几张（一般是三张）同景不同波段的同步成像的黑白多光谱透明正片，分别加上特定的红、绿、蓝等滤色镜，通过光学系统使它们在同一平面上严格重叠在一起而形成彩色影像。如果彩色影像上物体呈现的色调与它们的天然色彩一致，就称为真彩色像片；否则称为假彩色像片。从图 2-16 可以看出，MSS 的标准假彩色像片是将 MSS4，MSS5，MSS7三个波段的透明正片分别配以蓝、绿、红三色滤色片合成得到的（图版I）；而真彩色像片则是配以与分色片相同波段的滤色镜合成的。

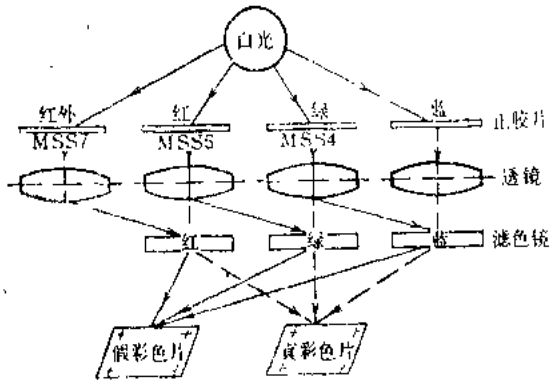


图 2-16　彩色合成原理图解

非标准假彩色影像的色别是任意的，可根据目视解译的要求进行选择。就真彩色影像的合成而言，如果有红、绿、蓝三个波段的分色片，那么根据图 2-16 所示的彩色合成方法可直接得到真彩色影像；但由于卫星传感器一般不记录蓝光波段的影像（受大气散射影响，效果不好），因此只能根据下面所讲的几种方法来得到近似的真彩色影像。（1）将绿光波段片（MSS4）通过蓝滤色镜、近红外波段片（MSS6）通过绿滤色镜、红光波段片（MSS5）通过红滤色镜合成可得到近似真彩色片。因为地物在蓝绿波段的反射特性相差不大，可将绿波段显示为蓝色调；植被在近红外波段具有高反射特性，用它显示植被的绿色比一般彩色片上的绿色植被还要鲜明；红光波段仍显示它本来的颜色，故合成后可得到近似真彩色的影像。（2）把绿光波段与红光波段的负片进行合成，记录成一张绿红光波段的黑色正片，根据彩色原理，它实际上相当于蓝光波段的负片。把该负片拷贝成正片，再与绿、红波段正片一起合成真彩色片。

进行彩色合成的方法很多，常用的有：

（1）彩色合成仪合成法

彩色合成仪是进行彩色合成的专门装置，结构简单，性能稳定。它由照明系统、投影仪及屏幕三部分组成。照明系统产生的白光通过不同波段的透明正片，分别经投影仪及滤色镜投影在屏幕上，经过调整使其严格重叠，就合成了一幅彩色图像（图版 II-3，4，5，6）。

（2）三次曝光法

利用印相机，将三张多波段负片，配以所示颜色的补色滤光片滤光，分三次在彩色像纸上曝光，就可以获得彩色影像。其原理就是使彩色像纸上的三层感色乳胶依次分别感光得到彩色影像。

（3）彩色套印法

把多波段的正片作为彩色印刷中的各分色底版，染所示色彩的补色后，进行彩色套印可得到彩色影像。这种套印方法可直接将影像印在普通纸上，省去了像纸，降低了成本。

（4）染印法

这是依据减色法叠加原理实现的彩色合成。取三种多光谱黑白负片，分别拷贝成浮雕模片，然后将浮雕模片分别放在黄、品、青染料溶液中染色，再把三张浮雕模片精确叠印在接触纸上，即可得到彩色影像。

(5) Diazo 透明胶片叠置法

Diazo 是一种偶氮胶片，有红、绿、蓝、黄、品、青 6 色。将多波段片的每一波段的负片，分别在不同颜色的 Diazo 片上曝光，得到相应颜色的透明正片，将两张或三张带色透明片准确叠置在一起，就可获得彩色影像。

2. 密度分割

遥感影像在胶片上表现为密度，在像片上表现为灰度，密度与灰度的意思是一致的。

在遥感影像上，某些目标特性，如水体中泥沙、污染物浓度、热异常现象、水体深度等，与影像密度有良好的对应关系，而影像密度值差异太小，或者密度值在空间上连续变化，没有明显界线，这时借助密度分割仪将不同密度水平区分开，并以不同的颜色来表示，就叫做密度分割。

密度分割仪是一个电子光学系统，其工作原理如图 2-17 所示。用一个光导摄像管对单张黑白正胶片（透射式）或像片（反射式）进行扫描，把影像中每个像点的密度转换成模拟电压信号，这种信号经过模数转换，可分为若干个电压不同的等级，每一等级用一种彩色表示，这样在彩色监视器的屏幕上就能得到一幅经过分割的等密度彩色影像（图版 III-2, 3）。根据影像密度反差的大小，可分为不同的等级，最多可达 64 级；分级的方法可以是线性的（即等密度分割），也可以是对数方式的（图版 VII-2, 4）。

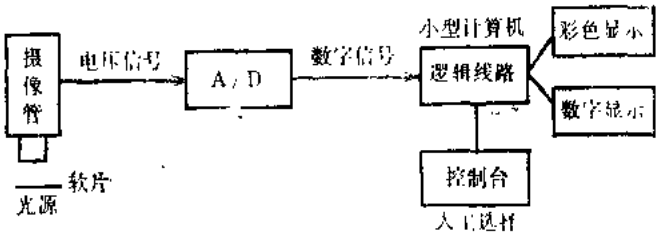


图 2-17　密度分割工作原理框图

3. 专题抽取

地物的光谱反射特性并不与它在胶片上的密度严格对应，相同的密度并不表示同一性质的目标，因此用密度分割的办法抽取目标是难以实现的，这个问题只有靠其它途径来解决。

专题抽取的具体做法是，把两张或三张不同光谱段影像的正片或负片，分别放在彩色合成装置的不同通道里，使之在投影屏幕上精确重叠。由于在处理时，一个光谱段的影像采用的是正片，另一个光谱段采用的是负片，同时不断调整它们的密度（加不同透过率的中性滤光片——减光板）和反差系数（选用不同反差系数的胶片作正负片），使一些目标的影像相互抵消，而把需要抽取的目标影像保留下来。这样，在屏幕上就出现只显示某类目标的专题图像[5]（图版 IV-7）。

4. 影像相减

两张同一地区不同时期的正负片具有相同的反差和反差系数，叠置后，那些没有发生变化或移动的目标影像密度互补，反差为零，在合成仪屏幕上显示为一片均匀的灰黑色调；如果某个目标发生变化或移动时，在屏幕上相应于该目标原始的位置以及发生了变化后的位置处会出现密度异常，而与均一的背景明显区分开来。这种处理方法常运用

于自然现象的变迁、物体的运动、新目标的探测等动态研究中。

5．边缘增强

边界在影像中表现为密度发生突变的地方，它是区分一个物体与另一个物体，一种现象和另一种现象的界线，是重要的解译标志。边缘增强就是使各种界线突现出来，为解译提供方便。值得注意的是，增强的边界没有选择性，对解译者来说并非都有价值。如解译地质目标时各种断裂线、地质体界线是有价值的边界，而被增强的道路线、云影边界则是干扰因素，应加以排除。

边缘增强的方法很简单，将同一张影像的正负片叠合在一起，然后使其中一张向某个方向错动一小段距离，将组合片曝光印像或投影在屏幕上，得到的影像在密度发生突变的地方将出现一条界线，而其余部分呈均一的色调。对于影像中具有不同方向性的线性特征而言，除了与错位方向平行的那一组外，其余方向的特征都会得到增强。

6．反差增强

实现反差增强的基本做法是反复拷贝。把需要增强的低反差影像，用高反差胶片或相纸拷贝，在高反差的显影液中显影制成拷贝片。反复拷贝几次，就可以得到反差明显增强的影像。应该指出，这种反差增大的方法，是以牺牲影像的色调层次和细部为代价的，用起来要适可而止。

上面提到的好几种方法中，都利用了具有不同反差特征的正负拷贝片组合叠置得到增强了的影像，这种方法在摄影处理当中称为相关掩模。

二、相干光处理

影像的灰度值是一个空间分布函数。空间分布函数可表示为频谱函数的积分形式，称为傅里叶变换；频谱函数的积分也可以表示为空间分布函数，称为傅里叶逆变换。透镜对光像具有傅里叶变换的功能。如图 2-18 所示，透明片置于透镜 L_1 的前焦平面上，激光器发出的激光照射透明片，在后焦平面（也称变换平面）上能形成傅里叶频谱像。频谱像由焦平面中心向外依次排列为零频、低频和高频，不同频率代表景物的不同粗细结构。如高频表示景物的精细结构，低频表示粗糙结构，零频对应图像中的连续背景。如果用滤波片改变频谱的成分（即滤波），就能去掉某些不需要的成分，保留有用的成分。滤波后的频谱再经过透镜进行傅里叶逆变换，就得到了经过处理的图像。这种图像处理的方法叫做相干光处理。

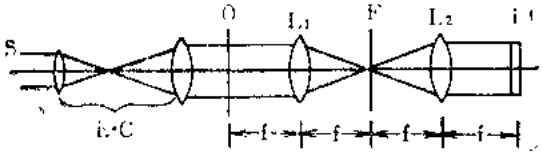


图 2-18　4f 相干光处理系统光路图

S—He-Ne 激光器；E.C—扩束准直系统；O—物平面；L_1，L_2—傅里叶透镜；F—变换平面（滤波器所在平面）；i—像平面

相干光处理的方法很多，比较重要的有以下几种。

1．方向性滤波

如果在频谱面上放一个狭缝，只允许某一条直线上的频谱通过，那么得到的影像只有与狭缝方向垂直的线性特征被保留下来，其它方向的线性特征则消失或减弱，这就达到了方向性增强的目的。

2．低频滤波

如果在频谱面上放置衰减片，使低频部分衰减，则得到的影像中，背景被去掉而细节得到增强。

3．空间频率编码

如果相干光使用白光，再在频谱面上设置各种颜色的滤光片，这样，原图像中的各种空间频率信息，通过滤光片显示为不同颜色，所获得的图像变成了彩色图像（图版 1-6）。

三、计算机处理

任何图像经过图数转换都能以数据形式输入计算机，计算机处理数据的速度快、容量大、精确性高、重复性好、无信息损失，是具有广阔应用前景的图像处理手段。

数字图像处理的内容极为广泛，主要包括：图像预处理，图像增强处理，图像识别分类。

1．图像增强处理

计算机增强处理的方法与光学处理的方法有许多原理是相似的，只是技术手段存在差异而已，这里只讲述存在差异的地方。

（1）密度分割

数字图像的数据所表示的灰度值是经过采样和量化的灰价，因此只需将灰阶顺序归纳成几个类别，并用彩色表示出来，就得到了彩色密度分割图像。可见计算机作密度分割优于光学处理方法。

（2）反差增强

陆地卫星探测器的灵敏度范围很宽，即能探测的亮度范围大，但并不是每张像片都具有探测器整个灵敏度范围内的亮度系列，为了利用胶片的全部亮度范围，常用扩大原始图像反差的方法来占满整个亮度范围。

最简单的方法是线性反差扩大。举例来说，某张陆地卫星像片的亮度范围从 49 到 106，它只利用了整个有效高度范围的 23％〔(106－49)/256＝23％〕。将亮度值为 49 的像元赋予 0（黑色），亮度值为 106 的像元赋予 255（白色），其余像元亮度值按线性内插法，分布在这些极限值之间。线性扩展公式为：

$$K(L,P)=\frac{k(L,P)-a}{b-a}(B-A)+A$$

式中，L——扫描线数；

P——像元数；

a——扩展前的最低亮度值；

b——扩展前的最高亮度值；

A——扩展的最低亮度值；

B——扩展的最高亮度值；

$k(L,P)$——要扩展的像元点的亮度值；

$K(L,P)$——扩展后的新亮度值。

（3）边缘增强

在那些像之间灰度值变化超过事先确定阈值的地方，用线条或一种灰度在图像上表示出来，就得到了边界线。

(4) 滤　波

这与相干光学处理的内容是一致的，只是它通过数字滤波器截止某种频率的波，让其它频率的波通过，最终使某类目标得到增强，其它目标被抑制。根据滤波器横穿图像的方向的不同，还可实现方向性滤波。

(5) 图像运算

指计算机对多波段影像数据进行加、减、乘、除运算，将所得数据结果转换成影像，为目视解译提供某些有价值的信息。例如 MSS7/MSS5 得到的影像用于植被识别更有效(图版 I-5)，MSS5/MSS4 得到的影像有利于探明铁矿床。差值影像还用于研究动态变化等。

(6) 数字镶嵌

常规的卫星镶嵌图像由单张卫星像片拼接而成，相邻图像之间的反差和色调上的差别会产生类似棋盘状的图案，而应用数字镶嵌技术可弥补这种不足。

利用数字镶嵌，可将卫星图像重叠部分的数字数据合并在一个文件中，然后将此文件绘印在单张胶片上。具体步骤是：第一，识别重叠区内的地面控制点，使相邻图像在几何上相互配准；第二，在数字文件中消除重叠区内的重复像元，然后对全部像元用一种反差扩大。这样得到的数字镶嵌图像，几何一致性好，色调均匀，反差适中。

2．图像识别与分类

图像识别与分类不是简单意义上的数字处理，是人眼目视解译的延续。与目视解译步骤相类似，图像识别分类先要分析地物的电磁波谱特征，然后根据类似特征将像元分类。基本的分类方法有监督分类和非监督分类两种。

监督分类法是选择有代表性的场地，确定其中地物的光谱特性并输入计算机，计算机检测要进行分类的图像上的每个像元，根据最大相似原理纳入地面标志之列。

非监督分类法不需要已知样本，它按各像元亮度的相似性合并和分割成集群，从而达到分类的目的。这时分类的每一类别代表哪种地物，计算机并不能确定，需经过地面实况调查或与已知类型的数据比较才能确定。

参　考　文　献

[1] 吕斯骅，遥感物理基础，商务印书馆，1981 年。

[2] 马蔼乃，遥感概论，科学出版社，1984 年。

[3] 胡崇金，遥感基础，四川科学技术出版社，1984 年。

[4] 龚家龙、阎守邕，环境遥感技术简介，科学出版社，1980 年。

[5] 阎守邕、张圣凯、孙建国，遥感图像相关掩模光学处理技术的试验研究，遥感文选，科学出版社，1981 年。

第三章　地物波谱特性

应用遥感技术对地面物体进行探测，是以各种物体对电磁波辐射的反射、吸收和发射为基础的。进行地物波谱辐射特性的研究，可以为多波段遥感最佳波段的选择和遥感图像的解译提供基本依据。

第一节　地 物 波 谱

地物的电磁波波谱是地物遥感信息的基本表现形式。物体在同一时间、空间条件下，其辐射、反射、吸收和透射电磁波的特性是波长的函数。当我们将这种函数关系，即物体或现象的电磁波特性用曲线的形式表现出来时，就形成了地物电磁波波谱，简称地物波谱。不同的物体由于其组成成分、内部结构和表面状态以及时间、空间环境的不同，它们辐射、反射、吸收和透射电磁波的性能也不同，即具有不同的波谱曲线形态。不同的波谱曲线形态就决定了物体的不同的色调、光泽和一些物理性质。因此我们根据由波谱曲线所决定的影像特征来识别物体的性质，並将此作为遥感的理论依据。也是遥感理论的基础研究的一部分。

地球上的大气圈、水圈、岩石土壤圈和生物圈的各种物体和现象及其时、空变化规律将通过相应的电磁波波谱特性及其时、空变化加以体现，它们被遥感传感器接收并记录后，就形成了相应于物体或现象特性及时、空变化规律的遥感信息。根据测得的地球表面的地物波谱，其最有代表性的地物波谱大致可分为水体、植被和岩石土壤三大类，本章的二～六节将予以论述。

目前对地物波谱的测定主要分三大段，即反射波谱、发射波谱和微波谱貌。从遥感技术应用的角度和研究深度而言，可见光和近红外区的反射波谱特性应用最广，研究较深。

一、反 射 波 谱

反射波谱是某物体的反射率（或反射辐射能）随波长变化的规律，用一曲线来表示，此曲线即称为该物体的反射波谱。物体的反射波谱限于紫外、可见光和近红外，尤其是后两个波段。一个物体的反射波谱的特征主要取决于该物体与入射辐射相互作用的波长选择，即对入射辐射的反射、吸收和透射的选择性，其中反射作用是主要的。物体对入射辐射的选择性作用受物体的组成成分、结构、表面状态以及物体所处环境的控制和影响。在漫反射的情况下，组成成分和结构是控制因素。

在可见光和近红外波段的波谱反射特性，可以在实验室内对采回来的样品进行测试，但它不可能逼真地模拟自然界各种千变万化的条件，因此，进行地物波谱反射特性的野外测量是十分重要的。地物反射率可用0.3～2.5微米的光谱辐射计来测定。测定的方

法是将地物与已知反射率的白板相比较，求出地物的反射率 ρ。

$$\rho = \frac{I}{I_0}\rho_0$$

式中：I——仪器测得的地物的反射辐射通量读数；

I_0——仪器测得的白板的反射辐射通量读数；

ρ_0——已知白板的反射率。

也可以在地面和空中测试地物的反射波谱，进行对比，了解地面和空中测量高度之间大气对辐射的影响。

二、发 射 波 谱

用曲线表示某物体的辐射发射率随波长变化的规律，此曲线称为该物体的发射波谱。目前对物体发射波谱的研究主要集中在 3～5 微米和 8～14 微米。

当今大多使用 8～14 微米的辐射计来测量地物亮度温度 T_B 和发射率 ε（表 3-1），即亮度温度是发射率与实际温度 T 的乘积：$T_B = \varepsilon T$。

表 3-1 常温下几种主要地物的发射率

目标	发射率	岩石—矿物	发射率	土壤-植被	发射率	水	发射率
人皮肤	0.98～0.99	石 墨	0.98	灌木	0.98	−10°C水	0.98
水 板	0.98	大理石、灰炭	0.95	麦地	0.93	霜	0.98
柏油路	0.93	石 英	0.89	稻田	0.89	水(蒸馏)	0.96
土 路	0.83	橄榄岩	0.88	黑土	0.87	冰	0.96
粗钢板	0.82	砂 岩	0.83	黄粘土	0.85	雪	0.85
炭	0.81	安山岩	0.77	草地	0.84		
铸 铁	0.21	玄武岩	0.69	腐殖土	0.64		
铁	0.05	红砂岩	0.59				
铝(光面)	0.04	花岗岩	0.44				
		石 油	0.27				

发射率对描述和分析物体表面或材料的电磁波辐射特性具有和反射率同等重要的作用。任何物质在温度 T 时都处于热状态，并发射与其温度相应的电磁波辐射。发射率是地物光谱辐射率与同样温度下黑体光谱辐射率之比。由于测定物体的发射率要比测定物体的温度特性更困难，加之地物之间的发射率差异又小，而物体之间较小温差就会造成发射辐射能量较大的差异（$W = \varepsilon\sigma T^4$），因此在应用时往往用测量温度或发射辐射能量——热来区分地物。不同物体因其热学性质及其所处环境的不同，往往存在一定的温差，热红外遥感比较容易检测到物体的这些信息。

三、微 波 谱 貌

在微波波段，地物的微波天然辐射随波长的变化，以及在人工发射的情况下来自物体的微波后向反射随波长的变化，称为微波谱貌。由于微波波段发射辐射的能量太弱，所以在对地表物体的遥感中应用很少，只在大气研究中有一定应用[1]。

微波辐射计探测到的是特定波长（例如 X 波段波长为 3 厘米）上的亮度温度：

$$T_B = \varepsilon_{3\mathrm{cm}} T$$

ε_{3cm} 表示波长 3 厘米的发射率。图 3-1 给出了各地物在特定波长上的发射率和不同地物微波感应灵敏度的示意曲线。

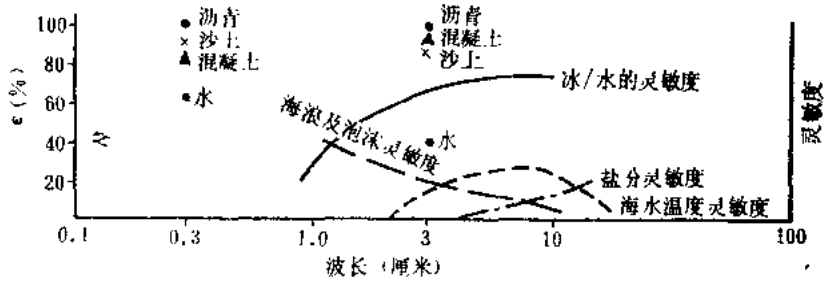


图 3-1　地物微波发射率及感应灵敏度

四、时间效应和空间效应

地球上之万物均有其自身发生、发展的演变规律；同时还受制于所在地理位置、岩性、地质结构等环境背景和人为因素的影响，所以在它们的地物波谱上就具有时间效应和空间效应。

时间效应　指同一位置上的同一地物，由于时间的推移，在这段时间内，该地物的前后电磁波波谱特征可能会产生一定程度的变化，这种由于时间推移而导致的地物电磁波波谱特征的变化，称之为地物波谱的时间效应。例如，某地的水稻，随着生长期不同，其波谱特征有一定的差异，这种差异就是时间效应。实际上，由于各种因素的影响，几乎所有地面上的物体都要产生时间效应。

空间效应　在同一时刻、同一类地物，由于其所处的地理位置不同，电磁波波谱特征可能存在一定差异，这种由于空间位置不同导致同类地物之间电磁波波谱特征的变化，叫做地物波谱特征的空间效应。例如生长在不同地点的同一类植物，由于生长条件的不同，长势也不同，其相应的电磁波波谱特征就会有一定差别。

时间效应和空间效应使得各类地物的波谱特征具有不稳定性。同一类地物在任一时刻和任一地点都可能具有自己的波谱特征。因此，我们在研究地物波谱特征时，在时间上，不仅要研究一类地物某一时间的波谱，还要观察它在各时期的一个波谱系列；在空间上，要注意从某一地点得到的波谱特征的适用范围，只有在空间环境相似的条件下，才能较有把握地将一个地点上的波谱特征延用到另一地点。可见地物波谱是相当复杂的。然而在实际应用中发现，情况并不完全是这样，对于同一类地物，特别是状态较稳定的地物，无论其时间、空间条件如何，它们的波谱曲线的形态总是相似的，总是存在一个代表型的特征。究其原因，是地物对波谱特征起主导控制作用的内在因素并没有改变。由此我们有可能对地物波谱进行分类。有时我们还需要利用地物波谱的时间效应和空间效应，尤其是时间效应，进行遥感动态分析。

第二节　水体的波谱特征

地球表面分为海洋和陆地两大部分，海洋占了地球面积的71%。就是在陆地范围内也还有河、湖、海湾、池塘和水库等水面。由于水体和陆地对太阳辐射的反射、吸收和透

射的情况不同，它们在遥感图像上的反映也迥然不同，水陆界线异常清楚。

水体作为自然界中的重要客体，它在电磁波波谱的各波谱段上反映的特征，是地物波谱研究的重要部分。河湖、海湾、池塘和水库等水体，虽然在遥感图像上是容易识别的，但是不同波谱段的遥感图像反映不同的水体特性。

一、水体中光的组成

到达水面的太阳光，一部分被水直接反射回空中形成水面反射光，它的强度与水面性质（如水面结冰程度和波浪引起的水面粗糙度）有关，一般约占 3.5%，其余的光透射到水中。透射光中的大部分被水体吸收；部分被水中悬浮泥沙颗粒和有机生物散射，构成水中散射光，其中返回水面的部分称后向散射光；部分透过水层，到达水底，构成水底反射光。后向散射光和水底反射光一起组成水中光，返回水面，折回到空中（图3-2）。到达遥感传感器上的光包括水面反射光、水中光和天空散射光。

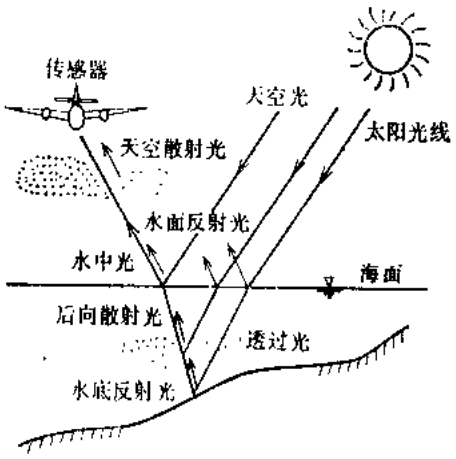


图 3-2　水体中光的组成图式

二、水体反射率与水中悬浮质含量的关系

比起地表物体来说，水体的反射更为复杂，它不只是光的入射或反射角度不同，还受水体表面状态、水深和水底形态以及水体自身的影响。由水体中光的组成可知，水中散射光的强度与水中悬浮质含量有密切的关系，浑浊度大的水体具有较高散射强度，两者呈正相关。清澈的水体，水底反射光强度与水的深度具有良好的负相关；而在浑浊的水域内，水底反射光的强度则大大降低。

水体的反射率（除镜面反射方向外），在整个波段内都很低，在近红外部分更为突出，它们在整个波谱段内的反射率一般都在 3 %左右。对于清水，一般在可见光部分为 4～5%，于 0.6 微米处开始下降至 2～3 %，到 0.75 微米以后的近红外波段，水成了全吸收体（图版 XIII）。而浑浊水的波谱曲线则整个地偏高，随着悬浮泥沙浓度的增加，这种趋势愈加明显。长春遥感试验中对 7 个悬浮泥沙浓度不同的水库进行了悬浮泥沙浓度和反射率的测定[2]，得到 7 个水库的光谱曲线和悬浮泥沙浓度与反射率的关系曲线（图 3-3 和 3-4）。如图所示，随着水中悬浮泥沙浓度的增加及悬浮泥沙粒径的增大，水体反射量将逐渐增加，反射峰亦随之向长波方向移动，称为红移。然而由于水体在 0.93 微米和 1.13 微米附近对红外辐射吸收强烈，所以反射通量急剧衰减，反射峰移到 0.8 微米附近便终止移动。短波方向，小于 0.6 微米的波长，由于反射通量降低和受水分子瑞利散射效应的干扰，不适宜作悬浮泥沙浓度的判定波段。定量解译悬浮泥沙浓度的最佳波段应在 0.65～0.85 微米之间。当水深大于一个透明度板时，底质反射率便低于 1%，可视为“无穷深水”。7 个水库的实测反射率、悬浮泥沙浓度和“无穷深水”量值见表 3-2。在彩色红外像片上，悬浮泥沙浓度由大到小，色调则从天蓝色到黑色。

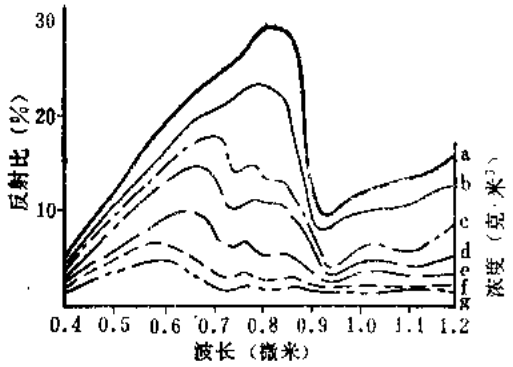


图 3-3　长春遥感试验 7 个水库的光谱曲线（浓度值见表 3-2）

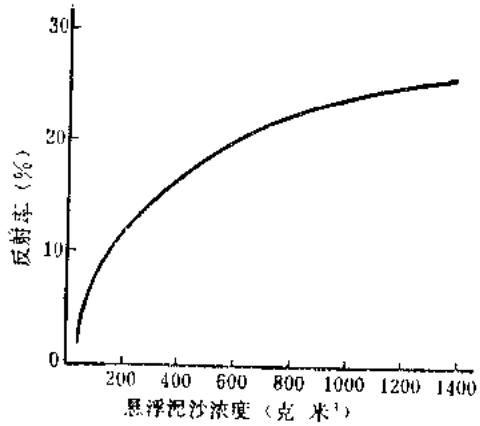


图 3-4　悬浮泥沙浓度与反射率的关系曲线

光对海水的穿透能力受海水浑浊度的影响极大。图 3-5 是各种波长的光在不同浑浊度的水体中的消散系数。水体对波长为 0.55 微米光的散射最弱，消散系数最小。大于或小于此波段的，消散系数都增大。随着水体浑浊度加大，消散系数也很快增大。拿穿透海水能力最强的 0.55 微米光来说，它在消散系数为 0.2/米的浑浊度小的沿岸水中能透过 5 米，而在消散系数为0.35/米的浑浊的沿岸水中只能透过 3 米左右。因此，遥感图像上海域色调的变化，往往不是海底反射光的直接结果，而主要是海水后向散射反映的海水浑浊度的差异。但值得注意的是，海水浑浊度与水深之间存在着一定的关系。通常在浅滩地区，波浪和潮流对海底泥沙的扰动作用比较强烈，水体较浑浊；而深槽中的水体相对比较清。因此，可以根据受海水浑浊度影响的后向散射光造成的图像色调的变化，来解译海水的相对深度。

表 3-2　长春 7 水库实测反射率、悬浮泥沙浓度和“无穷泥水”量值

	反射率(%)	浓度(克/米³)	“无穷深水”值(米)
a	25.6	1 681	0.03
b	21.9	870	0.07
c	15.1	305	0.12
d	11.5	173	0.20
e	6.77	65	0.50
f	3.41	24	1.30
g	2.07	16	1.80

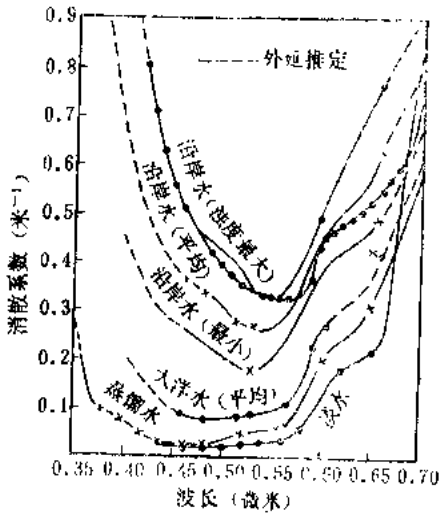


图 3-5　光对不同浑浊度水体的消散系数

由此可得出下面的结论：①清澈水域的水面反射率比浑浊水域的低；②清澈水域在近红外部分的反射率显著衰减；③随着水中浑浊物质的增加，水面的最大反射率（峰值）从蓝光向绿、黄绿光移动。因此，可用蓝光波段反射率和绿光波段反射率的比值来判别两个水体的透明度哪个更大些。消散系数则可用于确定穿透水层的厚度。

测量地物反射波谱，还需考虑地面和测量高度间大气对辐射的影响。为了验证大气

对测量结果的影响，曾对侍郎坝水库的水体，分别在140，940，1 440，1 940米的相对

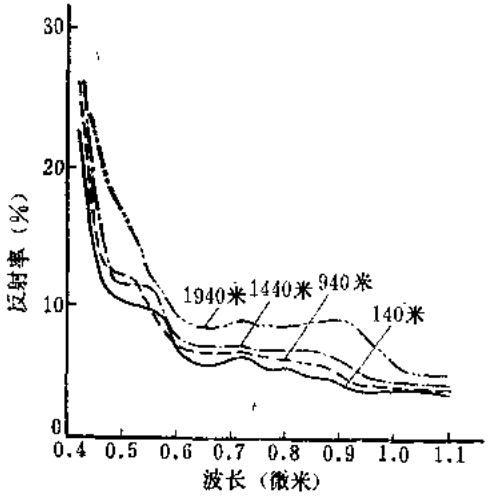


图3-6 不同高度测量水体反射波谱

表3-3 不同高度测量的不同波长的水体反射率

高度（米） \ 波长（纳米） / 反射率（%）	437	550	640	750	880	1 000
140	15	10	6	5	4	4
940	17	10	7	6	5	4
1 440	16	12	7	6	6	4
1 940	24	11	8	8	9	5

高度上进行测试。图3-6是1月18日测量的结果。表3-3是几个波长在不同高度上的反射率。由于大气程辐射的影响，测试结果随测量高度的增加而增加。140～940米高差800米，反射率只差1%左右，只是在1 440～1 940米，差异较大。一般在紫蓝光波段，大气影响略大些。换言之，在我们测量的高度上大气影响较小，可以忽略不计。但是对卫星遥感来说，大气散射对反射波谱的影响是必须考虑的。

三、水体反射率与水体中叶绿素浓度的关系

水体中叶绿素浓度和植物性浮游生物密度对水体反射波谱的影响也是明显的[3]。

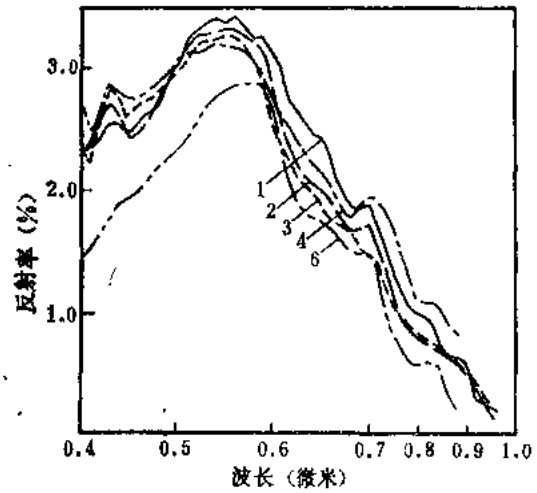


图3-7 海水反射波谱（图中曲线的数码为观测站号）

表3-4 檀之浦湾海水的植物色素浓度（荧光法）

观测站	植物色素浓度(毫克/升)
1	39.7
2	54.0
3	40.5
4	13.2
6	35.5

图3-7为1977年9月1日在日本檀之浦湾海上试验测得的海水反射波谱。海水样的植物色素浓度的分析数据见表3-4。观测点的位置是第6点在河口正面，其它点的位置是编号愈大愈近外海。反射峰值为3.5%，分布在0.5～0.6微米之间，相当于植被反射波谱低反射峰的位置。

四、水体的热特性

由于水体具有比热大，热惯性大，对红外线几乎是全吸收，自身辐射发射率高以及水体内温度传递是以对流热交换形式进行的，故水体表面保持相对均一的温度，流动水体的温度变化尤慢。不论在白天或黑夜，水的辐射有明显的特征，成为红外技术找水的

理论依据。

太阳是地表大部分物体的热辐射源，也是水体的热辐射源。白天，地物在太阳照射下增温，夜间太阳辐射的影响消失，只剩下地物本身的热辐射状况。地物增温速率取决于热传导系数。地物的热传导系数差别较大。这就产生地物温度变化与太阳辐射变化在时间上不同步。因辐射通量与绝对温度的四次方成正比（$W=\varepsilon\sigma T^4$），故水体与周围地物之间微小的温度差异就会引起辐射通量很大的变化，这样在红外图像上的反映就十分清晰。

地球自转造成太阳辐射对地面各区域以24小时为周期的变化，水体的温度也随之存在着相应的日周期变化。由于水体热惯量（$\sqrt{\kappa\rho c}$，ρ——密度，c——比热，κ——热传导系数）大，温度变化慢，流动的水增温比静止的水增温要慢。在白天，水将太阳辐射的热能大量吸收并储存起来，因此在白天摄制的红外图像上表现为冷色调(黑色)；在夜间，水温比周围地物的温度高，辐射发射强，在红外图像上呈亮白色，即暖色调。一旦有热水或污水排入河流，或河流入海，由于不同温度的水体相互之间进行热交换，白天的红外图像能显示出水面温度结构的所有细节，呈不同等级的灰色调，这些在夜间的红外图像上是得不到反映的，原因是，夜间，既使是冷水，其温度也比背景温度高，凡是水体均呈白色。据此，可用夜间红外图像来寻找在可见光照片上不易发现的泉眼、水塘和小溪等（图版XVI-4）。虽然白天的红外图像能显示水面温度结构（这是用船舶测量所不能得到的），但是热红外能探测的只是水面下0.02毫米厚的表层水温，即红外图像反映的是表面0.02毫米水层的温度，深层水温的变化仍需要用船舶定点测取。

五、水体的微波特征

在微波波长1毫米至30厘米范围内，水的发射率比较低，约为0.41（淡水发射率0.372～0.405，海水发射率0.371～0.404），亮度温度也较低。水面粗糙度较微波辐射信号的波长小得多时，被视为平坦地面，以镜面反射为主，后向散射弱，在雷达图像上呈黑色。所以微波能获取的只是水面状况以及水面下约1毫米深度的水温、盐度等信息。

雷达波（微波）和可见光一样，在水中急速衰减，不能作为遥测的工作波段。唯有声波在水中有良好的传播性能。声波在水中的传播速度，海水为1 500米/秒，淡水为1 400米/秒。声纳主要用来探测海底地物。声纳记录技术就是用于研究水底地形的侧向扫描系统，现在能测到的最大范围距船22公里，分辨能力约7米，起伏大的水底地形，可由声纳阴影类型很好地记录下来，这种阴影形态受入射角度的影响。地形起伏没有一个主要方向时，水底的结构是影响声纳图像密度类型的另一个因素，如泥和沙那样细结构的物质，在记录纸上记为低反射状态；砾石则记为高反射状态。我国自制的海底剖面仪和侧向扫描声纳，最大作用深度为50米，均为回声讯号自记。可为研究水下地貌特征、沙、砾等沉积类型和结构，为水利施工提供可靠的依据。

第三节　植被的波谱特征

植被覆盖在土地最表层，是遥感图像反映的最直接信息。由于植物内部的叶绿素、水

分、结构等有着特殊的光谱效应，又由于植物在生长发育的不同阶段，从内部成分、结构到外部形态特征均会发生一系列周期性的变化，从而导致其物理光学特征的周期性变化，加之，植被受多种因素控制，对地理环境的依赖性最大，对其它因素的改变也最为敏感，因此，是反映地理环境的最好标志。这些植物光谱特征的变化在红外波段表现得尤为明显。在遥感影像上非常直观，较易识别。

一、植被的光合作用和反射波谱

绿色植物的叶子由上表皮、叶绿素颗粒组成的栅栏组织和多孔薄壁细胞组织构成。入射到叶子上的太阳辐射透过上表皮，蓝、红光波段的光辐射被叶绿素全吸收进行光合作用；绿光中的大部分也被吸收，少部分被反射，所以叶子呈现绿色；而近红外线可以穿透叶绿素，被多孔薄壁细胞组织所反射，因此在近红外波段上形成强反射（图 3-8）。

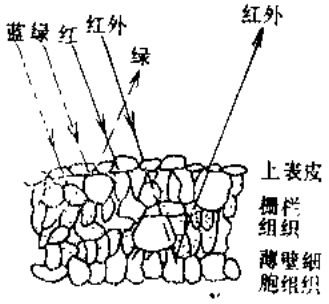


图 3-8　植物叶子结构

投射到叶面的太阳辐射，经叶子反射、吸收和透射的比例，因植物种类和叶龄而异，但是，总观迄今多数的研究结果，除特殊的叶子以外，测定值的比例可说是一致的[4]。自叶面照射时，可见光部分全区范围平均值大致是：反射占 10％左右，吸收占 80％，透射占 10％弱。紫外部分（0.33～0.45 微米）绿色叶片吸收极高，达到 88～95％，而透射为 2％弱，反射为 6％左右，均比可见光部分要小。红外线部分的反射、吸收和透射的状况随波长增长变化很大，大致是：波长超过 0.67 或 0.68 至 0.75 微米，反射和透射的比例急剧增加，而吸收比例急速下降；0.75～1.1 或 1.3 微米，反射率、吸收率成透射率大体呈稳定值，反射率和透射率分别为 40～60％，而吸收率为 0～15％；1.1 成 1.3～2.0 或 2.5 微米，反射和透射比例减少，吸收比例增加，这些增减现象呈现若干个峰和谷；超过 2.0～2.5 微米，反射和透射显著减少（图3-9）。

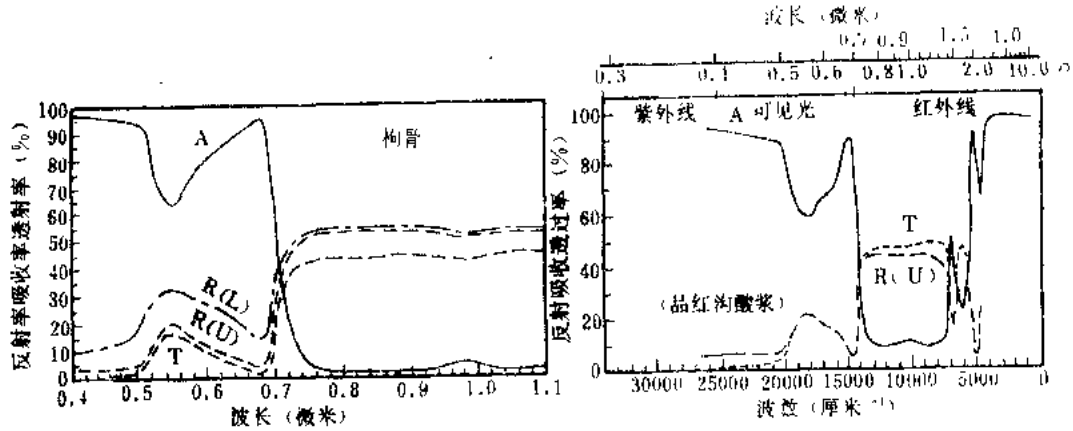


图 3-9　叶子对光线的反射、吸收和透射——可见光及红外线

A—吸收率；*R*(*L*)—背面反射率；*R*(*U*)—腹面反射率；T—透射率

国外一些学者认为，25 微米和 14 微米的长波红外线的叶子反射率是百分之几的数量级，而透射率则为零，几乎是个黑体。

综上所述，绿色叶子对近红外线的反射率最高，而在其它波长范围的光，除绿光波段有低反射峰外，均比较低。绿色叶子在不同光谱段反射、吸收和透射比例的变化是具有生态意义的。太阳光中除了大约40%为可见光外，还有60%左右是近红外线。如果绿色叶子在0.7～2.5微米范围内具有高吸收率，受太阳辐射后温度必然会显著升高，导致高温伤害。于是叶子对可见光仍然具有高吸收率，而对近红外线则只显示出极低的吸收率。这样，在光合作用过程中，既能有效地利用太阳辐射的光能，又能避免高温的伤害。在大于2微米波长范围内，光的吸收重新表现为加强，这样就可以预防植物的过度变冷。

与其它物体相比较，植物有其极为相似的反射波谱特征，原因是植物均具有光合作用。植物的反射波谱特征是：在可见光绿波段0.55微米附近有10～20%的反射峰，近红外线0.8～1.0微米间具有50～60%的比绿波段高的反射峰，直至3.0微米部分是衰减曲线。在红波段0.7微米和近红外线1.5和1.9微米附近具有强烈吸收。已知红波段的吸收是由叶绿素吸收形成的，近红外波段的吸收是由细胞液和细胞膜的水分吸取的(图3-10和3-11)。

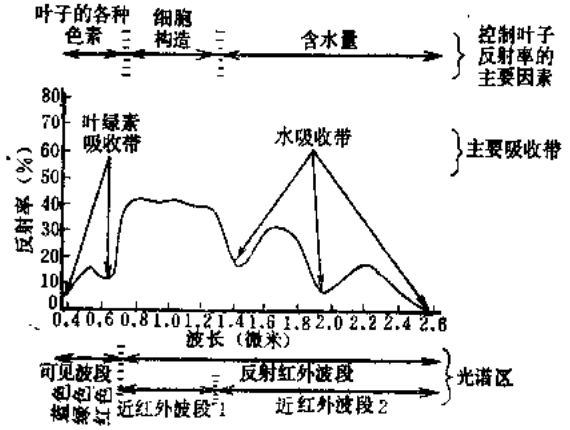


图3-10　绿色植物的主要光谱特性

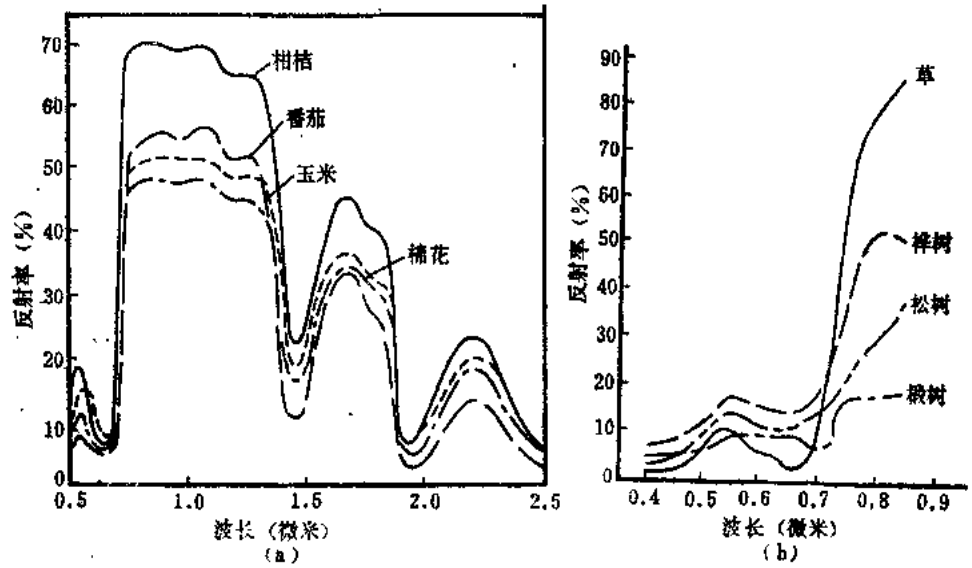


图3-11　不同植物光谱曲线的比较

二、影响植被反射波谱的方面

光合作用过程中，具有截获光能作用的色素，在陆生高等植物之中就有叶绿素a、b以及类胡罗卜素（胡罗卜素和叶黄素），这些色素的吸收光谱如图3-12所示。

单位叶面面积的叶绿素及类胡罗卜素含量均因植物种类、生育条件以至叶龄而有所不同。这些色素含量增多，则其对光线吸收率也提高。植物波谱随着植物的生长期和季节而变化。同一种植物，由于生命活力不同，各波段的反射量也不同。活力减弱时，首先是红光吸收减少，这部分光也为反射光，近红外部位的反射量也同时减少，叶呈黄红色。活力进一步降低而枯死的话，它的反射波谱曲线，在近红外波段 1.0～1.2 微米之间为顶端，呈黑体辐射似的抛物线状曲线。对华北地区 30 多种主要树种进行定点定期连续观测[5]并按物候期计算每种树的光谱反射率均值的结果表明，不论是阔叶树，还是针叶树，光谱反射率一年内变化最大的是红外区，夏初最高，其次是春季和夏末，秋季最低（图 3-13）。在可见光范围，反射率变化较大的是绿波段和红波段。

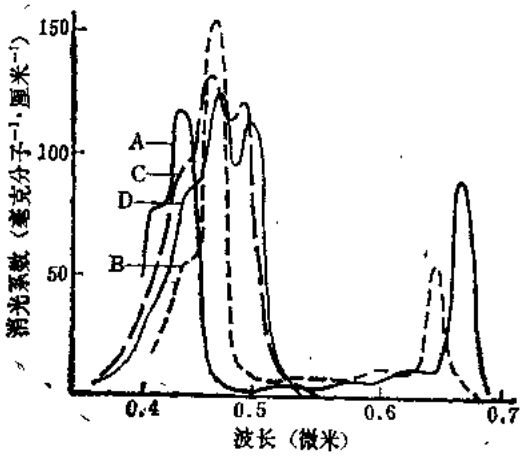


图 3-12　叶片所含各种色素吸收光谱

A——叶绿素 a
B——叶绿素 b　（Fogg, 1968），
C——β-胡罗卜素
D——叶黄素　（Lang, 1961）

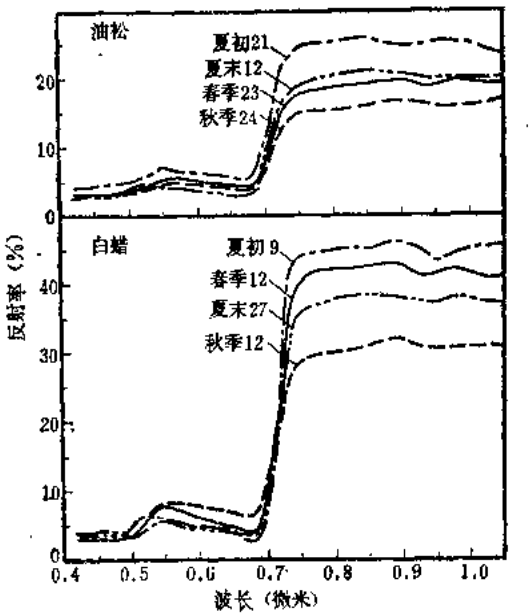


图 3-13　针叶树和阔叶树光谱反射率的季节特点

每条光谱曲线都是多次测定的均值。林木在近红外的反射率一般都是夏初最高，秋季偏低，春季及夏末居中。秋季的阔叶树光谱曲线在红光波段有明显不稳定的升高，而针叶树没有。0.5 微米以前的光谱曲线变化很小

此外，许多植物的光学特性都取决于所在的环境[6]。例如，在极北地带的条件下，植物吸收了辐射能的大部分，而反射和透射则较少。不同生态的植物叶子所具有的光谱曲线也不同，例如，在 0.55 微米附近的峰值，这不是在所有的植物那里都能够清楚地表现出来的，对于许多盐生植物来说，在可见光波段范围内可以观察到两个峰值。沙生植物的光谱曲线在可见光波段范围内是平缓的，但是，它的总亮度要比中生树种高一些。仙人掌科植物的绿色茎和棘刺比中生植物的叶子具有较高的亮度。对于肉质植物来说，在绿光波段的峰值反映不明显。随着生态条件的恶化，在可见光范围内，乔木树种的反射率就会增加，反射峰值移到红光波段；在盐渍化的影响下，棉花叶子的海绵状薄壁组织和栅栏组织增生，叶子逐渐变厚，它们所长的茸毛也逐渐增加，叶子的反射率随之增大（图 3-14）。

海洋水色受多种因素的影响，其中最主要的因素是受浮游植物所制约的叶绿素浓度，

不同浮游植物叶绿素浓度有着不同的反射光谱特征（图3-15）。含有浮游植物的海面通常具有下列光谱共性：在波长0.4微米处呈一个强烈的吸收峰；在0.52微米处出现“节点”的性质，即在此点，光谱响应不随浮游植物浓度而变化；在0.68微米附近有明显的反射峰。若以0.55微米附近为界，波长大于0.55微米的，其海面反射率随叶绿素a含量的增大而增大；波长小于0.55微米的，当叶绿素a含量超过0.528毫克/米^{3}时，叶绿素a含量增加，而海面反射率反而降低。鉴于这种光谱特性，目前世界上普遍采用叶绿素引起的光吸收效应最小的波长0.54微米上的海面辐射量$R_{0.54}$，与叶绿素引起的光吸收效应最大的波长0.46微米上的海面辐射量$R_{0.46}$两者比值$R=R_{0.54}/R_{0.46}$，来分析海域中叶绿素浓度分布及其变化状况，这也是评价海洋初级生产力的重要指标[7]。应用这种比值法，在开阔大洋的研究中能获得满意的结果。

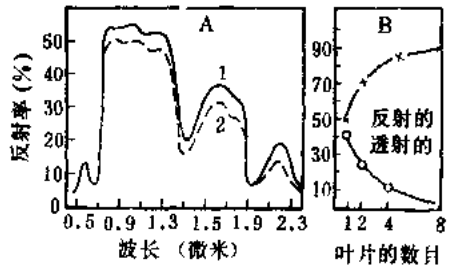


图3-14 棉花叶子的光谱曲线

A：盐渍化土壤的影响程度（1—盐渍化土壤上的棉花叶子；2—非盐渍化土壤上棉花叶子）

B：叶层厚度对光线反射和透射的影响（波长为10.50微米）

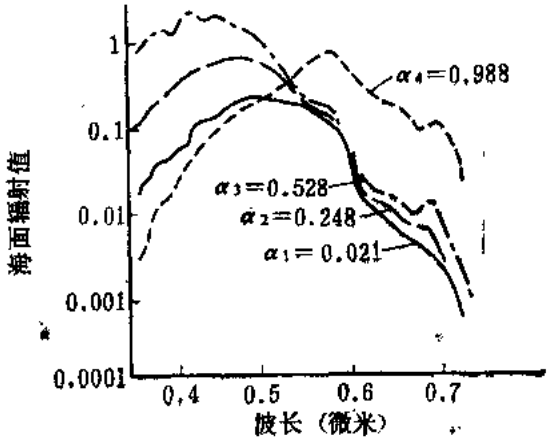


图3-15 不同叶绿素浓度海面光谱曲线

α—叶绿素浓度（毫克/米^3）

在湖泊沼泽化的进程中，自湖边向湖心顺序分布着挺水植物、漂浮植物及浮叶植物、沉水植物。当水生植物的个体或群体出现的频率和尺度（面积）的信息不足以传感器单独捕获时，遥感图像上所反映的是水生植物与水体的综合光谱信息。挺水植物、漂浮植物及浮叶植物的综合光谱信息中更具“植物”的特性，而沉水植物的光谱信息为水所掩盖，因此图像信息极微弱，需进行图像增强处理才能识别（图3-16）。

比较绿色活叶与摘下的同种叶子的色素提取液和经水浸透后的叶子的吸收光谱[4]，活叶的吸收率曲线整体移向长波一侧，绿色波段谷的深度显著变浅，蓝色波段和红色波段吸收峰值也比色素提取液低。其原因是叶色素提取液中色素分子均匀分散，不存在吸收残余现象，吸收率高。活叶中色素是叶绿体特有的成分，並呈集中排列状态，叶绿体与叶绿体之间存在着不含色素的空间，故通过这种空间的光线好象通过筛孔一样，不被吸收而逸出叶外。叶子经水浸透后，细胞间隙充满水分，于是叶肉细胞表面就不发生反射，即在叶肉内光线通过途径缩短，光线吸收率，特别是绿色波段的吸收率便降低（图3-17）。

除绿色叶子外的特殊叶子，其叶子的光学性质与绿色叶子不同（图1-18），主要

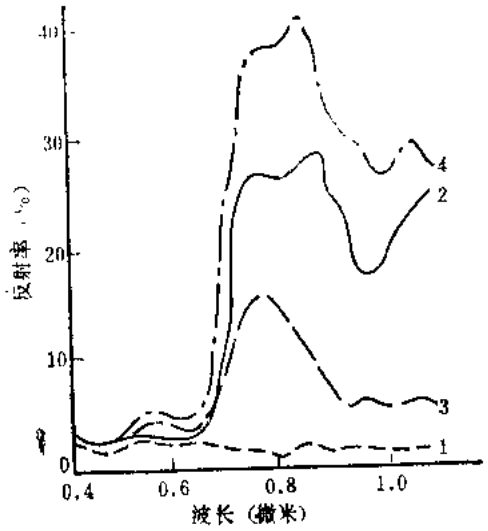


图 3-16　水生植物的波谱特征
1—水；2—荒（挺水植物）；3—金鱼藻（沉水植物）；4—菱（漂浮植物）

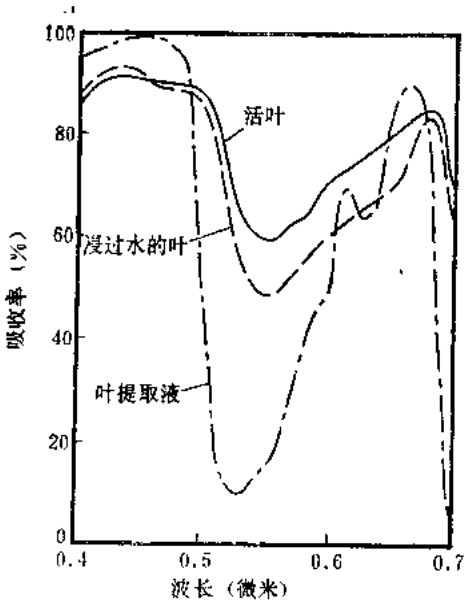


图 3-17　活叶、浸过水的叶子以及色素提取液的吸收光谱
材料为甜菜，每单位面积的色素含量平均后的比较资料

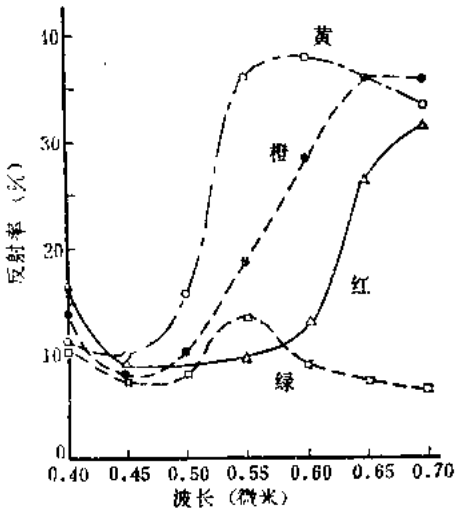


图 3-18　各种颜色叶子的反射波谱

差别是在可见光范围。健康植物特有的波谱特征是在近红外波段有其它地物所没有的高反射率，所以使用近红外波段是很容易区分植物和其它无机物（例如与涂绿色的建筑物等）的。而被火灾和真菌损害的乔木树种与农作物，因物质交换的破坏、叶绿素的破坏和叶子脱水作用的发展，会使植物在红外波段的反射率降低和使可见光波段的曲线发生变化，在确定了植物波谱特征的变化不是由于自身生长期不同所造成时，应考虑植物病理因素或天气灾害影响，采取整治措施。

三、植被的红外与微波特性

对植物来说，在 8～14 微米波段内，植物的发射率接近于黑体的发射率。各类植物间的差异是由植物株体从地面和太阳辐射获得並储藏热量多少而定的。腾冲地区绝大多数地面是由植被覆盖的，其中树林和草地在黎明前、上午、中午、傍晚和午夜五个时段的温度变化周期非常清楚（图版 IX）。草株体小，从地面或太阳辐射取得热量少，储藏热量的可能性也小，地面增温时它也随之增温；晚上地面辐射加强，它很快地把自己所有的热量辐射出来，逐渐形成晚上近地面层空气温度倒置状况。而树的枝干高大，白天由于树叶吸收红外线（>2微米），树叶表面又有水汽的蒸腾作用，降低了树叶表面温度，

使树林具有比周围地面低的温度；晚上，储有大量热量并具有很高发射率的树和地面都进行辐射，树的发射率较地面的强，相对温度较高。针叶树的针叶从合成发射率接近于黑体的发射率，故在夜间辐射温度相对较高，白天则相对较低。作物的茬子地，在夜间红外图像上呈暖色，并与裸土的冷色调相对照。这种暖的夜间标记是由于残茬遮盖了部分地面、保持了热量所造成的。

在机载雷达图像上，依据植物群聚的郁闭度和密度，以相对于地面高度等对雷达波后向散射的强弱造成的影像色调和影纹结构来识别其为何种群落，例如森林通常将具有浅色的影像色调，草本植被也具有浅灰色调，水稻则具有浅黑色调等。

综上所述，植物在可见光及近红外区的反射波谱，以其具有绿、红外波段的两个反射峰及红波段的吸收为其特点。然而，不同种间或不同生境条件下的植物波谱，又受叶面颜色、叶子含水量、叶面指数、植物的健康状况、植物的成熟程度及植物生长的背景等许多因素的影响。不同种间的植物或不同生境下植物的反射率差异，集中表现在近红外波段和红波段，因此，分析这两个波段的反射率便成为植被遥感研究的关键。

第四节　岩石的波谱特征

地球表面除去水体和植被覆盖外，人工建筑仅占极小部分，绝大部分是岩石，即地质体。地质体发射不同强度的电磁波，主要有γ射线、红外线、微波及与遥感无关的地磁地电等。没有可见光，但局部有光，如荧光。

地质体自身不发射可见光，但是它仍可反射太阳辐射中的可见光部分。不同岩石反射和发射电磁波的特点是不同的，对同一波长电磁波的反射也有强有弱。同种岩石反射和发射不同波长电磁波的本领也不尽相同。

一、主要岩石的反射波谱特征

1．火成岩的反射波谱特征

从选用的火成岩反射波谱(图3-19)可以看出，火成岩的平均反射率从酸性到基性逐渐减小，即平均反射率与SiO_2含量几乎成正比（表3-5）；反射率随波长增加而加大。其中，在0.5～0.6微米之间增加显著，0.7～1.1微米渐趋平缓，即波谱曲线的形态由酸性到基性由缓斜型逐渐变为平直型，这种变化与岩石成分是一致的。

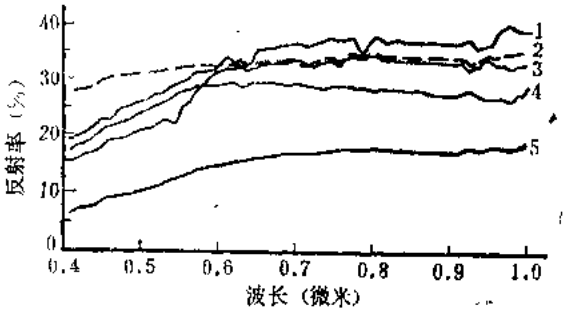


图3-19　火成岩反射波谱

1—浅红色白云母花岗岩；2—黑云母花岗岩；3—白云母花岗岩；4—花岗闪长岩；5—辉长-辉绿玢岩

表3-5　岩石SiO_2含量与反射率的关系

项目 \ 名称	浅红色花岗岩	花岗闪长岩	辉长-辉绿玢岩
反射率(0.4～1.1微米)(%)	30.06	26.25	12.45
SiO_2含量(%)	66.62	59.81	53.27

2．沉积岩反射波谱特征

沉积岩一般是以各种胶结物胶结起来形成的砾岩、砂岩和泥岩。但是由于胶结物不同所引起的各种色调和颗粒大小的影响，反射波谱曲线有差异。例如，绿色砂岩在绿波段形成反射峰；红色砂岩在红波段反射率陡增，形成比较明显的陡坎型曲线；黑色碳质砂岩反射率最低，成典型的平直型曲线（图 3-20）。砂岩的反射率随粒度的增加而增大，红色砂岩反射率为 29.06％，紫红色粉砂岩是 22.31 ％，紫红色泥岩最低，为 13.22 ％（图 3-21）。

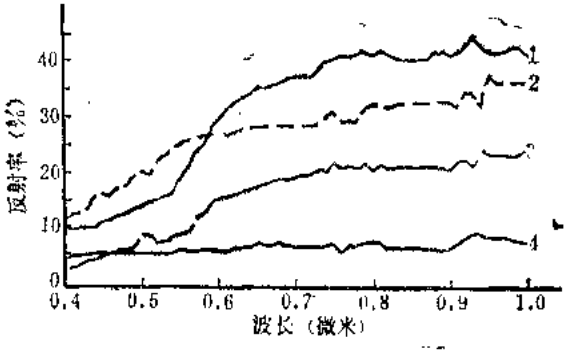


图 3-20　砂岩的反射波谱

1—砖红色砂岩；2—灰绿色砂岩；3—紫红色砂岩；4—黑色炭质砂岩

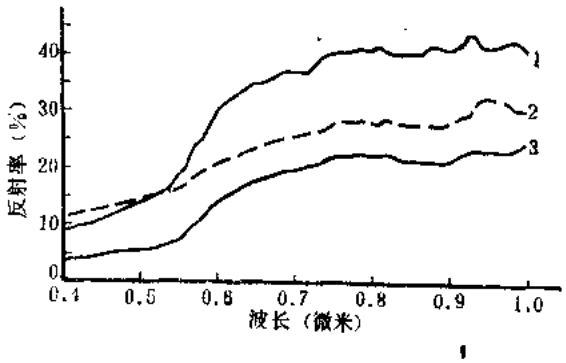


图 3-21　不同粒度砂岩的反射波谱

1—红色砂岩；2—紫红色粉砂岩；3—紫红色泥岩

3．碳酸盐岩类反射波谱特征

由选用的白云岩、大理岩、灰岩三种岩石反射波谱看，从短波段至长波段，反射率渐次升高，到 0.9 微米之后又趋下降，呈波浪型曲线形态。其反射率大小的差异只反映有机质及杂质的含量多少，有机质及杂质含量高者反射率低，反之亦然（图 3-22）。

4．变质岩类的反射波谱特征

变质岩的反射波谱如同变质岩本身一样比较复杂。图 3-23 为三种片状变质岩的反射波谱。图中两种石英片岩的波谱几乎无甚差异。但含铁量较高的铁质千枚岩石英片岩，其 FeO 含量达 7.57％，在 0.6～0.7 微米开始出现反射峰，与其它两种片岩存在较大的分异，说明色调在变质岩波谱特征中也起相当重要的作用。如色调灰暗则多呈平直型曲线，彩色岩则多呈波浪型曲线。

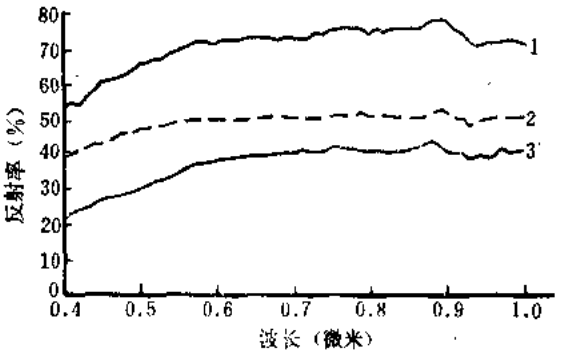


图 3-22　碳酸盐岩类的反射波谱

1—白云岩；2—灰白色大理岩；3—灰岩

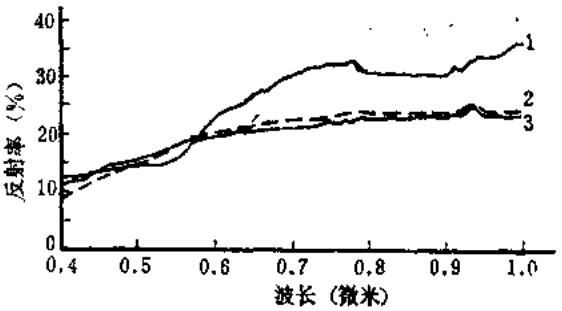


图 3-23　变质岩类反射波谱

1—铁质千枚岩石英片岩；2—黑云母石英片岩；3—二云母石英片岩

地质体的发射和反射电磁波特征还受一系列环境因素的干扰。例如，同样的地质体，由于它们的风化状况、水分含量及叠加其上的其它要素不一样，它们的电磁波波谱特征也就不同（图 3-24）。干岩石的反射率高于湿岩石的反射率；岩石在干燥状态下，其风化的岩石反射率比新鲜岩石的要高；在潮湿条件下，新鲜岩石反射率比风化岩石的高。这是解译时需要注意的。

总之，各类岩石的反射波谱在 0.4～1.1 微米波段存在某些差异，但很有限，更多、更丰富的岩石波谱特征应在中红外波段的细分波带中寻找。

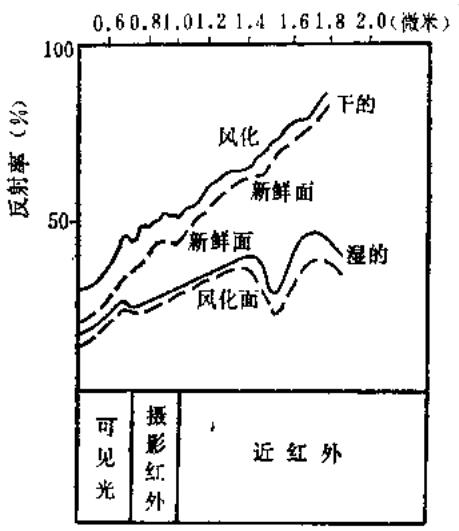


图 3-24 由于风化状况和水文条件不同造成的红砂岩的反射波谱差别

二、岩石的发射波谱特征

物体发射率（表 3-6 和表 3-7）与其表面特性——粗糙度、色调有关。一般说来，粗糙表面比平滑表面发射强，暗色目标比浅色目标有较高发射率。所以在同样温度条件下（$T_B = \varepsilon T$，$W = \sigma \varepsilon T^4$），发射率高的物体热辐射强。例如，碳酸钙（$CaCO_3$）含量达 95％以上的大理岩具有 0.942 的发射率，而二氧化硅（SiO_2）含量达 90％以上的石英岩，其发射率为 0.627，大理岩的热辐射比石英岩的强，在红外影像上色调更浅些。

表 3-6 在 8～12 微米波段测定的不同物质典型样品的发射率

物质名称	发射率 ε
花岗岩	0.815
纯橄榄岩	0.856
黑曜岩	0.862
长石	0.870
花岗岩(粗糙的)	0.898
石英砂岩(磨光的)	0.909
石英砂(粗粒)	0.914
白云岩(磨光的)	0.929
玄武岩(粗糙的)	0.934
白云岩(粗糙的)	0.958
铺路沥青	0.959
混凝土道路	0.966
表面飘浮薄油膜的水	0.972
纯水	0.993

注：据 Buettner,K,J.K,and C.D.Kern,Journal of Geophysical Research,Vol.70,p.1333, 1965.

由于各类含氧盐矿物，其阴离子团内键的振动强度大而稳定，对它们的红外波谱起主要决定作用，因而其它部分对红外波谱影响较小。表 3-8 是阴离子团及常见矿物的红外特征吸收波谱。图 3-25 所示为碳酸钙在 2～15 微米波段所显示的少数几个宽吸收峰。而许多无机物（如 Fe_2O_3，HgS 等）在 2～15 微米波段没有吸收峰出现。

根据基尔霍夫定律：$\alpha(\lambda) = \varepsilon(\lambda)$，我们可以由地物的吸收率来确定发射率。地质体热红外发射波谱可以根据其反射率来推算，即 $\varepsilon = 1 - \rho$。R'lyoul 的岩浆岩的发射波谱就是用此方法得到的（图 3-26）。不同岩性发射率极小值所对应的波长是不同的，例如，酸性花岗片麻岩在 8.8 微米处，中性安山岩在 9.7 微米处，基性玄武岩在 10.4 微米处，超基性橄榄岩在 10.7 微米，随着 SiO_2 百分含量的减少，最小发射率值所对应的波长将随之增大。可以推断，使用热红外遥感有可能进行岩浆岩的分类。

在热红外波段（8～14 微米），岩石性质——热惯量和反射率，对岩石热辐射有重要

表 3-7　20°C 时各种地质体的热性质

地质体	λ 热传导系数 (卡/厘米·秒·°C)	ρ 密度 (克/厘米³)	C 热容量 (卡/克·°C)	K 热扩散率 (厘米²/秒)	P 热惯量 (卡/厘米²·秒$^{\frac{1}{2}}$·°C)
1. 玄武岩	0.005 0	2.8	0.20	0.009	0.053
2. 粘土土壤(湿)	0.003 0	1.7	0.35	0.005	0.042
3. 白云岩	0.012 0	2.6	0.18	0.026	0 075
4. 辉长岩	0.006 0	3.0	0.17	0.012	0.055
5. 花岗岩	0.007 5 0.006 5	2.6	0.16	0.016	0.052
6. 砾石	0.003 0	2.0	0.18	0.008	0.033
7. 石灰岩	0.001 8	2.5	0.17	0.011	0.015
8. 大理岩	0.005 5	2.7	0.21	0.010	0.056
9. 黑曜岩	0.003 0	2.4	0.17	0.007	0.035
10. 橄榄岩	0.011 0	3.2	0.20	0.017	0.031
11. 浮石(松散的)	0 0.0 6	1.0	0.16	0.001	0.009
12. 石英岩	0.012 0	2.7	0.17	0.026	0.071
13. 流纹岩	0.005 5	2.5	0.16	0.014	0.017
14. 砂质黏土	0.006 0	2.1	0.20	0.014	0.050
15. 沙质土壤	0.001 4	1.8	0.24	0.003	0.021
16. 砂岩(石英)	0.012 0 0.006 2	2.5	0.19	0.013	0.051
17. 蛇纹岩	0.006 3 0.007 2	2.4	0.23	0.013	0.063
18. 页岩	0.004 2 0.003 0	2.3	0.17	0.008	0.031
19. 板岩	0.005 0	2.8	0.17	0.011	0.049
20. 正长岩	0.007 7 0.004 4	2.2	0.23	0.009	0.047
21. 凝灰岩(焙结的)	0.002 8	1.8	0.20	0.008	0.032
22. 水	0.001 3	1.0	1.01	0.001	0.037

注：据 Janza (1975, 表 4.1)。

表 3-8　阴离子质及常见矿物的红外特征吸收波谱

阴离子团	吸收波段位置（微米）			
SiO_2 硅酸盐	9.1～11	12～13.5	20～25	
CO_3 碳酸盐	6.9～7.1	11.4～11.6	13.5～14.7	
PO_4 磷酸盐	9.1～10	12～12.8	15.4～20	28.6
BO_3 BO_4 硼酸盐	7.7～8.7	9.5～11	12.8～15.2	
SO_4 硫酸盐	8～10	15～16.4	22	
NO_3 硝酸盐	7.2～7.4	11.9～12.3		
AsO_4 砷酸盐	11～12.8	18.2～22.2	28.6	
VO_4 钒酸盐	8.7～13.7	20.8～22.2	28.6	
石英	8.5～9.3	12.5～14.3	16.7～22.2	
微斜长石	8.8～9.8	12.5～14.3	15.4～18.5	
方解石	7	11.4	14	
结晶水	2.8～3.3	6～6.3		

的影响（图 3-27），可由它来计算地表温度的月周期变化数学模型。对于反射率相同的岩石来说，那些具有高热惯量的岩石比那些具有低热惯量的物质温度变化要小些（图 3-27

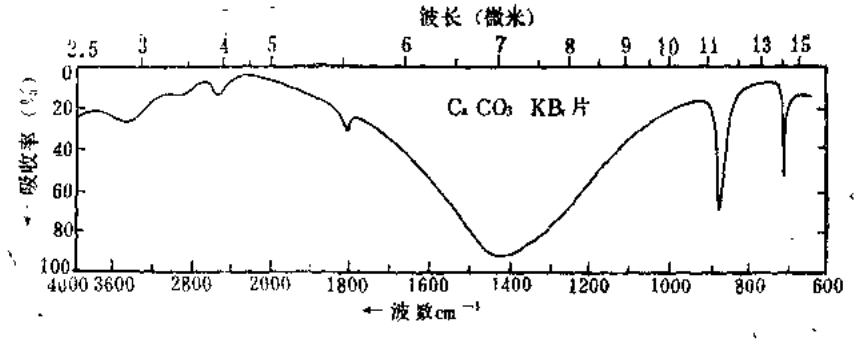


图 3-25 $CaCO_3$ 的红外波谱

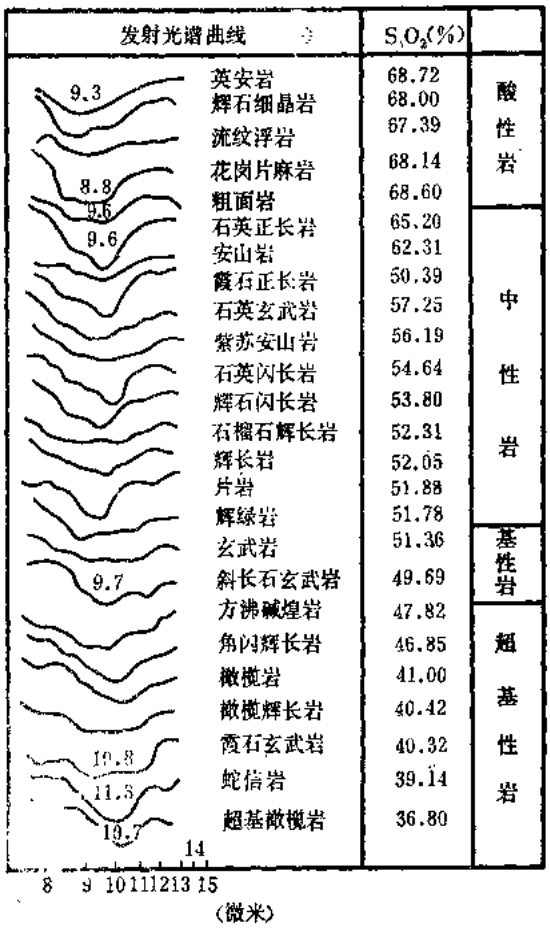


图 3-26 某些岩浆岩的发射波谱

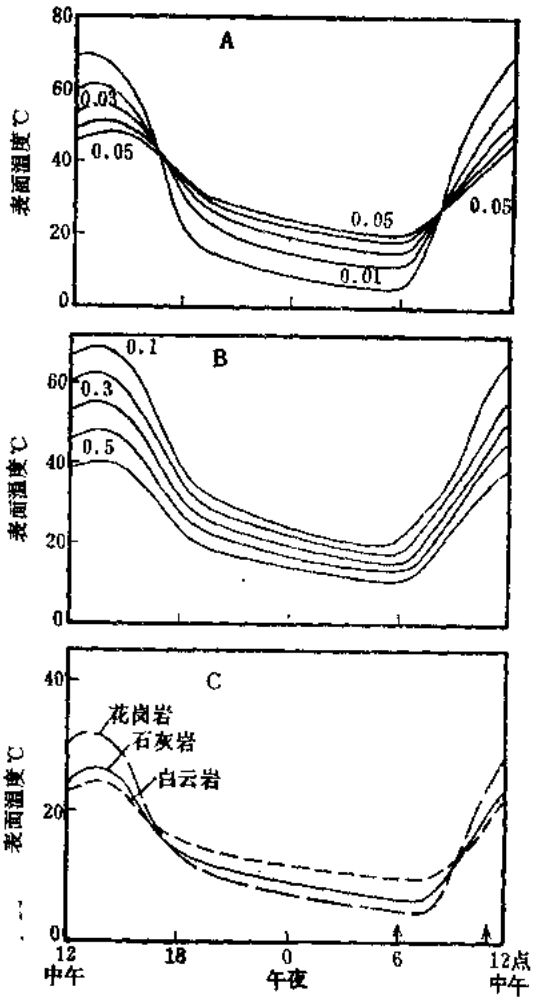


图 3-27 由不同的热惯量、反射率和岩石类型计算出来的地表温度日周期变化的数学模型
A—具有不同热惯量的物质；B—具有不同反射率的物质；C—奥克拉荷马米尔溪的石灰岩、白云岩和花岗岩露头。箭头表示热红外图像的成像时间

A)，白天午后 1 时热反差最大，夜晚最大的热反差发生在黎明前。对于具有相同热惯量但反射率不同的岩石而言（图 3-27B)，最大的热反差出现在中午前后，最小的热反差在

黎明。值得注意的是，深色岩石（低反射率）比浅色岩石（高反射率）具有较高温度和较大的温度范围。因此，黎明时刻是记录由于岩石热性质差别而产生的温度反差的最佳时间。因为此时岩石的热惯量的影响最大，而反射率的影响最小，即太阳辐射的影响最小。岩石与其它地物相比，它的辐射温度日周期变化最为显著（图 3-28）。

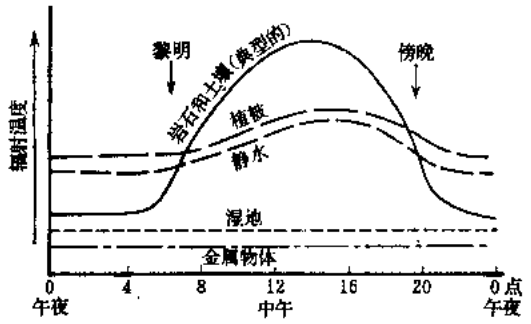


图 3-28　典型物质的日周期辐射温度曲线（图解式）

三、岩石的微波波段特征

控制雷达波后向散射强度的岩石表面性质主要是表面粗糙度和含水量。表面粗糙度取决于表面结构形迹，如沙、砾和卵石的颗粒及风化碎屑。然而表面粗糙度类型又是由雷达波长来定的（表 3-9）。例如一个垂直起伏 0.5 厘米的表面——典型的中到粗粒的沙地，对 Ka 波段而言为粗糙表面，对 X 波段是粗糙度中等，而对 L 波段则显得平滑。

除未固结的砾石、沙和粘土外，表面粗糙度和岩性之间并没有固定的关系。例如平滑的粉砂质岩盐和碳酸盐胶结砂，由于垂直起伏相同而有相同的雷

表 3-9　俯角为 45° 时不同的垂直起伏 h 值对各种雷达波长的反应

h（厘米）	Ka 波段 λ=0.86 厘米	X 波段 λ=3 厘米	L 波段 λ=25 厘米
0.05	平　滑	平滑	平　滑
0.10	中　等	平滑	平　滑
0.5	粗　糙	中等	平　滑
1.5	粗　糙	粗糙	中　等
10.0	粗　糙	粗糙	粗　糙

表 3-10　长春净月潭地区岩石的微波介电常数

样品号	岩石名称	采样地点	ε'	ε''
216	风化花岗岩	南大顶子山	5.52	0.188
225	花岗岩(r05)	冯家屯	4.95	0.158
224	花岗岩(r04)	柳树沟采石厂	5.21	0.214
215	紫色安山岩	净月潭采石厂	6.17	0.321
214	斑状黑色安山岩	净月潭采石厂	6.33	0.298
26	斑状安山岩	洞口采石厂	7.46	0.388
23	斑状安山岩	洞口采石厂	6.05	0.254
21	安山块集岩	长春采石厂	6.58	0.105
231	砂岩	北大顶子山	7.01	0.329
230	砂岩	北大顶子山	6.52	0.313
219	紫红色砂岩	腰红咀子	6.40	0.173
217	砂砾岩	新立城煤矿	5.48	0.033
210	凝灰质粉砂岩	净月潭水库东岸	6.57	0.296
29	砂岩	净月潭水库东岸	5.20	0.192
229	中酸性熔岩	北大顶子山	5.10	0.107
228	中酸性熔岩	北大顶子山	5.54	0.183
212	中酸性熔岩	净月潭东采石厂	5.27	0.116
211	中酸性熔岩	净月潭东采石厂	6.58	0.224
28	中酸性熔岩	长春采石厂	5.65	0.107

达回波，因此，在雷达图像上识别岩性，必须利用岩石的地貌表现和风化特征。

在微波波段，干燥岩石和土壤的介电常数大约是3～8，水是80。由于岩石和土壤的介电常数与含水量几乎成线性增长关系。介电常数增加会提高表面的反射率，因此湿地比干地容易反射雷达能量。由于测量天然物质的介电常数比较困难，因此只有少数数值公布。据肖金凯对长春净月潭地区四类岩石样品微波复介电常数 ε（$\varepsilon = \varepsilon' + j\varepsilon''$，$\varepsilon'$ 是复介电常数的实部，ε'' 为复介电常数的虚部）的测量[8]，他是先将样品破碎至60网目以下，在烘箱中除去吸附水，然后在3厘米波段，利用谐振腔法进行测定的，测量结果见表3-10。与我国其它地区同类岩石相比，该区四类岩石的实部都稍偏高，其中以安山岩最高，花岗岩最小；虚部除个别样品外，彼此相差不很大。

一般情况下，岩石在雷达图像上呈不同等级的灰色调。

第五节　土壤的波谱特征

众所周知，各种成土过程所形成的不同土壤类型具有一定的规律性，并受地质、地貌、植被、气候、人为因素等的制约。对土壤波谱有影响的基本因素有腐殖质、氧化铁、湿度、机械组分、矿物成分和表土结构。在自然条件下这些因素的影响是综合显示出来的，难以区分某一因素的影响有多大，但是对其一般的规律性还应深入研究。

一、土壤的反射波谱类型

根据用分光光度计对我国23类主要土壤取了100个样品所测得的0.36～2.5微米反射波谱曲线[8]的形状特征和斜率变化情况，可将它们归纳为平直型、缓斜型，陡坎型和波浪型四类（图3-29）。

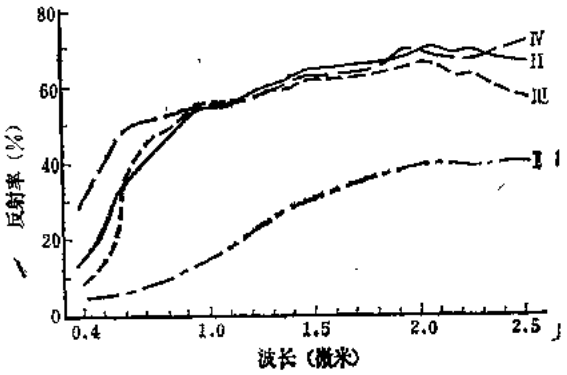


图3-29　我国土壤反射波谱类型

Ⅰ—平直型代表土壤泥炭土；Ⅱ—缓斜型代表土壤水稻土；Ⅲ—陡坎型代表土壤红壤；Ⅳ—波浪型代表土壤棕漠土

(1) 平直型

凡有机质含量高，颜色暗的土壤多形成平直型曲线，尤其在可见光波段，斜率小而稳定，基本上呈一条与 X 轴有一个锐角的直线；进入红外波段后，曲线稍有抬升或下降，但变幅不大。来自云南腾冲的泥炭土是最典型的例子。该样品有机质含量高达70%，测得的反射率很低，在0.36微米处为4.9%，随波长增长，反射率稍有升高，在0.62微米处为7.3%，这段的斜率仅0.009，在0.62～0.8微米处斜率大约增至0.015。此外，火山灰土也具有平直型曲线，整条曲线的位置和可见光波段的斜率都与其有机质含量密切相关，有机质含量低的曲线位置高。

(2) 缓斜型

水耕熟化形成的水稻土是我国分布范围广阔、具有独特发生属性与形态结构的耕作土壤，波谱曲线属缓斜型。其主要特征是自波谱的紫光端向红光端缓缓抬升，形成一条斜线。在0.45或0.62微米附近可能出现程度不等的小波折，这段的斜率一般在0.10左

右，明显地高出上述平直型曲线。在 0.62 微米以后的斜率稍有降低。

值得指出的是，采自不同地区相隔千里的水稻土，只要水分条件、发育程度相似，测得的曲线就十分相似。例如采自湖北云梦与云南腾冲的水稻土，都属于冲积淤积母质发育的潴育性（草甸土起源）水稻土，两条曲线的形状和斜率变化相当一致。而采自腾冲分属三个不同亚类的水稻土，由于水分条件与发育阶段的差异，曲线形状就出现较大差别(图 3-30)。新扩展的稻田，属发育程度差的淹育性水稻土，其波谱曲线仍保留着红壤类型的某些特征。腾冲坝阶地冲积母质发育的潴育性水稻土，其曲线形状是典型的缓斜型。而在腾冲坝中部低洼地段，地下水位高，排水不畅，属沼泽起源的潜育性水稻土，由于它的表土长期处在水分过多的状态下，土中铁质被还原为离子态亚铁，把土壤染为青灰色而降低了其反射率。

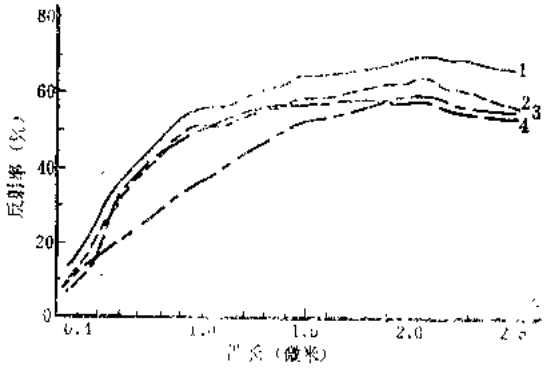


图 3-30　水稻土波谱曲线

1—湖北云梦潴育性水稻土；2—云南腾冲潴育性水稻土；3—云南腾冲潜育性水稻土—4—云南腾冲淹育性水稻土

(3) 徒坎型

南方湿热条件下发育的红壤形成陡坎型曲线。其主要特征是在可见光段曲线陡峻，斜率剧增。但是斜率增高程度不等，形成几个波折。一般在 0.35 微米附近出现小凸起，至 0.43 微米处转为小凹陷，0.48 微米以后曲线急骤上升，几乎成为垂直于 X 轴的直线，形似陡坎。至 0.62 微米，曲线稍趋缓和，0.74 微米以后斜率进一步下降，进入红外波段后，一般在 0.9，1.1，1.4，1.9，2.2 微米附近有程度不等的吸收，最后曲线缓缓降至 2.5 微米测定终端。根据典型矿物光谱反射特性测定资料推断：0.45～0.48 微米的吸收带，0.52～0.58 微米的反射峰，都系土壤中含有相当数量的赤铁矿、褐铁矿等高价铁的氧化物所致。红外波段的几个吸收带则与铁的氧化物及高岭土类矿物中所含 OH^- 有关。

南方湿热地区另两类重要的土壤——黄壤和砖红壤，其波谱曲线虽与红壤类同属陡坎型，但是彼此又有明显差异（图 3-31）。砖红壤曲线位置总的偏低，0.52 微米之前曲线低而平缓，斜率不超过 0.04；0.52 微米以后斜率迅速增高，0.54～0.58 微米波段斜率猛增至 0.205。这意味着砖红壤中含有比红壤更多的铁、铝氧化物。黄壤曲线特征与砖红壤的相反，在 0.45 微米之前比红壤曲线还陡，斜率达 0.112，0.48 微米以后斜率进一步提高，0.48～0.52 微米斜率为 0.17，0.52～0.54 微米斜率增至 0.205，超过红壤和砖红壤。自 0.54 微米以后曲线就开始趋缓，0.54～0.58 微米斜率降至 0.143，比红壤、砖红壤都低。这是因为褐铁矿的反射峰值在 0.5～0.51 微米，赤铁矿则在 0.554～0.596 微米波段。由此推断，黄壤、

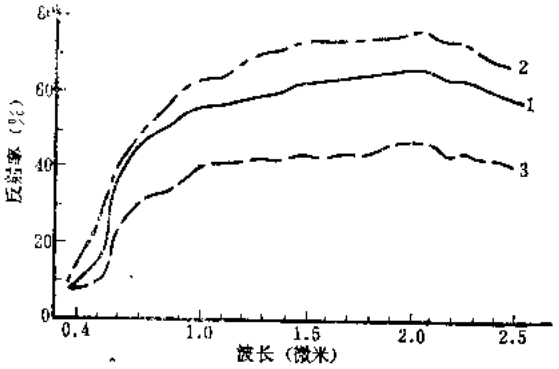


图 3-31　湿热地区三类土壤的波谱曲线

1—江西红壤；2—贵州黄壤；3—广东砖红壤

红壤、砖红壤波谱曲线最大斜率出现波段的分异，标志着土壤中含有不同的特征矿物，前者褐铁矿占优势，后两者则以赤铁矿为主要成分。

(4) 波浪型

干旱荒漠地区土壤（如棕漠土、龟裂性土、风沙土、盐土、绿洲耕作土等）反射波谱曲线为波浪型。一般约在0.6微米之前曲线较陡峻，斜率0.10左右。以后斜率就急骤下降，形成一条与X轴接近平行的似波浪起伏的曲线。其波谷一般较宽，且较浅平。2.3微米之后反射率不仅不下降，反而略有增高，呈翘尾巴态，使此曲线的特征更趋鲜明。形成这种曲线的机理尚待研究。

H.R.Condit曾研究了美国的160个主要土壤类型样品[6]，根据测定的结果分出土壤反射波谱曲线的三种基本类型（图3-32）。第一种类型曲线其反射波谱具有非常平稳、匀速上升的特点，它们的反射率最小，如黑钙土；第二种类型曲线在0.32～0.75微米波段显示出反射率逐渐增加的特点，0.75微米以后曲线几乎趋于与X轴平行；第三种类型的曲线在红光和近红外波段具有急剧上升的特点，如含有碳酸盐的红色砂土。砖红壤类的波谱曲线是第三种类型的变型，它在0.9微米附近有一宽浅的凹弧。可见土壤反射波谱类型具有普遍意义。

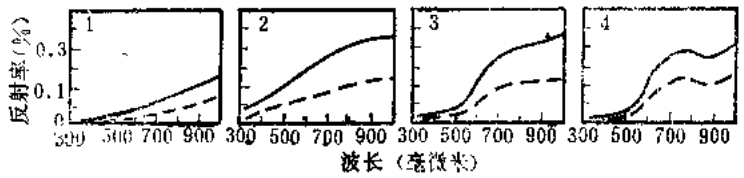


图3-32 美国土壤的反射波谱类型

1—黑钙土；2—水稻土；3—含有碳酸盐的红沙土；4—砖红壤

实线为烘干土的曲线，虚线为湿润土的曲线

二、影响土壤波谱的因素

不同质地的土壤，其波谱反射率是不相同的（图3-33）。粉沙反射波谱曲线整体都高；腐殖土则最低，反射率在0.1左右。反射率与机械组分有关。

基岩上的风化残积物，因颗粒细，反射波谱与基岩相似，只是平移了一段距离。干燥残积土的反射率要比基岩的高；当残积土比较湿润时，其反射率则比湿润基岩的低。可见反射率与含有水分的多寡密切相关（图3-34）。

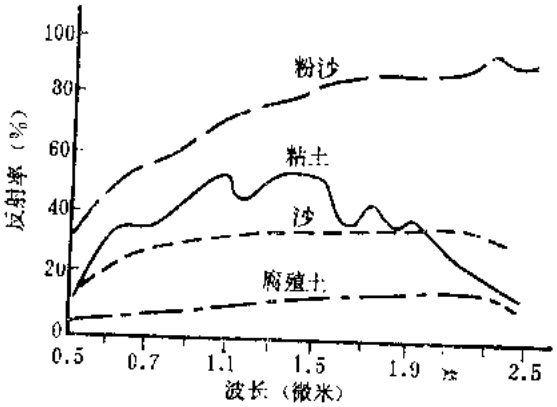


图3-33 印第安州土壤样品波谱曲线

（在相同温度条件下测量反射率）

土壤波谱还受土壤理化参数（盐分类型、含量、碱化度等）的影响。从0.4～1.05微米，波谱曲线在总轮廓上是上升的，盐渍土的反射率要比非盐渍土高得多，并随着盐渍程度的加重，曲线向上平移。在自然界中，有时较重的盐霜比较轻的盐霜含有较多的水分，正是这一原因使得曲

线 E_4 在红和近红外波段内反而低于曲线 E_3（图 3-35）。

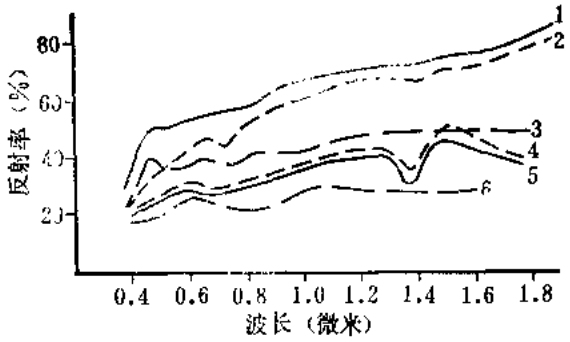


图 3-31 土的反射波谱

1—干风化残积红土；2—干红砂岩；3—冲积干粘土；4—湿红砂岩；5—湿风化残积红土；6—冲积湿粘土

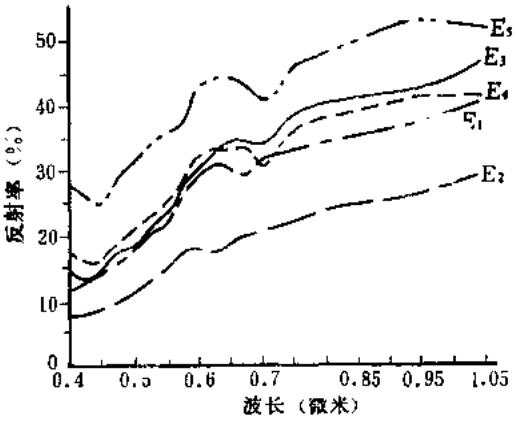


图 3-35 河南封丘盐渍土的野外反射波谱

E_1—非盐渍土；E_2—轻微盐渍土化（地表稍有盐霜）；E_3—轻度盐渍化（地表有较多的盐霜）；E_4—中度盐渍化（地表潮湿，有许多盐霜）；E_5—重度盐渍化（地表有盐结壳）

苏联学者曾研究干旱地带各种类型沙土的反射性能[6]，所有被研究的沙土可分为13个发生学类型（表 3-11），在全部标本的范围内，伊拉克的沙土和阿姆河的萨雷卡克希干三角洲的沙土具有最大反射率，反射率最小的是阿姆河谷地和穆尔加布河谷的沙土。扎温古兹卡拉库姆的沙土中含有石灰岩、石膏和碳酸盐的碎块，由于石灰岩碎块、云母和氧化亚铁的数量增加对反射率有正相关的影响，所以该沙土具有较高的反射率。分析表 3-11 可知，对沙土反射有影响的因素是矿物成分、机械组成、染色物质的含量（水溶性的盐类、碳酸盐、铁的化合物等）、包裹体的存在、被风力塑造的程度、植被的稳定性等。在自然条件下，这些因素的影响是共同被显示出来的，但是对其一般的规律性还是可以进行深入研究的。

他们还研究了地带性土壤的波谱特征的基本规律，图 3-36 所表示的是在可见光波段地带性土壤的反射波谱曲线，从而认为对土壤波谱特征有影响的基本因素是腐殖质、氧化铁、湿度、机械组成、矿物成分、盐分和表土结构。

由此可见，土壤的反射波谱特征有一定规律性，但因对其有影响的基本因素众多，就某一区域的土壤而言，所受的影响程度如何，需要实地测量，不可随意套用。

三、土壤的发射辐射

土壤的发射辐射是由土壤温度状况决定的。而土壤温度与水分的蒸腾数失、风化和化学溶解、微生物活性及有机质的分解速度有关，与种子萌发和植物生长有关。然而影响土壤热特性的最重要因素是土壤水分和土壤空气湿度。土壤变温时，热传导性能增加，但是水分含量继续上升，由于环境改变，热传导性能的增加会逐渐地不明显。土壤剖面的热量传导，以及热量的增加和散失是一个复杂问题．但是遥感测量的主要是土壤表层的温度，当地表潮湿时，表层土温度多多少少由蒸发控制；一旦表层土比地下土层干时，温度将由土壤热惯性确定。热惯性较大的物质与热惯性较小的物质相比，昼夜之间具有较均一的表面温度。粘土与干沙相比较，粘土的热传导系数为 0.86 千卡/米·时·度，重量

表 3-11 各种类型沙土的光谱亮度（用百分比表示）

类型编号	沙土类型	颜色	摄影测量的特征指示	波长（纳米）									
				400	450	500	550	600	650	700	750	800	850
I	阿姆河的萨雷卡马希干三角洲的沙土	暗白，有时为浅暗白黄或灰	$\bar{x}$	18.3	23.9	28.6	32.6	42.9	42.8	44.8	46.9	48.1	50.1
			σ	6.1	6.7	9.0	7.3	7.4	5.8	6.0	6.2	6.7	6.5
II	扎温古兹卡拉库姆的沙土	黄-灰，褐灰，偶为浅灰-黄和浅暗白-黄	$\bar{x}$	12.0	16.1	20.7	27.8	34.4	36.5	38.5	41.1	42.6	43.5
			σ	1.4	1.6	1.4	2.0	3.6	3.5	3.9	3.9	4.1	3.5
III	克孜耳库姆的沙土	淡黄，有时为浅灰-黄	$\bar{x}$	10.3	13.8	17.8	25.4	31.6	34.6	36.9	38.1	39.4	40.4
			σ	1.8	2.0	2.4	1.6	2.1	3.0	2.5	3.2	3.4	3.2
IV	奇尔马梅得库姆的沙土	黄-褐，褐-黄	$\bar{x}$	10.1	13.4	17.0	23.8	29.4	32.0	34.8	36.4	38.1	39.1
			σ	2.0	3.3	3.6	4.0	3.7	3.3	3.9	3.8	3.7	4.1
V	西卡拉库姆的沙土	浅灰-黄	$\bar{x}$	14.0	17.6	21.3	27.6	32.1	32.4	34.0	35.5	35.9	36.0
			σ	3.3	3.6	3.7	3.8	3.4	4.0	4.7	3.6	4.1	3.9
VI	卡拉库姆低地的沙土	浅灰-黄	$\bar{x}$	12.8	16.8	20.2	26.7	32.2	32.8	34.6	35.9	37.5	36.9
			σ	2.9	3.7	4.2	3.5	5.8	5.3	6.4	6.1	5.5	6.7
VII	阿姆河谷地的沙土	灰	$\bar{x}$	12.6	15.6	18.7	24.1	27.4	28.6	29.8	30.4	31.2	31.4
			σ	2.2	2.1	1.8	1.6	0.8	0.9	0.7	1.3	0.8	1.2
VIII	西南土库曼砂质山汇的沙土（盖拉得让和麦舍茨基山汇）	淡黄，浅黄-暗白，有时为黄-灰	$\bar{x}$	11.8	15.8	19.8	26.1	32.1	33.1	35.1	36.7	37.8	38.1
			σ	1.4	1.5	1.3	1.5	1.8	2.4	2.7	2.4	2.5	2.9
IX	帖振河和穆尔加布河的古三角洲及现代三角洲的沙土	淡黄，浅灰-黄	$\bar{x}$	11.3	15.0	18.4	24.3	30.8	31.8	33.3	35.3	36.4	36.8
			σ	1.5	1.8	2.0	2.0	3.0	2.0	2.6	2.3	2.5	2.4
X	巴德贺兹和卡腊比耳山麓平原的沙土	浅褐-黄	$\bar{x}$	11.5	15.4	18.6	25.1	31.1	33.1	35.6	37.0	38.8	38.9
			σ	0.5	1.1	1.4	3.9	3.7	4.6	6.2	5.6	4.9	4.0
XI	普里卡拉博加兹的沙土	浅黄-暗白，淡黄	$\bar{x}$	19.5	23.0	27.1	34.9	39.4	41.4	43.1	43.9	46.0	46.1
			σ	3.3	4.1	5.0	6.0	7.6	7.5	9.3	9.1	9.8	6.8
XII	东南卡拉库姆的沙土	黄，局部淡灰-黄	$\bar{x}$	11.7	15.3	18.1	23.3	26.8	28.3	29.4	31.4	33.0	33.0
			σ	3.0	6.6	6.3	4.6	7.5	6.9	6.8	6.2	6.1	5.4
XIII	古贝希（伊拉克）山汇的沙土	淡暗白-黄，浅红-黄	$\bar{x}$	20.3	24.1	28.8	36.1	42.9	44.8	47.5	49.0	51.4	52.1
			σ	2.6	2.6	2.5	2.5	3.8	3.4	3.5	4.5	4.5	4.8

热容量为0.18千卡/公斤·度，干沙则分别为0.34千卡/米·时·度和0.191千卡/公斤·度，重量热容量差值很小，热传导系数相差1倍多，粘土热惯性比干沙的大，表面温度较均一。在春季，粘土比沙质土温度低；在秋季，粘土较温暖。

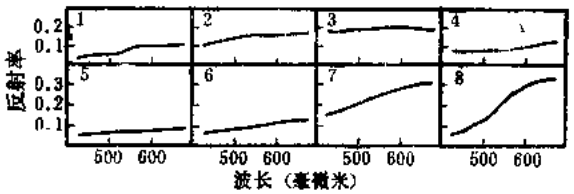


图 3-36 地带性土壤类型的波谱特征

1—泥炭质隐灰化土；2—生草灰化土；3—灰化潜育土；4—灰化森林土；5—普通黑钙土；6—栗钙土；7—灰钙土；8—被侵蚀的红壤

四、土壤的微波特性

决定土壤微波辐射特性的主要因素是土壤的表面结构（粗糙度和粒度）和土壤的电特性（介电常数和导电率）。对土壤而言，影响微波复介电常数的因素主要是水分含量，而不是土壤类型[8]。在微波波

段上，干燥土壤的介电常数约为5，而水却具有特别高的复介电常数，当波长为3厘米时，25°C的水，$\varepsilon' = 63.5 \pm 0.3$，$\varepsilon'' = 29.1 \pm 0.2$。因而当土壤中加入少量的水时，其介电常数性质将大大改变。为了确定这种函数关系，选取长春的潜育草甸土、长沙的红壤、贵阳的黄壤、杭州的水稻土、北京的褐土、陕西蓝田的棕壤和新疆沙雅的沼泽土进行实验。每类土壤配一个水分含量由0～30%的系列，测量结果如图3-37所示，各类土壤的实验数据均近似为一条直线，各直线的斜率如表3-12。实验结果的数学表达式可写为：

$$\varepsilon' = \varepsilon'_0 e^{kx}$$

式中：ε'_0——不含水分时（即干燥状态下）土壤的复介电常数的实部；

x——土壤中水分含量（重量%）；

k——常数，即实验所得出的直线斜率。

对所求得的7条直线的斜率按最小二乘法求其最佳平均值 $\bar{k}$ 为0.0667。若将此值推广到各类土壤，则土壤水分和其微波复介电常数实部之间的函数关系就为：$\varepsilon' = \varepsilon'_0 e^{0.0667x}$。利用0.0667这一平均斜率计算上述7类土壤的实部，其相对误差均在10%以下。

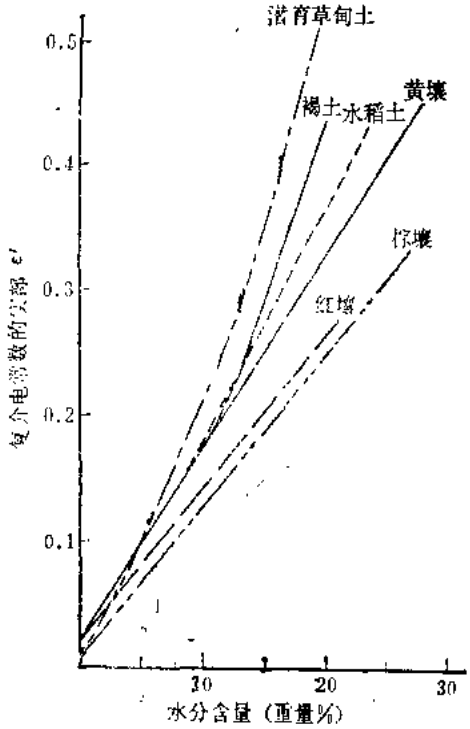


图3-37 各类土壤的水分含量和复介电常数的实部的关系

土壤水分含量对复介电常数的虚部的影响比较复杂。实验得出的结果，有的（如潜育草甸土、褐土、水稻土）为双曲线关系，有的（如棕壤、红壤、黄壤）为直线关系，目前还难以用统一的数学表达式加以描述。但它们都随着土壤类型而异。土壤的微波复介电常数与水分含量之间的这种函数关系，正是微波辐射计监测土壤水分的理论依据。

表3-12 几类土壤的 ε'_0 与 $\bar{k}$ 值

土壤名称	ε'_0	$\bar{k}$	按 $\bar{k}$ 计的相对误差(%)
棕　壤	3.43	0.0660	1.05
黄　壤	4.42	0.0624	7.01
红　壤	4.73	0.0647	3.20
水稻土	4.88	0.0661	1.05
沼泽土	4.96	0.0641	3.94
褐　土	5.34	0.0737	9.38
潜育草甸土	6.26	0.0713	6.45

第六节　城市地物的波谱特征

随着国民经济的发展，要求加快城市的发展规划、能源开发、生态环境评价等方面的研究步伐，为此开展了城市地物波谱特征的研究，以便分析解译遥感图像。水体和植被的波谱特征前已论及，这里仅讨论建筑物、道路和城市垃圾的波谱特征。

一、城市地物的反射波谱特征[10]

由于遥感图像反映的是一个俯视的平面图，因此在遥感图像上见到的建筑物只是它

的屋顶。图 3-38 所示的建筑物屋顶的波谱特性是因建筑材料不同而有差异的。灰白色的石棉瓦反射率最高。沥青沙石房顶由于表面铺着土黄色沙石，该色调决定了其反射率高于灰色的水泥平顶。铁皮屋顶表面呈灰黑色，反射率低且平坦。绿色塑料顶棚的波谱曲线在绿波段有一反射峰，这与植被的相似，但是它没有植被 0.68 微米的吸吸峰和近红外波段的“陡坎效应”。依此区别于植被。

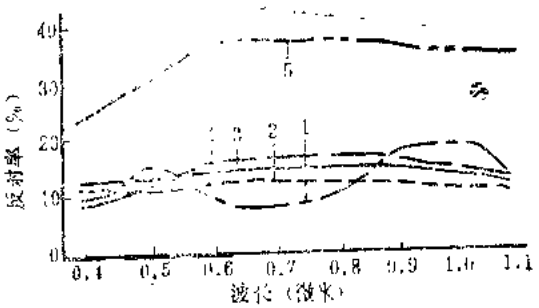


图 3-38 建筑物屋顶的波谱特征

1—塑料顶棚，2—铁质屋顶，3—水泥平顶；4—沥青沙石屋顶，5—石棉瓦顶

道路因所用建筑材料不同，可分为水泥路、沥青路、土路等，波谱曲线形状大体相似(图 3-39)。0.4～0.6 微米段缓慢上升，0.6 微米之后转向平缓变化。水泥路呈灰白色，反射率最高，依次为土路、沥青路。

城市垃圾分为工业垃圾和生活垃圾。工业垃圾常指工业固体废弃物而言，如钢渣、矾土渣、煤矸石、粉煤灰等。如图 3-40 所示，工业垃圾波谱曲线比较平坦，而生活垃圾由于成分较杂，曲线不规则。在工业垃圾中，冶金工业的冶炼渣(如钢渣、炉渣)反射率较低，而采煤业的煤矸石、粉煤灰反射率较高，根据波谱曲线可大致判别工业类别。

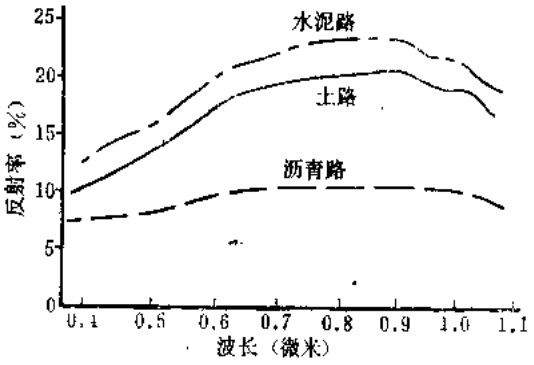


图 3-39 各种道路的波谱特征

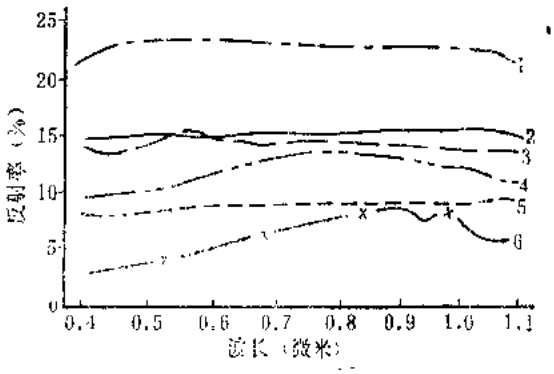


图 3-40 城市垃圾的波谱特征

1—粉煤灰，2—矾土渣，3—煤矸石；4—钢渣，5—炉渣，6—生活垃圾

此外，以能源、原料生产为主的重工业城市，长年累月处于典型煤烟型污染的大气环境下，造成各功能区建筑物（相同建筑材料的屋顶）波谱反射率的差别，反映出城市建筑物受大气粉尘污染的状况，这是城市遥感图像解译时要注意的。

二、建筑材料的热红外和微波特征

人工建筑物的红外发射特征取决于建筑材料的热特性（表 3-13）。当物体接受太阳、天空辐射或地下热流补给时温度上升，温度上升的速度则与物体的热惯性有关。一般以温度传导系数 α 标志物体的热惯性特征。

$$\alpha = \frac{\lambda}{cv} \times 100(\text{米}^2/\text{时})$$

式中：ρ——物体的密度（公斤/米^3）；c——物体的比热（千卡/公斤·度）；

λ——物体的热传导系数（千卡/米·时·度）。

表 3-13　常温下(20°C)建材物质的热特性和发射率

建材名称	密度(ν)	热传导系数(λ)	比热(c)	温度传导系数(α)	发射率(ε)(4微米)
钢	7900	39.0	0.11	45.0	0.6～0.9
铸　铁	7220	54.0	0.12	62.3	0.21
沥　青	2110	0.64	0.50	0.6	0.93(路面)
混凝土	2300	1.10	0.27	1.77	0.91(路面)
矿渣混凝土	2150	0.80	0.21	1.77	
干　沙	1500	0.28	0.19	0.98	0.90
干　土	1500	0.119	0.44	0.18	0.83(土路)
水　泥	1900	0.26	0.27	0.51	
水	998.2	0.515	0.999	0.516	0.96
木　材	800	0.178	0.42	0.53	0.98

沥青路面和混凝土路面，因温度传导系数小，白天增温慢；而晚上其发射辐射强，温度比周围地物高，所以在黎明前的热红外图像上，城市道路为白色网络。铁路线条平直，转弯圆滑，因金属的温度传导系数大，易增温也易散热，自身辐射红外线的能力和辐射能量远较其它物质低，凌晨时辐射温度比周围的低。其它建筑物的热特性可由此推定。

决定建筑物微波特征的主要因素是表面结构。城镇建筑物高低参差不齐，表面极端粗糙，雷达回波反射较强；城里高建筑群的侧面集中反射雷达波，可出现“闪烁”的亮点。城市主要街道的路面平滑，以镜面方式反射雷达波，后向反射几乎等于零。

在微波波段中，人体、钢铁、水泥等有较大差异的发射率，易于识别。对于波长 3 厘米的微波束来说，各种目标的发射率 ε 分别为：

水　0.00，　皮肤　0.45，　水泥　0.45

干沙 0.86，　沥青　0.90，　钢铁　0.98

因此，常温下微波黑白影像上的灰度由暗色调到浅色调的顺序是，水→人体→水泥→干沙→沥青→钢铁。在微波像片上可以醒目地看到河水是黑色的，桥是白色的亮线条。

参　考　文　献

[1] 马蔼乃，遥感概论，科学出版社，1984 年。

[2] 华仁葵，水体悬浮泥沙浓度的遥感定量分析，长春遥感试验论文集，吉林人民出版社，1981 年。

[3] 菅原由纪夫，海水の分光反射特性と水质の关系にフムマ，写真测量とリモートセンジンク 20(4)：14—22。

[4] 户苅义次主编（薛德榕译），作物的光合作用与物质生产，科学出版社，1979 年。

[5] 张玉贵，华北主要树种的光谱差异及其物候变化，遥感文选，科学出版社，1981 年。

[6] Н.Г.哈林著（王绍庆、孙世洲译），植物研究的遥感方法，科学出版社，1980 年。

[7] 邹尚辉编著，遥感图像专题制图，华中师范大学出版社，1990 年。

[8] 肖金凯，试验区岩石土壤的微波介电性质研究，长春遥感试验论文集，吉林人民出版社，1981 年。

[9] 戴昌达，中国主要土壤光谱反射特性分类及数据处理的初步研究，遥感文选，科学出版社，1981 年。

[10] 包佩丽等，唐山市城市地物波谱和大气环境，遥感基础试验与应用，中国科学技术出版社，1991年。

第二篇　遥感图像

第四章　遥感图像的种类与解译标志

遥感图像是地面物体反射或发射电磁波特征的记录，是地面景象真实的、瞬时的写照。由于它们成像时采用的传感器不同、工作的电磁波波段不同、遥感平台不同、应用目的不同，所以遥感图像可按不同原则进行分类。成像机理决定遥感图像的性质和应用。本章主要阐述常见的航空像片、陆地卫星图像、SPOT 图像以及雷达图像的特性及其目视解译标志。

通常将摄影成的像称为像片，红外、微波所成的像为影像。由于近年来可见光波段也常常采用扫描成像，所以在影像的概念中还包含了像片。雷达和全息图像在未经再现时，只有相干的条纹、环纹，看不到实体的像，它和非成像遥感所获得的各种曲线都可以看作是图像。图像的概念更广。由遥感技术成像的影像、像片和非成像的曲线统称为遥感图像。

第一节　遥感图像的种类

遥感图像的成像部分是目视解译的主要对象。由于遥感图像的成像机理不同，形成了多种遥感图像，它可以从不同角度出发，按照不同的原则和标准分类。

一、按遥感平台高度和类型分类

从多层次的遥感平台和类型来看，不同的遥感平台，其高度、运行速度、观察范围、图像分辨率等都不相同，它构成了对地面有层次的一个立体观测系统(表 4-1)。一般说来，遥感平台越高，视场越大，地面覆盖越宽，图像分辨率则越低，如气象卫星图像；反之，地面覆盖越窄，图像分辨率就越高，如航空像片。若遥感平台高度相似，地面覆盖面积和图像分辨率则由所采用的传感器的视场范围来定。如美国“哥伦比亚”航天飞机飞行高度约 245 公里，当采用西德的 RMK 航空摄影机时，每 23 厘米× 23 厘米的像片，覆盖面积为 189 公里×189 公里；当采用成像雷达 (SIR-A) 时，扫描角度 43°，扫描宽度仅 50 公里。航空遥感图像与航天遥感图像相比，地面覆盖面积小，图像分辨率高。

二、按传感器的工作波段分类

遥感利用的电磁波波谱范围主要是紫外至微波。从传感器选用成像地物的电磁波波谱特性而言，可分为紫外～可见光、可见光～近红外、红外、微波以及紫外～热红外的

表 4-1　多层次遥感平台上常见的遥感图像

	遥感平台		高度(公里)	图像分辨率(米)	常见的遥感图像	应用目的
航天遥感	宇宙飞船		250～900			宇宙探测
	轨道卫星	气象卫星	3600 800～1 600	1 000～4 000	NOAA Nimbus SMS 图像	地球观测、天气分析，降水径流估算雪被及全球性研究
		陆地卫星	200～1 000	10～80	RBV，MSS，TM SPOT 等图像	地球观测、地质构造、资源清查、环境监测等
		海洋卫星	700～1 000	25～10 000	Seasat-1 图像	海温、海流、海水、海水污染等
	航天飞机		250	20～40	微波雷达图像	资源与环境调查、侦察
	探测火箭	资源火箭	200～280	100～150		资源与环境调查、侦察
		气象火箭	20～80			气象、环境调查
航空遥感	气　球	飘浮气球	20～50	10～15		资源与环境调查、侦察
		系留气球	1～20	1～10		资源与环境调查、侦察
	航空飞机	高空飞机	10～20	1～4(1)		资源与环境调查、航测
		中空飞机	5～8	0.5～1(1)	航空全色像片，彩色红外图像，多波段扫描图像，热红外扫描图像，X波段雷达图像	资源与环境调查、航测
		低空飞机	0.5～4	0.1～0.5(1)		资源与环境调查、航测
近地面遥感	高　塔		0.03～0.5			定点观测、波谱测试、机制分析
	遥感车		0.01～0.03			波谱测试、机制分析、仪器标定、胶片检验
	近地面观测		0.001 5			实况调查、胶片检验、波谱测试

注：(1) 最高分辨率。

多波段等工作波段（表 4-2）。以紫外～近红外波段（0.38～1.3 微米）为工作波段的传感器，由于它所接收到的能量主要来自太阳辐射和地面物体的反射辐射，所以获得的是地面物体反射特性的图像；以红外波段工作的传感器，它所接收到的能量主要来自地面物体的热辐射，因而得到反映地球表面物体温度场变化的图像；用微波 0.1～100 厘米

表 4-2　按工作波段分的常见的遥感图像

传感器工作波段	常见的遥感图像
可见光(0.38～0.74微米)	全色像片
可见光～近红外(0.38～1.3微米)	彩色红外航空像片，多波段航空扫描影像，RBV，MSS，SPOT等卫星图像
热红外(8～14微米)	热红外航空扫描影像
微波(0.1～100厘米)	机载合成孔径侧视雷达图像
多波段(0.38～14微米)	TM，NOAA 等图像

波段工作的传感器，它所接收到的能量主要取决于地球表面地形的后向散射强度，所以取得的是由相干条纹、环纹处理再现的图像。通常应用的摄影波段仅包括可见光和近红外波段，而整个遥感利用的电磁波波谱范围均可作为扫描成像的工作波段，只不过工作方式有主动和被动之分而已。

随着遥感技术的发展，遥感图像的种类也日渐增多。由于各应用领域的研究对象及其变化规律是不同的，所以在选用遥感图像时，各应用领域要结合自己的特点和要求，才能取得比较好的效果。

第二节　摄影像片和扫描影像的几何性质

按遥感图像成像方式可分为摄影成像和扫描成像两种。这两种遥感图像的几何性质是不同的，在遥感图像目视解译过程中必须注意。

一、摄影像片的几何性质

在30～40年代，我国已引进了航空摄影技术。随着全色航空摄影测量、航空像片的解译应用、航空遥感仪器的研制与应用实验，航空摄影已建立起完整的理论体系、数学模型和几何光学原理，建立了完整的光学机械制图系统，并具有严格的规范精度指标。它已发展成为测绘行业的主力，在很大程度上已成为地形测图的常规作业系统。在常见的遥感图像中，全色像片和彩色红外像片就是目前航空摄影获取的图像。

像片是地面的中心投影，即反射光线通过固定点（摄影机物镜中心）投射到投影面上成的像。地面上的点在像片上的投影（中心投影）位置由于地面起伏和像片倾斜的影响会发生位移，这叫像点位移。像点位移的影响使同一物体在相邻像片上的影像不相同，也不相似。像点位移的规律是以像主点（摄影机主光轴所对应的地面点的构像，也就是航空像片框标连线的交点）为中心，呈辐射状，越往边缘变形越大；地形起伏越大，变形越大。正地形（$h>0$）像点往外移；负地形（$h<0$）像点向内移。像点位移量为 $d=\frac{r\cdot h}{H}$，式中 r 为主距（距像主点的距离），h 为物体高度与地形的高差，H 为摄影机到地面的高度（近似于遥感平台高度）。H 越大，则 d 越小。陆地卫星 RBV 图像也是摄影成像的，由于遥感平台高度很大，因此像点位移甚小，在一般情况下可以忽略不计，作为正射投影图像看待。

同幅航空像片上各部分的比例尺（地面上两点间的距离与像片上对应两点间距离之比，即摄影机焦距 f 与航高 H 之比）是不一致的。通常说的像片比例尺只是个概略值，是像主点附近的比例尺。

航空像片的空间分辨率与其像片分辨率（包括镜头分辨率与胶片分辨率）及比例尺有关。对一个摄影机而言，像片分辨率是固定的，空间分辨率仅与比例尺（f/H）相关。由于航空像片的比例尺变化幅度大，因而它的分辨率（像片上能被分辨出的地面上两个目标的最小间隔）变化大，从几十厘米到几米。

航空像片航向（纵向）重叠率为60%，旁向（横向）重叠率为20～30%。像片重叠意味着在相隔一定距离的不同位置上拍摄同一目标（存在视差）构成立体像对，具有立体

观测能力。航空摄影机广角镜头摄制的像幅为23厘米×23厘米；普通角镜头摄制的像幅为18厘米×18厘米。每像幅覆盖的地面面积由飞行高度来定，飞行高度越大则其覆盖的地面面积越大。

陆地卫星1和2号上的RBV图像成像系统，是由3台同类型的高分辨率摄像仪组成的，它们的工作波段分别为0.475～0.575，0.58～0.68和0.69～0.83微米，空间分辨率为80米。由于发生技术故障，RBV仅获得很少的资料。陆地卫星3号的RBV图像成像系统采用2台高分辨率摄像仪，提供空间分辨率40米的全色（黑白）像片。陆地卫星4和5号未用RBV。RBV图像地面刈幅为185公里×185公里。图像航向重叠是图像沿卫星运动方向发生的影像重叠，它在设计时就规定为常数，占总面积的10%，即相邻上下两张图像重叠18.5公里。旁向重叠是相邻轨道之间图像的影像重叠，它完全是由卫星运行轨道所决定的。在赤道附近，每过一天，卫星轨道在地面的投影线向西移动1.43°（经度），即159公里的距离（图4-1），而图幅的宽度为185公里，所以造成了26公里的旁向重叠，重叠部分的面积占整个像片总面积的14%。由于地球是一个球体，并且卫星轨道面与地轴又成很小的夹角，所以越向高纬度，旁向重叠的比例越大（表4-3）。

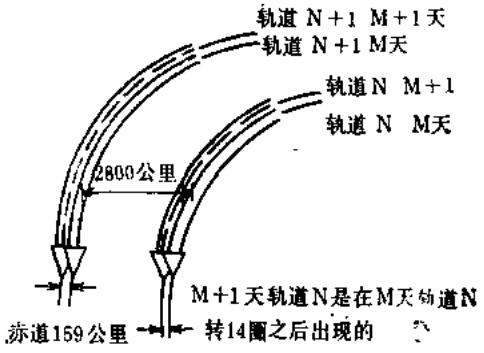


图4-1 陆地卫星图像的地面覆盖和旁向重叠示意图

表4-3 纬度与旁向重叠面积变化表

纬度(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
旁向重叠率(%)	14.0	15.4	19.1	25.6	34.1	44.8	57.0	70.6	85.0	100

二、扫描影像的几何性质

扫描影像是由光学机械在扫描（光机扫描）过程中成像的。光机扫描成像过程是由一行行扫描连成片的，影像不分幅，获得的图像是连续的狭窄长条。每条扫描线都是一个投影中心，因此就形成了多中心投影的影像，这样的影像比摄影成像的像片要复杂，必须对一条条扫描线来研究，并把每条扫描线都当成中心投影。

对于地面平坦的地区，扫描影像的比例尺在飞行方向与扫描方向上是各不相同的。飞行方向的比例尺为$\frac{1}{m_f}$，扫描方向比例尺为$\frac{1}{m_t}$，则

$$\begin{cases} \dfrac{1}{m_f} = \dfrac{R}{2H} \\ \dfrac{1}{m_t} = \dfrac{R}{2H}\cos^2\varphi \end{cases}$$

式中：H——航高；

R——扫描显微镜的半径，一定的仪器$\frac{R}{2}$为常数；

φ——扫描角。当 $\varphi = 0°$ 时，$\cos\varphi = 1$，即在投影中心的地面点 $\frac{1}{m_f} = \frac{1}{m_s}$ 而在其它位置上的比例尺，则随扫描角 φ 的增大而从扫描中心向两边逐渐缩小。地形的起伏（h 为地形相对高差）也影响着比例尺，因此，实际比例尺应写成：

$$\frac{R}{2(H+h)} \leqslant \frac{1}{m_f} \leqslant \frac{R}{2(H-h)}$$

$$\frac{R}{2(H+h)}\cos^2\varphi \leqslant \frac{1}{m_s} \leqslant \frac{R}{2(H-h)}\cos^2\varphi$$

由于扫描显微镜是以半径 R 对胶片扫描的，所以胶片呈弧形安置而不是压平的。在一条扫描线上因地形起伏也会产生像点位移。像点位移（$\delta s = \frac{Rh}{2H}\sin 2\varphi$）正比于飞行比例尺；航高越大，位移量越小；地形高差越大，位移量越大；扫描角越大，即离投影中心越远，位移量越大。

此外，高空风、飞机姿态、仪器运转状况、速高比等都可以使扫描影像产生几何变形（图 4-2），扫描影像只能用于对目标的解译。

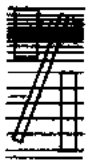
飞机的运动形式	扫描形式	记录的图形	鉴　别
横　滚	 扫描线横向位移	 使影像横向位移	直线（道路）呈现波浪形影像位移，与飞机横滚同步
俯　仰	 扫描线间隔不均匀	 使影像压缩和伸长	使目标影像压缩和伸长，比横滚发生的要少
偏　航	 扫描线歪斜	 使影像边沿弯扭和位移	使目标影像在横向压缩和伸长，并有扭形变形，影像边沿还有歪扭
偏　流	 扫描线均匀位移	 使影像均匀位移	使长方形变为平行四边形，变形角大致等于偏流角，一般偏流角不大于10°这种变形很少

图 1-2　由飞机运动姿态引起的扫描影像变形

红外线是不可见的热辐射，只能采用光机扫描成像。而今光机扫描成像不仅在3～5微米、8～14微米的红外波段内使用，而且已扩展到摄像成像的波段成像。不同波段的成像只是使用的探测元件不同而已。

陆地卫星1，2，3号的MSS（多波段扫描仪）图像就属于一种光机扫描成像，卫星扫描镜每摆动一次有6条扫描线同时扫过地面，6条扫描线的地面覆盖，东西方向为185公里，前进方向为474米（自西向东扫描，回扫时关闭电路）。如果要扫描出一幅185×185公里的MSS图像，则需要进行390次有效扫描，所以它有390个中心。图像以卫星地面轨迹为中心，在中心连线上没有投影变形，由连线向两侧投影变形逐渐增大。但由于卫星轨道极高，而图像的视场角只有11.56°，所以变形很小，可视作正射投影。在中小比例尺制图作业中，一般都可以把卫星图像作为正射投影图像直接和地形图对照比较。

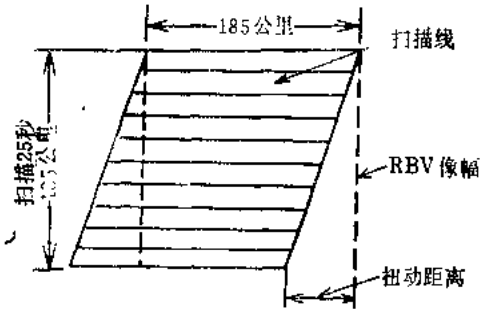


图4-3　像框扭动的形成

图像的像框扭动变形是航天扫描图像所特有的。因为扫描一幅图像需要25秒，这时由于地球自西向东旋转，扫描线逐次向西平移，使像幅顶部与底部对应的扫描线在东西方向上错开了一段距离（图4-3，表4-4）。

表4-4　纬度与像框扭动距离的关系

纬　度(°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
像框扭动距离(米)	0	60	130	190	240	290	330	360	380

常用的MSS图像是MSS粗加工的产品，它已对辐射误差以及对地球自转、曲率、卫星高度、速度、姿态变化，传感器内部性能——扫描镜速度变化、全景畸变等系统几何误差进行了校正。但是，粗加工处理后的MSS图像残存误差仍不小（MSS胶片残存误差为743米）。这是因为所提供的卫星参数（姿态参数和轨道位置等），不能以足够的精度来确定每个像元的地理位置，即定位精度不够。为了将所获得的数据投影到理想的空间平面上，还需要借助于一组地面控制点来进行几何纠正。

TM（专题制图仪）是一种改进型的多波段扫描仪。其空间、光谱、辐射性能比MSS均有明显提高，使数据质量与信息量大大增加。TM有7个较窄的、更适宜的波段（MSS有4个波段）。TM图像的光谱分辨率高，频道增加，波带变窄，针对性较强，因而可以根据不同应用目的，进行多种组合处理和专题提取，扩大了它在生物学、地质学等方面的应用。它的空间分辨率在可见光、近红外、中红外波段为30米，在热红外波段为120米。

由于TM的扫描镜可在往返两个方向进行扫描和获取数据，降低了扫描速率，缩短了停顿时间，提高了辐射测量精度，所以TM的辐射分辨率从MSS的64、128个量级提高到了256个量级。此外，TM改进了姿态控制系统，将探测器直接处于焦平面上，改善了平台稳定性和系统的光学效率，从而使TM图像的平面位置几何精度更高，更有利于图像配准与制图。

SPOT（地球观察卫星）图像有两种，即全色波段（0.51～0.73微米）图像和多波

段（0.50～0.59，0.61～0.68，0.79～0.89微米三个波段）图像，前者地面分辨率为10米，后者是20米。它们是由两台相同的可见光高分辨率传感器（HRV）采用“推扫式”(Push-broom）扫描成像的，其基本探测元件为新型的CCD（Charge Couple Device——电荷耦合器件）。其原理是在光学系统焦面上，垂直于轨道方向放置一条CCD的线性阵列，构成地面上一列图像，卫星沿着垂直于该图像的轨道方向往前运行，使该图像向前逐步推进，从而扫过整个地面，地面扫描宽度117公里（每台60公里，两台间重叠3公里）。简言之，SPOT图像是由推扫式逐行扫描成像的，而MSS和TM图像则是沿线逐点扫描成像。由于HRV机械部件大大简化，保证了图像的几何质量，而且传感器的灵敏度极高，在良好光照条件下，可以探测低于0.5%的地面反射变化。

传感器的主反射镜可以旁向倾斜±27°，并且以0.6°的间隔分档倾斜。在不同轨道上，调整主反射镜的倾斜位置，就可以对同一地区进行摄影，从而获得立体图像。在卫星覆盖周期26天内，中纬度地区可以观测12次，赤道约7次，纬度70°处则可达28次（图4-4）。这对在相对较短时间内探测局部现象的发展变化尤其有用。同时也提高了图像有效覆盖率。SPOT图像刈幅宽在天底点是60公里，离天底点是80公里。

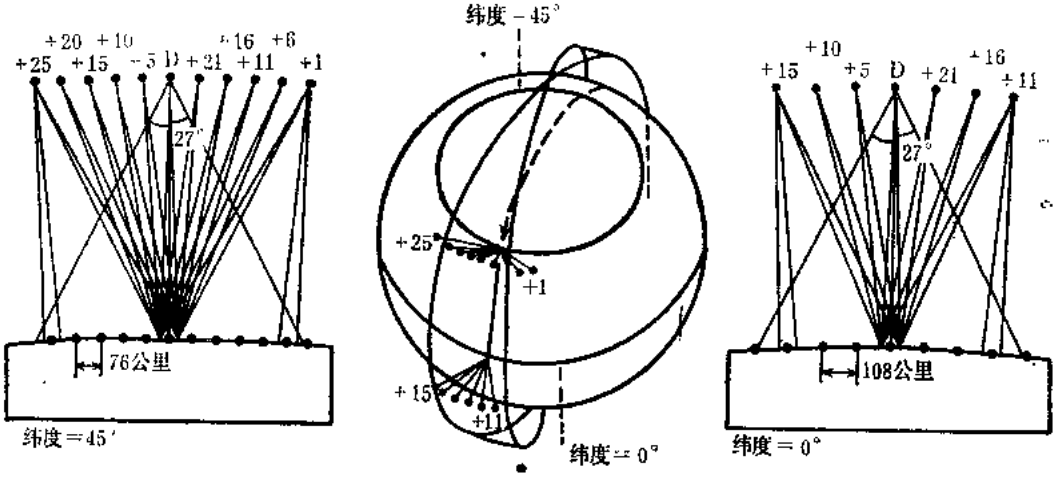


图4-4 SPOT卫星在赤道和纬度45°处重复成像

由于SPOT卫星平台考虑了地球自转效应，将平台设计成可以绕航偏轴旋转，因此使图像呈正方形或矩形。卫星姿态定位精度为0.05°，位移为6×10^{-4}度/秒，从而提高了传感器的姿态稳定性，保证了高精度几何图像的获取。因此，SPOT图像能满足资源调查、环境管理与监测、农作物估产、地质与矿产勘探、土地利用、测制地图及地图更新等多方面的需求。

NOAA6～10号与TIROS-N气象卫星图像都是由旋转平面镜式光机扫描仪(AVHRR）成像的。探测器扫描角度为±55.4°，扫描带宽约2 800公里，它有5个光谱通道，其中可见光波段为0.58～0.68微米（NOAA6以前为0.55～0.9微米），近红外波段为0.725～1.1微米，热红外波段分别为3.55～3.93微米、10.5～11.5微米和11.5～12.5微米。空间分辨率1.1公里，部分地区为4公里。静止气象卫星（地球同步轨道）具有高度重复周期（半小时/次），部分地区由于轨道重叠，甚至可以5分钟观测一次；极地轨道气象卫星（近极地太阳同步轨道）NOAA等具有中等重复周期，约0.5～1天/次。

气象卫星时间分辨率高，有助于捕捉地面快速动态变化信息，有利于高密度动态遥感研究，如森林火灾监测等，同时也大大增强了获取无云影像的可能性。一幅 512×512 像元的气象卫星图像，覆盖 563 公里×563 公里（空间分辨率 1.1 公里）的区域，成像面积很大，有利于获得宏观同步信息，不仅能获得云图等气象资料，而且可以直接或间接地反映大气圈、水圈、岩石圈表面的各种自然要素的动态变化。

以上所述的各种扫描影像，均属被动式遥感多波段扫描仪成像。合成孔径侧视雷达图像，虽然也是扫描影像，但它是主动式遥感，由微波天线扫描成像。SAR-A 图像就是以 21 厘米为工作波长（L 波段）、极化方式为 HH（即水平发射、水平接收）、空间分辨率达 25 米、扫描宽度 100 公里的扫描影像。图像效果很好，可以测定海面波浪的波长、波向、表面风速和大规模海洋地形与海洋动力学方面的资料，监测海岸带和海冰等相对静止目标，确定海面结构、船舶方位及航向、航速等。然而，高空机载侧视雷达图像所固有的几种几何特征对解译有很大的影响，其中最重要的是雷达阴影、雷达图像收缩、雷达回波超前和雷达视差与立体观察[1]。

(1) 雷达阴影

决定一个地物特征是否产生雷达阴影的参数是俯角(β)和背着雷达波束的地形坡度(α_b)，即后坡。如图 4-5 所示，β 和 α_b 的关系存在着三种情况，即：①$\alpha_b<\beta$，整个后坡完全被辐照，不产生阴影；②$\alpha_b=\beta$，后坡刚好被雷达波束辐照或雷达波束刚好掠过；③$\alpha_b>\beta$，后坡被掩蔽了，由于没有雷达回波，产生了阴影。阴影往往出现在俯角角度小的较远距离处。斜距（S_S）内的雷达阴影的长度就与基准面以上的地物高度（h）和从飞机到雷达阴影（S_R）最远端的总斜距直接有关，并与飞机高度（H）成反比。具体关系式为：

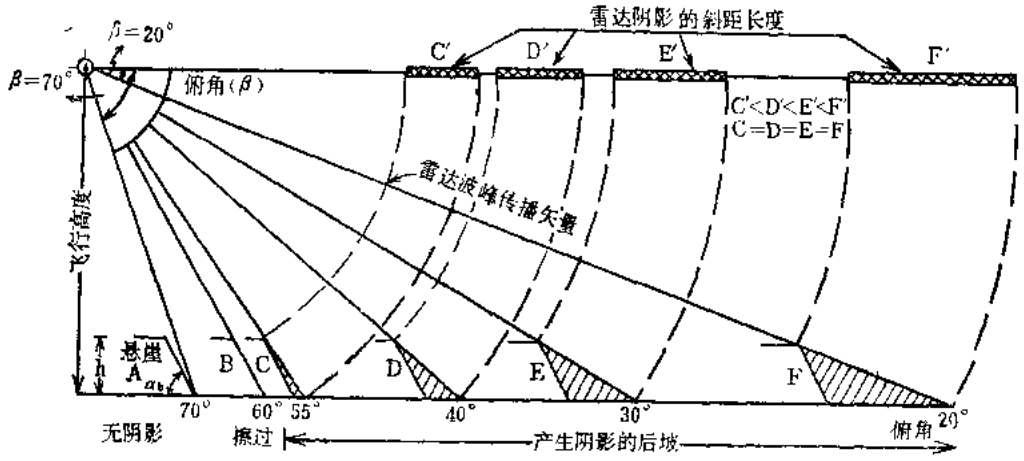


图 4-5　产生雷达阴影的几何条件(斜面距离长度)与俯角(β)的关系

$$S_S=\frac{hS_R}{H}$$

若用 β 角表示的话，关系式可写成

$$S_S=\frac{h}{\sin\beta}\quad 或\quad S_S=h\csc\beta$$

只有当山脊的走向与雷达波阵面（和航线平行）垂直时，上面定义的产生雷达阴影

的必要条件（$\alpha_b > \beta$）才有效。当航线和山脊走向之间的夹角 θ 增大时，俯角为定值，产生阴影的 α_b 变大。正如图 4-6 所表明的，如果俯角（β）以及航线与山脊走向之间的夹角为 40°，产生阴影的真实后坡就必须大于 47.5。

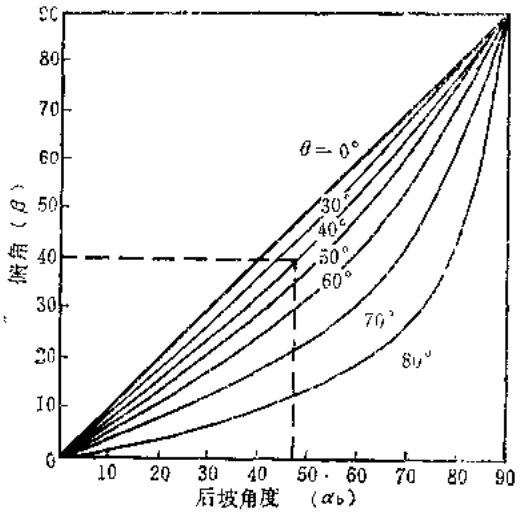


图 4-6 航线与山脊走向之间的夹角 θ 与产生阴影的地形后坡角量 α_b 之间的关系

（2）雷达图像收缩

除了入射角（ϕ）为 90° 时，地形坡面长度（L）与雷达图像上测量的坡长（L_P）相等外，其它所有情况下雷达图像上的坡长均变短，称之为雷达图像收缩。图 4-7 说明，根据雷达图像测量的坡长 L_P 是入射角 ϕ 的

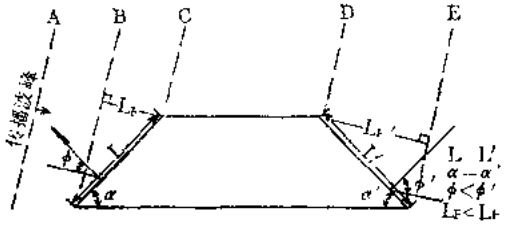


图 4-7 雷达图像上测量的坡长（L_P）与入射角（Φ）的关系

函数，而入射角又是俯角（β）和地形坡度（α）的函数，可用下式表达：

$$L_P = L \sin \phi$$

雷达图像收缩的百分比（F_p）也是入射角 ϕ 的函数，即

$$F_p = (1 - \sin \phi) \times 100$$

表 4-5 说明了这种关系。

由此可见，只有垂向入射时图像上才能显示出正确的地面坡长，所有面对雷达波束的斜坡（前坡）的长度都比它们实际长度相对缩小了，离雷达越近，缩小得越多。表 4-6 说明了一个坡度均为 15° 的地区，其坡长和坡角相同的前、后坡，在雷达图像上显示的长度是不一样的。当接近掠射入射时，因在较大面积上由雷达所辐照的能量分布较少，使斜坡上回波能量受到损失。在掠射角小于 5° 时，一般可以看到由这些因素造成的回波能量的严重“漂离”。

表 4-5 雷达图像收缩百分比（F_p）随入射角（ϕ）的变化关系

入射角(°)	雷达图像收缩的百分比(%)	入射角(°)	雷达图像收缩的百分比(%)
90	0.0	40	35.7
80	1.5	30	50.0
70	6.0	20	65.8
60	13.4	10	82.6
50	23.4	0	100.0

表 4-6 不同俯角时前、后坡在雷达图像上的坡长

俯角(°)	雷达图像上的坡长		坡长比=后坡/前坡
	前 坡	后 坡	
75	0	0.50	∞
65	0.17	0.64	3.76
55	0.34	0.77	2.26
45	0.50	0.87	1.74
35	0.64	0.94	1.47
25	0.77	0.98	1.28
15	0.87	1.00	1.15

(3) 雷达回波超前

由于雷达测量的是到一个目标的距离，所以它在图像上的位置直接是飞机到目标距离的函数。在物体顶部比底部离飞机近时，顶部的回波就超前被记录下来，形成了雷达回波超前的现象。

雷达回波超前不取决于飞机到地物目标的绝对距离，而决定于地物顶部和底部之间的斜距差（图 4-8）。它与俯角以及地形或物体的坡度有关。如图 1-8 所示，雷达回波超前是近距离的发生在前坡的一种现象，并且那里的坡度很陡。

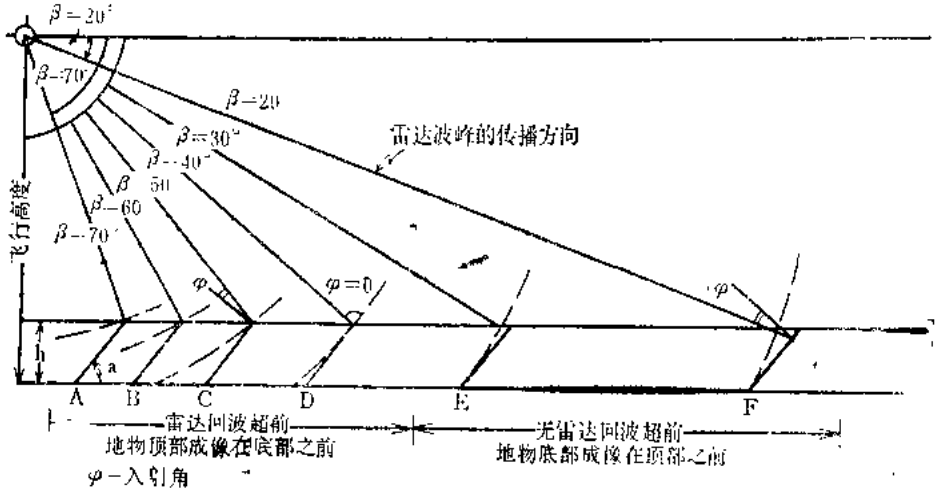


图 4-8 雷达回波超前与俯角 (β) 的关系

雷达波束与前坡表面垂直时，入射角 φ 为零，这对确定产生雷达回波超前的条件很重要，因为只有当入射角为负值时才出现雷达回波超前现象。产生雷达回波超前的条件，按俯角 (β) 和地形坡度 (α) 列成了表 4-7，如果地形坡度大于表中所列出的值，那么入射角 φ 就是负值，并产生回波超前。

表 4-7 产生雷达回波超前的必要条件

地形坡度(α)	俯角(β)	入射角(φ)
>80°	10°远距离	负
>70°	20°	负
>60°	30°	负
>50°	40°	负
>40°	50°	负
>30°	60°	负
>20°	70°	负
>10°	80°近距离	负

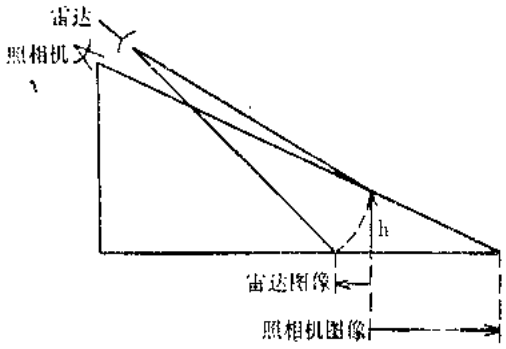


图 4-9 地形起伏位移

雷达回波超前现象有碍图像上前坡的解译，这是山区近距离显示存在的一个严重问题。

(4) 雷达视差

雷达地形起伏位移是侧视成像雷达系统的一个固有的特性，如果物体高于基准面，它就朝着天底点，因此这种地形起伏位移就跟光学摄影系统位移的方向相反（图 4-9）。

雷达波束辐照前坡，会产生图像收缩或回波超前，而辐照后坡可以接近于真实长度，但也可能产生图像收缩或阴影。对从一个地物两侧得到的雷达图像进行立体观察，其效果与清晨和傍晚分别拍摄的两幅航空像片的使用效果差不多。对地学工作者来说，同一侧立体覆盖的像对，要比相对两侧立体覆盖得到的立体像对理想得多。

第三节　卫星图像的符号及注记

以 MSS 图像为例来介绍卫星图像的符号和注记（图版 V）。

(1) 像幅四角的“+”号，为像幅的重叠号

它便于同其它波段同步成像的图像进行互相重叠。重叠号“+”是假彩色合成时三张胶片几何精度配准的标准。

(2) 像幅中心，或像主点

由四个重叠号“+”的中心引对角线，其交点就是像幅中心，以 C 表示。

(3) 经纬度标记

它在像幅四边的外侧，其最小间隔为 30 分，但是到了 60° 以上的高纬度地区，一般采用 1 度的间隔。例如 E 113—30| 即东经 113 度 30 分，| 为经线的起点。又如 |N023—30 即北纬 23 度 30 分，| 为纬线起点。它们可以竖写，也可以横写，视出现在像幅图框部位而定。

(4) 卫星图像的纵向重叠符号（⊥，－）

在第二颗陆地卫星的图像外侧边框上的上部和下部，有两个“⊥”“－”符号，为卫星图像的纵向重叠线符号。在这两个符号之间，有的有虚线相连，有的没有虚线相连。纵向重叠的面积为整个图像总面积的 10%，这是一个常数，各纬度都相同。陆地卫星 1 号图像上没有纵向重叠符号。

(5) 字母注记

30NOV．76．图像成像的日、月、年，即 1976 年 11 月 30 日。月份的英文缩写是：

JAN	1 月	MAY	5 月	SEP	9 月
FEB	2 月	JUN	6 月	OCT	10 月
MAR	3 月	JUL	7 月	NOV	11 月
APR	4 月	AUG	8 月	DEC	12 月

C　N23—07/ E 113—32

C：像幅中心。卫星传感器光轴几何延长线与地球表面交点的经纬度。

N23—07/ E 113—32 即北纬 23 度 07 分，东经 113 度 32 分。

N　N23—07/ E 113—34

N：为像底点，卫星传感器中心到地表的垂线的经纬度。

N23—07/ E 113—34 即北纬 23 度 07 分，东经 113 度 34 分。

像幅中心和像底点的坐标，理论上应一致，但由于卫星在空中可能出现微小的摆动、扭转、翻滚，使传感器光轴与铅垂线不在一条线上。

MSS 4 5 6 7　R　D　扫描成像的波段。MSS4 为第 4 波段，MSS5 为第 5 波段，MSS6 为第 6 波

段，MSS7 为第 7 波段。

R：表示由卫星宽带记录器贮存后回放出来的图像。

D：表示由卫星直接传送地面站的、实时发射的图像。

SUN EL34 AZ141为太阳高度角、方位角。

EL34：太阳高度角 34°。

AZ141：太阳方位角 141°（从正北起算按顺时针方向测出的太阳角度）。

189—9445—A
　　G
　　N

189：卫星前进方向的方位角。从正北起算，按顺时针方向计卫星前进方向的度数。

9445：从发射之后第一个降交点（卫星从北向南运行时通过赤道的交点）开始计算的轨道圈数。表示卫星已经绕地球运行了第 9445 圈时成的像。

A：阿拉斯加苏尔班斯克地面接收站所记录的图像。

G：戈尔茨顿（加里福尼亚州）地面接收站所记录的图像。

N：NTTF（在马里兰州戈达德空间飞行中心）地面接收站处理的图像。

1—N—D—1L
　A—P—2H

1：表示图像是满幅尺寸。

N：表示影像是正常处理的。

A：表示非正常处理。

D：表示像幅中心的计算采用了确实的或最佳拟合轨道星历表。

P：表示像幅中心是用“推测”的轨道星历表计算。

1：表示从卫星上发送资料是线性方式。

2：表示按压缩方式从卫星上发送资料（只适合 4，5，6 扫描或像波段）。

L：低增益。

H：高增益。

NASA　美国国家航空和宇宙航行局。

ERTS-E2　地球资源技术卫星。

E：计划、编号。

1：表示 ERTS-1；2：表示 ERTS-2。

678—02003—401
　　5
　　6
　　7

678：为从卫星发射日起算的日数。

02003：为扫描成像时间。其中，02：为格林威治时间 2 时。00：表示 0 分。3：表示 30 秒（末位为 10 秒数）。

4
5：表示 MSS 通道数。
6
7

01：表示再次使用视频的次数。（视频：电视图像信号的频率。从几十到几百兆周之间）。

第四节　目视解译标志

图像解译是一种研究遥感图像的方式，其目的是为了识别物体，从而判断该物体的含义。图像解译基本上可分为人工目视解译和计算机辅助分析两种方法。这两种方法有共同的任务和赖以实施的基础。不论何种方法最终将对图像中的物体进行探测、鉴别和测量，进而解决应用的专题。它们均以图像中影像要素或特征的分析和理解为基础。但是，这两种方法在利用影像要素或特征的途径和有效性方面是不尽相同的。目视解译在利用和综合影像要素或特征方面的能力远远高于计算机辅助分析。正因为如此，现如今不仅不应该忽视目视解译的存在，而且还应组织有经验的解译员总结目视解译的逻辑推理、归纳演绎的思维过程，以作为将来发展具有人工智能特点的高级计算机图像分析系统的出发点和基础。

遥感图像是地表面按一定比例尺缩小了的自然景观综合影像的图，它能够较准确、客观、全面地反映地表面的自然综合景观。图像解译原理就建立在研究地物性质、电磁波性质及影像特征三者的关系上，它主要从影像特征来判断电磁波的性质，从而确定地物的属性，也就是从影像特征来识别地物。

地物电磁波特征的差异在影像上的反映就是各种各样的色、形信息。整个遥感图像的影像要素或特征，概括起来分“色”和“形”两大类：

色——色调、颜色、阴影、反差；

形——形状、大小、空间布局、纹理等。

“色”只有依附在“形”上来解译才有意义。色形差异也常常显示深部现象的透视信息。采取由此及彼、由表及里的综合分析和对比，从已知推未知，解译才会有好的效果。

由于现代遥感技术的发展，解译所依据的不仅是摄影方法得到的像片，而且有视觉所不能及的能量分布转换成的影像——红外扫描成像、雷达成像的图像。虽然它们的影像要素或特征都是形状、大小、阴影、周围环境、空间布局、色调等等，但是它们在不同波段成像的图像中所表达的含义有所不同，下面分别叙述各种波段成像图像的目视解译标志。

一、摄影像片

1. 全色航空（航天）像片

航空像片上的直接解译标志，主要指解译对象的几何形状、大小、色调以及和其它相关地物组成的特别的图形。间接解译标志是指像片能看出的和直接解译标志密切联系的地物。例如：河的两岸均有公路，我们可以分析这里有渡口。

(1) 形　状

在垂直摄影的航空像片上显示的地物影像，按中心投影的性质而变化。在像片的中心部分，保持垂直投影的地物俯视影像；偏离中心时，垂直目标就成为侧视的斜像，离

中心愈远，则斜形像愈长。

(2) 大　小

大小特征是指地面物体的尺寸。物体在像片上的影像大小，决定于像片的比例尺。所以知道了像片的比例尺，就能算出物体的实地大小。根据日常所熟悉的某些物体的大小，用对比方法可以对某些物体加以区分或确定。不同比例尺的影像，在目视解译时能识别的地物，如表 4-8 所示。

表 4-8　不同比例尺影像的目视解译可识别的地物

比例尺	目视地面分辨率(米)	可　识　别　的　地　物
1:1000万	1000	大地构造、板块，地带性景观，气旋，反气旋，海洋温度、含盐量，洋流等
1:400万	400	区域地质构造，沙漠风系，山脉走向，森林分布，空气污染来源与扩散，海流，海洋中尺度旋涡，城市等
1:100万	100	地层单元，构造体系，地貌类型，土地类型，植被类型，河流类型，飞机场，村镇，海港，铁路等
1:25万	25	矿产调查，地震破坏，流域水系，海况调查，海水污染，牧场，公路等
1:10万	10	土壤侵蚀，水污染，农场，河床演变，河口积污等
1:5万	5	土壤湿度，盐分，排水类型，森林密度，树冠直径，树种，农作物类型，人工建筑等
1:1万	1	工程点，矿坑，坝址，桥涵等

(3) 色　调

地面物体在像片上所呈影像的黑白程度为色调。凡是深色或黑色的物体，影像的色调则较深；凡是浅色或白色的物体，其影像的色调则较浅。由于物体的颜色不同，在像片上的色调也不相同，这主要是由感光胶片的性能所引起的。地物的原始颜色与像片的影像色调的关系见表 4-9。

表 4-9　地物的原始颜色与像片的影像色调的关系

地物的原始颜色	像片的影像色调			
	灰　阶	标准色调	变色一[1]	变色二[1]
白	(1)	(白)		
淡黄	2	灰白	白	
黄、褐黄	3	淡灰		淡灰
深黄、橙色、浅红、浅蓝	4	浅灰	浅灰	
红色、蓝色	5	灰		灰
深红、紫红、淡绿、深蓝	6	暗灰	暗灰	
绿色、紫色	7	深灰		深灰
深绿	8	淡黑	淡黑	
墨绿	9	浅黑		浅黑
黑	(10)	(黑)		

注：(1) 变色一，变色二：是指由于洗印过程中的曝光时间过长、过短，或其它原因所引起的色调变异。

色调与物体的物理性质、化学成分有关，一般的规律是：排水性能好、干燥、细粒、有机质成分低的土壤，以及中酸性岩浆岩、松散堆积物和新开垦的耕地，一般都具有浅色调；地下水位高、潮湿的土壤、排水不良的地面、粗粒物质、有机质成分高的土壤及基性、超基性岩浆岩，均具有较深的色调。

土壤和岩石物质较均一，含水量和结构变化不大，则色调上表现出均匀一致的特点。小范围内地层或地表物质成分、含水状况有很大变化时，色调不均匀或呈斑状色调。

此外，同一物体反射光线角度不同，影像色调也有差异。同是湖泊，反射光线直射镜头时，色调就较淡，不是直射镜头的色调就浓。不同季节里，地面植物颜色变化，也使影像色调发生变化，所以在图像解译前必须了解摄影的季节、地域、摄影前三天的天气状况，才能正确判断色调的内涵。

(4) 阴　影

阳光照射下的物体产生阴影与落影。阴影是物体上未被光线照射的部分，落影是由于部分光线被物体阻挡不能投落在地面而显现出的阴影，落影往往表现原物体的侧面形状，而且其黑暗的程度亦较阴影更甚，有利于识别物体轮廓。根据落影的方向能确定像片的方位；根据落影的长短可判断物体的高低。我们可以从桥梁影子的形状和长短判定其结构、性质和高度。落影对解译有利，但当落影遮盖其它物体的影像时，又会给解译造成一定的困难。

(5) 图　案

图案是指航空像片上由地面物体的形状、大小、阴影，色调所形成的影像的组合。如平原耕地为平板状，森林为颗粒状，河流具有条带状的图案等。

(6) 布　局

布局是指物体间的空间配置。物体间一定的位置关系和排列方式，形成了很多天然和人工目标的特点。例如砖厂一定由烧砖窑的高烟囱、取土的坑、堆砖坯的场地以及管理部门的办公室组成，各部分之间存在一定的位置关系。也有人称此特征为相互关系特性。

(7) 纹　理

纹理可解释为影像内色调变化频率。纹理是用来解译某些类型影像的主要特征。例如海滩纹理能表示组成海滩沙粒的粗细。果园纹理能识别果树种类等等。

(8) 地理位置

这儿指的是物体的环境位置。由于事物都是相互联系的，在解译时，若其它标志不明确，亦可以根据地理位置关系来解译。例如，有些植物专门生长在沼泽、堤岸等地形上，在某些情况下，可以在像片上先识别地形特点，然后推断出植物的种类。

当然，在解译时，必须从总体出发，全面分析，不能单凭某一特征来确定，否则就会发生错误。

2. 彩色像片

全色像片只反映地物反射光的强弱，而不反映物体的颜色，有些不同颜色的物体，在黑白摄影中可能呈现相同的色调，难于区分，在彩色像片上它就能呈现与原物相同的颜色。这与人们观察物体的习惯相同，因此彩色像片有利于解译，特别是对于识别与背景颜色有差别的目标时更为有利。彩色像片的解译特征，基本上与全色像片相同，只是物体的色调特点转变成色别——颜色特征而已。然而彩色像片的颜色，并不总是反映物体原来的颜色，它常常会因光源的色光、摄影高度内大气的吸收或散射的多少、物体表面的粗糙度和反射率、周围或其相邻颜色的影响以及洗印加工时的条件等，造成彩色像片上颜色的失真，因此在进行解译时，必须首先弄清颜色变化与哪些因素有关。

3．彩色红外像片

彩色红外像片的解译与可见光黑白（全色）像片、彩色像片的解译的主要不同点在于颜色特征解译。彩色红外像片上的颜色主要决定于彩色红外胶片的性能、物体的反射辐射特性以及摄影、洗印加工等条件。

彩色红外胶片由三种乳剂层组成，成青乳剂层主要对0.7～0.9微米波长的红外光敏感，成品红乳剂层对红光敏感，而成黄乳剂层则对绿光敏感。这三种乳剂层都对蓝光敏感，所以摄影时需要借助于黄色滤光镜阻挡紫外和蓝光，以提高彩色红外像片的反差和分辨率。在彩色红外像片上，反射红外线的物体，其影像为红色；反射红光的物体，其影像为绿色；反射绿光的物体，其影像则为蓝色。此外，还有由红、绿或红、绿、蓝色叠合以后形成的一系列的颜色。

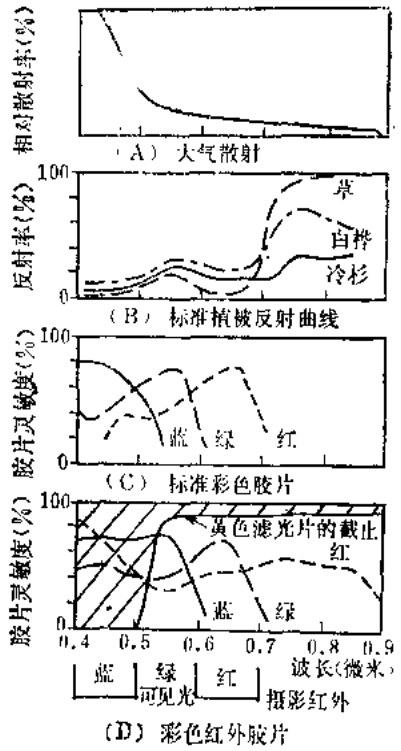


图 1-10　彩色胶片和彩色红外胶片的光谱灵敏度以及大气散射曲线和植物反射光谱曲线

从图4-10中可以看出，植物在近红外波段比在绿光波段具有较宽范围、较高峰值的反射率，这意味着不同植被在彩色红外像片上的红色程度各不相同，且差别较大。使用彩色红外像片辨别植被类型，比黑白像片或彩色像片更加容易。

当植被遭受病、虫害或因其它因素而造成叶子内部缺少水分的时候，它们的红外反射率会下降。此时彩色红外像片上的红颜色比正常的暗，这就是植物病变的预兆。早期的病变在胶片上呈现青色。

水体对红外线有较强的吸收性，净水在彩色红外像片上呈现为暗蓝色或黑色，当水体中有悬浮物质时，可能呈现为浅蓝色，所以，可以根据彩色红外像片上水体从浅蓝至深蓝乃至黑色的变化，粗略地估计其水深。

当物体既反射绿光、又反射红光时，如某些黄色、棕色和白色物体等，在彩色红外像片上呈青色；物体既反射绿光、又反射红外线时，如草地等，在像片上呈品红色；物体既反射红光、又反射红外线时，如红色的屋顶和砖墙以及秋天枯黄的植物等，在彩色红外像片上均呈黄色；当物体同时反射红外线、红光和绿光时，则在彩色红外像片上形成消色。物体在彩色像片和彩色红外像片上的特征比较见表4-10。

阴影在彩色红外像片上比在彩色像片上显得更深，因为滤光片滤去了散射的蓝光。物体在彩色红外像片上的颜色，实际上是随着各种物体反射红光、绿光和红外线的多少而变化并形成颜色不同、深浅各异的一系列差别的。此外，摄影时间、季节、镜头、滤光镜、胶卷、药液配制以及技术操作等因素都可能影响彩色红外像片的颜色，使之偏红或者偏绿，有时还可能使像片蒙上一层色雾（如橙、黄等色）。因此，在解译时，应充分考虑这些问题，以免误判。

4．红外像片

用红外线胶卷拍摄的像片称为红外像片。对这种像片的解译，也是根据物体的形状、

大小、色调、阴影、纹理、图案、位置等特征来进行的。与全色像片相比，其不同主要表现在色调和阴影特征的变化上。

(1) 色调特征

由于地面物体对红外线和可见光具有不同的反射能力，因此，在全色像片和红外像片上，各种物体的色调就会有一定的差别，其中尤以植物和水体表现得最为明显。

植物的反射光谱曲线，在绿光部分有一低的峰值，红外线部分有一高的峰值。全色胶片对绿光反射感受很微弱，在全色像片上呈深色。而在红外像片上植物的色调通常比较浅，不同的植物，其反射红外线的能力也各不相同，如针叶树反射红外线的能力比阔叶树低，在红外像片上它的色调就比阔叶树的深。遭受病虫害的庄稼、被其它物质污染的植物、霜冻后的作物，它们对红外线的反射能力，都比正常生长的植物的要低，它们在红外像片上的色调也各不相同。所以红外像片对研究、监测和保护植物有重要的意义。

表 4-10 地物在彩色像片和彩色红外像片上的特征

地物	彩色像片上的特征	彩色红外像片上的特征
健康的植被		
阔叶型	绿色	红到品红色
针叶型	绿色	红褐到紫色
枯萎的植被		
预测阶段	绿色	暗红色
可见阶段	黄绿色	青色
秋季叶子	红到黄色	黄到白色
清澈的水体	蓝到绿色	深蓝到黑
含泥沙的水体	浅绿色	浅蓝色
潮湿地面	稍微深色	各种各样的深色调
红层露头	红色	黄色
陆地与水的界线	不好分辨到好分辨	最好分辨
阴影	蓝色，可见细部	黑色，可见少量细部

由水体的反射光谱曲线可知，水体对红外线具有强烈的吸收能力，反映在红外像片上呈黑色，使得各种水体的轮廓更为清晰。这对研究水域轮廓和范围，判明沼泽、岛屿和岸滩的边界都十分有利。凡是位于岸边或水面上的目标，如码头、拦河坝、航标浮筒等都会被水体的色调衬托出来。

(2) 阴影特征

像片的阴影色调是由散射光的多少来决定的。散射光线越多，阴影的色调越浅；反之，则越深。红外线的波长较长，一般不易发生散射，特别是在晴空无云和没有烟雾时，在红外像片上的目标阴影的色调就显得很深。只有在物体上空有大片积云或浓厚的烟雾时，它们才具有反射或散射红外线的能力，才会有部分的红外线照射到阴影内，使阴影色调变浅，才可能表达阴影中的细部。

二、热红外图像

热红外图像的解译仍然是依据像片解译的影像要素或特征——形状、大小、阴影、周围环境（包括位置、布局）和色调。它由红外扫描仪遥感地面热辐射能量的分布，并将其转换成为图像，所以其解译的影像要素或特征的意义也有相应的变化。

1. 形状与大小

地物的位置与形状在热红外图像与全色像片中是相似的，但是热红外图像具有内在的几何变形。除沿飞行方向的主纵线外，其比例尺随距主纵线的远近而变化。离主纵线越远的物体变形越大。

形状是目标在图像上的影像，但是发热目标呈现的并不是它们真实的形状，而是点

状或延展扩散状亮斑。目标越热（与背景温度比较），它的热扩散就越强，影像与目标在形状和大小方面的差别也越大，这被称之为光晕效应(图版 IX-3)。面积较大的热源，如炼钢车间、冷却池等，往往呈现为轮廓不规则的片状。风能使点热源在图像上产生比原物大几倍的影像，也能使小的点热源消失，还会使高温热源在背风面的轮廓模糊。

2．阴　影

在多数情况下，热红外图像上所反映的阴影，称为热阴影（图版IX-1,2），和全色像片上见到的阴影区的面积大致相同。全色像片上所见到的云阴影，只要太阳被云遮住便会马上出现，但热阴影通常在太阳被云遮住后一段时间才会出现。热阴影形成与消失的快慢视阴影区域物体的物理属性（比热、热传导系数、密度等）和当时的气象条件而异。比热大的物体，其热阴影形成与消失均比较慢；反之则快。

3．色　调

热红外图像的色调是解译的关键指标，色调的深浅反映地面物体热辐射能量的差异，这是与全色像片的主要区别。

热红外图像只提供地面物体表面的亮度温度信息，并不直接表示物体内部的热结构和热传导的过程。图像色调反映地面物体热辐射（自身发射或反射辐射）能量的状况。图像上的黑暗区表示热辐射弱（物体表面温度较低），为冷色调；明亮区表示热辐射强（物体表面温度较高），为暖色调。物体温度高，辐射能量大，在热红外图像上则呈白色或浅色调；反之呈黑色调。

地表大部分物体的热辐射源是太阳。在太阳照射下，地表的增温速率取决于地表层物质的热传导系数。地物热传导系数的差异，导致了地表温度变化与太阳辐射变化在时间上的不同步。热红外图像正是反映这种差别并以此来区分地面不同物质的。

地球自转造成的太阳辐射对地表面各区域以24小时为周期的变化，导致了地面温度也随之存在着相应的日周期变化[2]。在区域调查中，需从定性、定量方面了解调查区内地物热辐射日周期变化特性，依此识别地物和地质构造并对环境进行分析，所以最好要有上午、中午、下午、傍晚和黎明前五个时段的区域热红外图像（图版 IX），至少要有黎明前和上午的（图版 VIII-2）。因为黎明前的热红外图像，是真正反映地物自身的发射辐射的，此时地面温度低，图像的黑白对比度大，差异显著。上午的图像是反映地物接收太阳辐射后增热的状况，热阴影使图像富有立体感，有助于地形分析。这两个时段的图像也能大致区分地物。

通常将在昼夜热红外图像上均呈白色的现象，称为热异常。而将在昼夜热红外图像上均呈黑色的现象，称为冷异常。例如煤气公司、火力发电厂、石油炼制厂等地的上空，因废气排放大气温度较高，成为热异常区；林间的湿地，白天得不到太阳辐射，湿地水分蒸发还要消耗热量，致使之成为冷异常区，等等。

金属、木材、路面、土壤、草地、树木和水面等都是经常遇到的目标。这些目标的色调，在夜间的热红外图像上变化甚大，每种目标的色调都随着它们的使用状态、气象情况及物理特性的不同而不同。下面将这些目标反映的色调作一概括的介绍。

(1) 金属表面

在正常条件下，放在室外的金属薄板（不热的），在夜间热红外图像上呈黑色，这是因为金属自身辐射红外线的能力和能量远比其它物质低的缘故。虽然金属表面是很好的

反射体，能够强烈地反射来自天空的辐射能，但是，夜间天空中辐射能的强度是很弱的（特别是晴朗之夜），因此，它反射出来的能量也很弱。

（2）路　面

路面在夜间热红外图像上呈现为浅灰到白色（温度十分高时）。这是因为路面的辐射能力强，同时它和地面有良好的热接触，而地面本身就是一个恒定的热源；又因为路面的热容量很大，它能将白天从太阳那里吸收来的很大一部分热量储存起来在夜间辐射。这一规律对水泥、沥青及一切黑色的路面都是适用的。

（3）土　壤

在正常的条件下，土壤包括各种泥土、沙和石，在夜间热红外图像上呈淡灰色，这是由于地面的热容量大，经过白天太阳晒，使土壤都具有高的辐射能力的缘故。

（4）草　地

草地在夜间热红外图像上呈现黑色（很冷）。草的株体小，从地面或太阳辐射取得的热量少，储藏热量的可能性也小，地面增温时它也随之增温。晚上随着地面辐射加强，它很快地把自己所有的热量辐射掉而冷却，逐渐形成晚上近地面层空气温度比地面以上数尺处的气温为低的夜间逆温现象。

（5）树　木

树木在夜间热红外图像上呈现为中灰到浅灰的色调。树的枝干高大，白天由于树叶表面吸收红外线（大于2微米）及树叶表面水汽的蒸腾作用，降低了树叶表面温度，使其比周围地面温度低，在白天热红外图像上呈暗色调；晚上，储有大量热量并具有很高发射率的树和地面都进行辐射，夜间气温的逆温现象却使树吸收热量升高温度，使树冠在夜间热红外图像上呈灰色调。

针叶树的针叶从合成发射率接近黑体的发射率，故在夜间的辐射能力和温度相对较高，白天则相对较低。按此有可能区分阔叶树和针叶树。

（6）水　面

在正常条件下，水面在夜间热红外图像上呈浅灰到白色，水体具有比热大、热惯性大、对红外线几乎是全吸收、自身辐射发射率高等特点。水体是流体，水体内热传递是以对流形式进行的，故水体表面保持相对均一的温度，流动水体的温度变化尤其慢。不论在白天或黑夜，水体的辐射均有明显的特征。一般情况下，白天水体的温度低于周围物体的温度，在热红外图像上呈暗色调；晚上水体自身发射辐射强于周围地物，因此在夜间的图像上为灰白到白色。

以上的概述均是热红外光机扫描仪在无风、晴朗的夜间成像的效果。倘若传感器前有云层遮盖，则会大大减少地面上各种物体的红外线辐射能之间的对比，云层就像一床毯子，遮盖在地面上空，使地面各种物体的温度趋向一致。连续几个阴天，会使热红外图像呈现一片空白，大部分天然的地貌特征融合在均匀一致的背景里，烟囱、散热器、煤气厂等一类人工热源，会格外突出。

三、机载合成孔径侧视雷达图像

侧视雷达图像是由侧视雷达接收主动发射的微波回波后成像的（图版X-1）。雷达图像解译的影像要素或特征也与全色像片类同，只是其含义不同而已。

1. 形　状

形状是指雷达回波显示的轮廓线，即具有比较固定周界线的空间型式。人造地物一般都有规则的几何形状，容易与天然目标区分。尽管许多景观组成不规则的轮廓，但是，根据它们的形状还是可以解译出许多地质地貌特征的，如冲积扇、河漫滩、火山锥，褶皱和断层等。由于雷达本身对小目标的反映容易失真，因此在雷达图像上往往没有相对明显的几何影像。

2. 大　小

大小是图像上目标影像的尺寸。在带有自动增益调整器的雷达站，它接收的雷达图像阈反差是最高的，能够识别图像上大小为 0.16～0.12 毫米的实心目标和宽度为 0.03～0.02 毫米的线状目标。对于小目标，因闪烁效应的作用，在图像上呈现亮点，其大小远大于实际尺寸。

3. 阴　影[3]

雷达图像上的阴影是由于辐射带内的盲区所构成的。所谓盲区是指在辐射带内，由于地形起伏，阻挡了雷达波的传播，没有后向反射波被天线接收，因此在图像上形成深黑色调，而且毫无地物阴影。雷达阴影的长度与地形起伏的高度有关，同时又与飞行高度，隆起地物与飞机的距离等因素有关。同样高度的山地，离飞机越近时阴影越长，而飞行高度越高时，阴影越短。雷达阴影总是处于垂直飞行航线方向，当航线的高度和方向适宜时，可使整个测区的阴影一致。阴影给雷达图像带来很强的反差和立体感，其缺点是阴影处没有地物信息。

4. 色　调

色调是雷达图像最重要的影像要素。它与地物反射微波的能力有关。电导率大的物体反射率也大，在雷达图像上有明晰的浅色调影像。钢结构桥梁的后向反射辐射强，在图像上呈浅色调，而桥下水面对微波形成的是镜面反射，几乎无后向反射，所以水面为深色调。

地物表面类型是确定后向反射波振幅的主要因素，因而也是确定图像色调的主要因素。地物表面类型是由雷达波段和地物表面起伏高差之间的关系而定的(表 4-11)。例如，地物表面起伏的高差 $\Delta h = 0.96$ 厘米，对 K 波段面言为粗糙；对 X 波段说为中间类型；对 L 波段则为平滑。所以在雷达图像解译之前，要了解雷达图像的成像波段以及其它一些成像参数。

表 4-11　不同雷达波段的粗糙度量级[4]

表面类型	K波段(1厘米)	X波段(3厘米)	L波段(25厘米)
平　滑	$\Delta h < 0.05$	$\Delta h < 0.17$	$\Delta h < 1.41$
中间类型	$\Delta h = 0.05 \sim 0.28$	$\Delta h = 0.17 \sim 0.96$	$\Delta h = 1.14 \sim 8.04$
粗　糙	$\Delta h > 0.28$	$\Delta h > 0.96$	$\Delta h > 8.04$

雷达图像能很好地显示地表的粗糙度。平滑的公路、飞机跑道、避风港内的水面等，对雷达的微波形成镜面反射，后向反射波几乎没有，在图像上形成黑色调。粗糙的表面，如有波浪的海面、翻耕后的农田等，入射的微波向各方向散射，后向反射波较强，图像上的色调则按粗糙程度加大逐渐变浅。

相邻雷达回波之间的色调密度之比为对比度，即反差。反差越大，分辨或发现目标的可能性越大。当色调反差＜0.06 时，无论怎样放大目标尺寸都不能发现目标，只有在实心目标尺寸＞0.07 毫米、线状目标＞0.03 毫米的情况下，增大反差才能发现目标。

5．纹　理

纹理是指雷达图像上影像色调变化的周期性和随机性的现象。雷达图像上有三种纹理特征：微细纹理、中等纹理和大纹理。

微细纹理是大多数系统固有的，是随机的，而不是相对平滑地区植被引起的。

中等纹理是由若干分辨单元空间排列的不均匀性或者是更多的分辨单元横跨了若干微细纹理单位而产生的。它的组成与植物群落内的结构、个体的分布有关。这种分布不是任意的组合，它们大部分与土壤条件和作物品种竞争有关。旱地在雷达图像上呈现为灰黑色调，在此灰黑色调的影像里，能见到很细的线状纹理，它们由不同灰度的线平行排列而成。这与棉花植株呈长垄状分布、行间距大的排列格局是一致的。高粱、玉米、豆类以及果园都可能有中等纹理。

大纹理指的是地形结构特征，它的排列是地质地貌解译的关键要素。由于图像纹理取决于色调的分布，因此图像纹理的外观，一张与另一张之间基本上保持不变。

6．色调结构

雷达图像的色调结构是某一群体的各个要素图像的组合，这些要素的图像因土壤、植被、地表温度状况以及地貌要素形状的差异而有所不同。色调结构反映群体要素的相互位置、性质和彼此间隔值的特点，以及它们的几何特性和介电特性。表 4-12 列出了几种人文目标的结构特性[5]。

表 4-12　人文目标在雷达图像上的结构特性

目　标	反射强度	雷达图像特性
城　市	极高强度	由街区、街道和广场形成的方格网
郊　区	中等强度	由街区、街道形成方格网
铺装公路	极低强度	线状，中等曲率
公　路	同　上	线状，可能有急转弯的路段其色调略别于周围地面
高压输电线	极高强度	金属杆塔形成的规则的浅色虚线
铁　路	极高强度	线状，曲率缓和
桥梁、渡口	同　上	浅色短线段
机场、跑道、机场建筑物	机场、跑道低强度，建筑物中强度	机场，中深色X形跑道，深色建筑物，浅色
工业目标	极高强度	具有明显界限的浅色面积
农业用地	各种强度(由强到弱)	通常呈矩形面积

雷达图像色调结构的性质和全色像片一样，主要由地面目标的外形特征和地面目标成像的详细程度来确定。

雷达图像覆盖地面面积大，比例尺小，能获取其它技术手段难以获得或根本不能获得的必要信息，易于调查地面特殊界线的主要形状和总的特征。又因图像比例尺小，解像力低（与全色航空像片比较），不能在图像上发现小的地面碎部，常常给图像相对地理坐标系的定向和连测带来困难。解译时要给予注意。

以上概述了各类遥感图像的影像要素或特征，这些都是可以用肉眼直接观察到的。依据这种影像特征就能识别出各种地物，因此，把它们称为直接解译标志。

遥感图像记录的信息主要是地表上的表层信息，合成孔径雷达虽有一定的穿透力，但穿透深度是很有限的。靠直接标志虽然能识别许多地表的自然现象和人工现象，然而要确定目标（现象）之间已有的联系、它们彼此的关系、目标（现象）的特性与地面性

质的关系以及与其它目标（现象）存在的关系，就需要运用自然地理学、地貌学、地质学、经济地理学以及其它学科的专业知识，深究其相互关系。例如，通过直接解译标志可以直观地看到各种地貌类型和水系分布；通过岩石地貌分析识别岩性；通过构造地貌分析识别地质构造等等。象这样建立的岩石地貌与构造地貌的影像标志，称作间接解译标志。建立间接解译标志的实质是地理“相关分析”，即通过目标（现象）之间的关系分析得出的虽不是目标图像，但却能指出目标在该地区的存在，或者目标的特性的种种规则。间接解译标志的建立将大大地开拓遥感图像的应用领域，间接解译标志的使用也需要解译人员具有深广的地学科学知识。

第五节　MSS，TM 和SPOT 图像单波段的解像力

卫星遥感图像的波段分割或选择，是总结了地物（水体、植被、土壤与岩石）的反射和发射光谱特征后提出的方案。不同波段的影像反映了地面各种物体在该波段的电磁波特征。例如陆地卫星的 MSS 图像将可见光～近红外波段分成 4 个波段成像，4 个图像上同名点的灰度值可概略地代表该地物的光谱特征。多波段图像的优点是，可以单波段成像，亦可多波段合成各种彩色图像。当同时使用几种不同波段或其组合成像时，不同物体就会在不同波段图像上被突出的表现出来。从而提高了图像的分辨能力。

图像上包含的丰富的信息，对某一专业来讲，只有一部分是有用的，其余是“多余”的。因此信息提取十分重要。为此要了解不同波段图像的解像能力，然后才能有目的地提取信息，选择合成图像不同波段的组合。下面就将常见的多波段图像的各波段的解像能力作些简述。

一、MSS 图像

1．MSS4 图像

波长 0.5～0.6 微米，属蓝绿光波段。对水体具有一定的透视能力，能看到水下地形和大的地质构造轮廓。透视深度一般可达 10～20 米，水质清澈时，甚至可达 100 米。据报导，印度洋的恒河三角洲外的水上地形，透视深度即能达 120 米，对于河口及沿岸的泥沙流有一定的显示能力；利于水体的浑浊度、沙地、沙洲等的识别；对于陆地的地层岩性、第四纪松散沉积物的性质和分类、植物的分布等有明显的反映；对于水体污染的解译效果较好，尤其是对于金属和化学污染的研究具有特别好的作用。

对蓝、绿、黄色地物一般呈浅色调，随着红色成分的增加而变暗色。水体色调最浅。

2．MSS5 图像

波长 0.6～0.7 微米，属橙红光波段。对水体有一定的透视深度（约 2 米），特别对水体的浑浊程度、泥沙流、悬移质的状况有明显的反映。河口混水舌主体及其扩散状况显示生动。能明显区分具有宽平浅滩的淤泥质海岸和沙质海岸，沙地与沼泽的过渡带表现清楚。对岩性、地层、构造的研究，地貌和第四纪地质的研究，土壤类型的研究等都具有较好的效果。对植物研究有特殊作用，因该波段有叶绿素吸收带，所以植被在该图像上具有较暗的色调。一般常绿针叶林、油松、白皮松等显示黑色或深黑色，云杉林呈深灰色，都为块状、带状分布；落叶阔叶林如杨、桦、栎等呈深灰或灰黑，针阔混交

林呈黑色或淡黑色，边界不规则；疏林地呈灰色或淡灰色的片状，边界模糊；灌丛地呈灰色或灰黑色；疏林草地呈灰色或深灰色，色调均匀，山地草甸呈灰色调，绒毛状。而被砍伐的树木、伪装的树枝、病树，有较高的反射率，所以有较浅的色调。

橙、红色的地物一般呈浅色调，随着绿色成分的增加而变暗色。该波段可提供较丰富的信息，为可见光最佳波段。

3．MSS6 图像

波长 0.7～0.8 微米，属可见光中的红光与近红外波段。对水体和湿地反映特别清楚，因为水体对红外线具有强烈的吸收作用，水系和水体轮廓在该波段图像上影像清晰，呈黑色调，浅层地下水丰富、土壤湿度大的地方，有较深的色调。植被在此波段有较高的反射率，图像上呈明亮的浅色调，病树反射率低，为较暗的色调。对含水藻和不含水藻的水团容易区分。大断层在该波段图像上呈深色的不连续的线段。隐伏构造，常有明显的轮廓及色调显示。

4．MSS7 图像

波长 0.8～1.1微米，属近红外波段，故与 MSS6图像有很多相似之处，但它更具有红外图像的特点，即水体对红外波段具有强烈的吸收能力，所以水体在该波段图像上影像更加深黑，水陆界线表现得十分明显，宜于确定潮间带、潮水沟、古河道、现代河道、边滩等。凡是水体几乎全呈黑色，泥沙含量多的也呈黑色。富水地层具有较深的色调，透水地层具有较浅的色调。对于断层、隐伏构造、地层划分、第四纪沉积物的分类以及洪积扇、海滨、湖滨平原形成时代先后的解译，都有较好的效果。该波段对植物生长情况也有明显的反映。生长茂盛的阔叶树具有很强的反射率，所以具有明亮的浅色调，而针叶树则差一些，色调略深一些，病树则有较浅的色调，对识别军事伪装很有力。另外对海洋的温度，海冰研究也有较好的效果。该波段图像最宜反映地貌、地质、水和水系结构。

一般来说，为了研究水文泥沙状况，需要采用 MSS4 和 MSS5 两个波段的图像。要研究水利资源的分布和贮量可以运用 MSS7，或者用 MSS6 图像。如研究地质构造，至少要用 MSS5和 MSS7 两个波段的图像。如果要研究农作物或植被生长情况，至少要用 MSS5 和 MSS7 或 MSS6两个波段的影像。

遥感图像的解像能力，还受到成像时太阳高度角和季节的影响。低太阳高度角条件下成的像，阴影明显，立体感强，对地貌和地质研究有较好的效果。高太阳高度角条件下成的像，则对海洋中的泥沙流研究具有较好的效果。冬季成像对地质地貌的解译效果好，因这时植被的干扰小。夏季成像对植物分布的研究效果好，春季或秋季成像，尤其是秋季成像对植物分类的研究有利，因为这时的植物界存在着萌芽、开花、变黄、成熟、落叶或枝叶多少等现象，不同植物所处的生长阶段不一样，可进行植物分类研究。

总之，要根据应用研究目的，选择波段图像，成像太阳高度角以及图像成像的季相，选择恰当将利于解译，否则效果不好。

二、TM 图像

1．TM1 图像

波长 0.45～0.52 微米，蓝波段。对水体穿透力强，易于调查水质、水深，沿海水流

和泥沙情况。对叶绿素与叶绿素浓度反映敏感。对区分干燥的土壤及茂密的植物效果也较好。

2. TM2 图像

波长 0.52～0.60 微米，绿波段。与 MSS4 相关性大。对健康茂盛绿色植物反射敏感，对水的穿透力较强。探测健康植物在绿波段的反射率，可评价植物生长活力，区分林型、树种，反映水下地形。

3. TM3 图像

波长 0.63～0.69 微米，红波段。与 MSS5 相关性大。为叶绿素的主要吸收波段。根据它对植物叶绿素吸收的能力可判断植物健康状况，也用于区分植物的种类与植物覆盖度。还广泛用于地貌、岩性、土壤、植被、水中泥沙流等方面。其信息量大，为可见光最佳波段。

TM2，3波段比 MSS4，5 波段区间稍窄，主要是为之提高对植物光谱变化探测的灵敏度，更集中地反映出叶绿素在绿光波段的次反射峰和红波段的吸收率，可用于植物分类。

4. TM4 图像

波长 0.76～0.90 微米，近红外波段。包括了 MSS6 和 MSS7 的一部分，此波段避开了小于 0.76 微米出现叶绿素陡坡效应的坡面和大于 0.90 微米可能发生的水分子吸收谱带，使之更集中地反映植物的近红外波段的强反射，植物茂密时在图像上呈白色调。对绿色植物类别差异最敏感（受植物细胞结构控制），为植物通用波段。常用于生物量调查，作物长势测定。可以显示出水体的细微变化和水域范围。

5. TM5 图像

波长 1.55～1.75 微米，近红外波段。处于水的吸收带（1.4～1.9 微米）内，故对含水量反映敏感，用于土壤湿度、植物含水量调查、水分状况研究、作物长势分析等，从而提高了区分不同作物类型的能力。易于区分云与雪。对岩性和土壤类型的判定也有一定作用。

6. TM6 图像

波长 10.4～12.5 微米，热红外波段。对热异常敏感，可以根据地表发射辐射响应的差别，区分农、林覆盖类型；辨别表面温度、水体、岩石；监测与人类活动有关的热特征；进行水体温度变化制图。

7. TM7 图像

波长 2.08～2.35 微米，近红外波段。此波段是依据地质上的需要而设置的。处于水的强吸收带，水体在图像上呈黑色。可用于区分主要岩石类型、岩石的水热蚀变，探测与交代岩石有关的粘土矿物等。

TM4，3，2 波段组合（组合波段色调的排列次序为红、绿、蓝，以下相同）合成的影像类似于彩色红外图像和 MSS7，5，4 波段合成的影像，有利于植物分类和水体的判别。TM3，2，1 波段合成影像似天然真彩色，但影像多平淡，色调灰暗，彩色不饱和，信息量相对减少。TM7，4，3 波段组合的影像显示市容街道和公园水体清楚，影像接近天然真彩色。若研究地质构造环境，可选取 TM7，5，4波段组合。研究植物分类用 TM5，4，1 组合。总之，要从应用的目的出发，针对地物波谱的特点以及波段间的相关性，进

行综合分析，选择组合波段。

三、SPOT 图像

总结了 SPOT 近 10 年的研究成果，认为只用 3 个波段就能取得应用的最佳效果。其中，0.50～0.59 微米，是植物叶绿素反射的次高峰，对植被识别有利，对水体有一定的穿透深度，一般能穿透 10～20 米，并能探测水的浑浊度；0.61～0.68 微米，位于叶绿素吸收带，与 MSS5 和 TM3 类同，为可见光最佳波段，用于识别作物、裸露土壤和岩石的表面状况；0.79～0.89 微米，为近红外波段，能很好地穿透大气层，植物在此波段处于高反射峰，而水体几乎是无反射，植物在图像上表现得特别明亮，水体则为黑色。这三个波段与 MSS的4，5，7 波段相似，但波长区间都不超过 0.9 微米。这是为了避免大气中水汽引起的响应调制作用及探测器电子扩散产生的模糊作用，借以提高影像质量而设置的，SPOT 图像地面分辨率高，定位精度好，图像可解能力优于 MSS 和 TM 图像，只是价格较贵。

参　考　文　献

[1] 约翰E·埃斯蒂斯，弗雷德里克J.多伊尔著（张莉、王长耀、边馥苓等译），遥感手册，第六分册，国防工业出版社，1983 年。

[2] 濮静娟，红外图像的解像原理及其应用，地理学遥感技术应用论文集，气象出版社，1987 年。

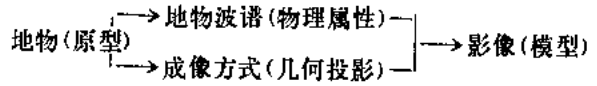
[3] 马鸿良、顾恒岳、奚敏敏等编著，国土资源遥感技术，四川科学技术出版社，1990 年。

[4] 谢寿生、徐永进，微波遥感技术与应用，电子工业出版社，1987 年。

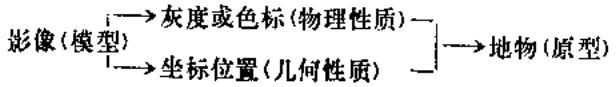
[5] 斯顿科夫等著（周广森译），雷达摄影测量，测绘出版社，1984 年。

第五章　遥感图像目视解译方法

用遥感技术研究地球的实质是以各种影像（包括数字影像和模拟影像）来模拟地表景观，反映地表环境与资源等的信息。地表上的实况物体称为地物。遥感的成像过程，是将地物的电磁辐射特性或地物波谱特性，用不同的成像方式（例如摄影、扫描、雷达等）生成各种影像，即



而解译过程，就是成像过程的逆过程，即



一般来说，当选定时间、波段、位置、成像方式后，成像过程获得的影像像元与地面对应的单位面积一一对应。换言之，是唯一的。但是，由于解译过程中存在着同物异谱、同谱异物现象，因此解译结果不是唯一的。为了获得唯一的解，则需要用多种遥感和非遥感信息加以印证。在对图像进行解译前，首先要弄清影像的性质，其次是摄影比例尺、地域、季节和成像前三天的天气状况。

第一节　地物的客观规律与影像信息特征

遥感图像所显示的是某一区域特定地理环境的统一体。它是地球表面的大气圈、水圈、岩石圈、生物圈以及社会生态环境的综合反映。这不仅反映了地理要素——地质、地貌、水文、土壤、植被、社会生态等的综合，即地理环境是因时因地而异的地理实体，它是由互相关联的自然及社会现象所构成的；而且表现在遥感信息本身的综合，即它是不同空间分辨率、波谱分辨率和时间分辨率的遥感信息的综合。所以不同专业由于研究任务和研究对象的不同，各自从不同的角度，运用不同的方法，从这个“综合信息”中各取所需，寻找与提取各自有关的专题信息。

遥感图像所对应的地理环境是一个错综复杂的大系统。这个系统是多层次、多要素且不断运动变化的。各个子系统既互相独立又相互联系，相互依存。要认识它们，不仅要根据它们本身的属性，还要根据它们之间的相关性来进行推演，即从整体认识、系统分析得到。

人类生存在这个地理环境中，通过经济和技术力量不断地改变着地理环境，使地球表面圈层组织间的物质、能量和信息的交换更加符合人类的需要，即利用自然、改造自然、造福人类。但是，人类在利用自然的同时，往往自觉不自觉地破坏地理环境组成之间的相互调节和相互适应的功能，带来一系列不良影响。因而人类需要不断地认识自然规律，

调节和控制自然；不断按人类的需求去协调自然界各要素的相互关系，纠正一些“偏差”，使它更好地为人类服务。遥感图像是人类研究赖以生存空间的最综合、最直观的信息源。通过各项专题研究，认识事物的发生、发展和演变规律，在此基础上进行宏观上的综合，提出应用和合理开发的方案。

可见遥感图像是地表某一区域地理环境的真实写照。在地理环境中各要素之间的关系大约有 4 种类型：第一种是有规律性现象，它有明确的规律可循，例如地带性规律，是由于太阳辐射随纬度分布的规律性，造成了沿纬度的水平地带性现象；又由于温度和湿度随地形高度分布的规律性，造成了沿高度的垂直地带性现象。又如，冰川和流水在重力作用下，沿地表从高处流向低处。再如，植被有季相变化，物质有侵蚀—堆积相关规律等。第二种是随机性现象，例如天气变化、洪水出现、泥沙运动、地质灾害的随机性等。第三种是不确定现象，例如农作物生长过程中，水、肥供应适时可获丰收；反之，缺肥或旱涝，都会造成欠收。又如，在一条河流上修建水库，等于改变了局部侵蚀基准面，水库上下游的河床均需重新调整比降，水坝的高低影响河流回水的范围等。第四种是模糊性现象，例如风沙侵蚀与流水侵蚀的交界地带，有一系列两者所占比例不同的过渡区。又如，气候带中间有过渡地带，过渡地带随季节变化而移动。凡是渐变的地带，都存在着模糊性现象。由于地物客观地存在着上述 4 种不同类型的现象，因此在遥感图像上也存在着这 4 种不同类型的现象，即地表现象的客观规律，是目视解译及进行地学相关分析推断的依据。

目视解译遥感图像时要注意地物影像信息特征。

一、地物影像信息随空间分布的变化规律

地物影像信息具有一定的地理坐标位置，受地带性与非地带性因素的影响。例如，植被、土壤、冰、雪、水受地带性因素影响，有水平分布和垂直分布的规律；岩性、构造不受地带性影响，从寒带到热带都有分布；但是，地貌既受地带性影响又受非地带性影响，同是花岗岩，在寒冻风化地区形成石海冰缘地貌，在亚热带化学风化地区形成厚层红色风化壳，还反映了水分和热量的区域差异。在一幅遥感图像上，要分析地物的空间分布，不仅要掌握从空中鸟瞰地物，得到地物的顶部形状或平面形状的二维图形，而且要掌握地物的三维信息，即要看出立体。为此，一般可将遥感图像上的阴影对着自己，靠阴影建立起立体感。如果是像对，则可靠立体镜利用视差来建立立体像。

二、地物影像信息随时间的变化握律

同一地物不同季节的影像是不同的。水文、植被和土壤含水量等随季节的变化，都有不同的影像信息特征。例如冬季淡水湖结冰呈白色（咸水湖不结冰呈浅蓝色），平水期为深蓝色，洪水期含沙量增高呈蓝绿色。又如，春季植被呈红色斑点状，夏季呈连片鲜红色，秋季落叶林呈褐色。再如，旱季土壤呈浅色调，雨季土壤呈深色调等。在一幅遥感图像上分析地物的季相，不仅要掌握该季相不同地物解译标志的特点，还要按季相变化规律推断地物的年内变化特征。

三、地物与地物间的相关规律

地理环境中气候、水文、植被、土壤、地貌、岩性等相互之间都是有联系的。例如，温带森林带，降水量500～800毫米，冬季严寒下雪，夏季多雨；河流水文有春汛和伏汛；天然植被以针叶林为主，针叶林下土壤发育为灰化土；平坦或低洼地貌单元，往往形成沼泽，岩石风化形成浑圆形山丘。在遥感图像上直接能看到的是缓丘、沼泽和针叶林。根据地带性规律，可推断出灰化土、水文的季节变化和温带气候。又如，山区里的水系往往与构造断裂有关，水系类型又与岩性的粗细、软硬等有联系，根据岩性变化的关系可推断水系是否反映断裂体系。再如，冲积扇前缘可推断地下水的出露带等。认识地物与地物之间的相关关系，要求解译人员有较深广的地学知识和实践经验。

地物影像的时空规律与相关关系，都可通过直接或间接解译标志识别。这些规律和关系都具有规律性、随机性、不确定性和模糊性，这是因为影响遥感图像解译效果的因素很多；解译标志随着地区的差异和自然景观的不同而变化，绝对稳定的解译标志是不存在的。所以在遥感图像解译过程中，运用解译标志时，要从区域整体出发，正确使用客观规律和影像信息特征，既要认识解译标志的同一性，又要考虑它的可变性，努力总结研究区域的解译标志，从复杂多变中归纳出具有相对普遍性和稳定性的解译标志。还可以针对不同性质的现象选用不同的方法去处理。

第二节　目视解译的原则、步骤、程序和操作

遥感图像客观地记录了物体的几何形态和波谱特征，这是遥感图像解译的依据。人们根据自己对客观事物认识的实践经验，运用各种手段和方法对图像进行辨认，从而识别影像的实际内容和属性的过程，即是遥感图像解译。本节主要讨论用肉眼辨认影像的原则、步骤、程序和具体操作办法。

一、目视解译的一般原则

遥感图像目视解译的原则是：总体观察，综合分析，对比分析，观察方法正确，尊重影像的客观实际，解译图像耐心认真，有价值的地方重点分析[1]。

所谓总体观察指的是从整体到局部对遥感图像进行观察；综合分析指的是应用航空和卫星图像、地形图及数理统计等综合手段，参考前人调查资料，结合地面实况调查和地学相关分析法进行图像解译标志的综合，达到去粗取精、去伪存真的目的；对比分析指的是采用不同平台、不同比例尺、不同时相的像片，不同太阳高度角的卫星图像以及不同波段或不同方式组合的图像进行对比研究；观察方法正确指的是需要进行宏观观察的地方尽量采用卫星图像，需要细部观察的地方尽量采用具有细部影像的航空像片，以解决图像上“见而不识”的问题；尊重图像的客观实际指的是图像解译标志虽然具有地域性和可变性，但图像解译标志间的相关性却是存在的，因此应依据影像特征作解译；解译耐心认真指的是不能单纯依据图像上几种解译标志草率下结论，而应该耐心认真地观察图像上各种微小变异；有重要意义的地段，要抽取若干典型区进行详细的测量调查，达到“从点到面”及印证解译结果的目的。

二、目视解译的步骤

图像目视解译的步骤主要是：从已知到未知，先易后难，先山区后平原，先地表后深部，先整体后局部，先宏观后微观，先图形后线形。

从已知到未知是遥感图像解译必须遵循的原则。“已知”主要指解译者自己最熟悉的环境地物，或是别人最熟悉的环境地物，如地形图及有关资料等。所谓的未知就是图像上的影像显示，根据已印证的影像在相邻图像上举一反三，然后根据影像再在相应地面上找到新的地物，这就是从已知到未知的含义。先易后难是指易识别的地物先确认，然后根据客观规律和影像特征不断地进行解译实践，逐渐积累解译经验，取得解译标志，克服各种解译困难的过程。至于“先山区后平原，先地表后深部、先整体后局部，先宏观后微观，先图形后线形”等步骤亦属先易后难的组成部分。例如，由于山区基岩裸露，影像清晰，而平原地区平坦，影像较为模糊，所以前者容易辨识，后者就比较困难，况且山区与平原在构造上总有这样那样的牵连，因此一方面在解译上可以借鉴，另一方面又可用“延续性分析”不断扩展。至于圆形构造、线形构造，在一般情况下，两者都易于发现。

三、目视解译程序

图 5-1 是目视解译的逻辑思路在知识和时序二维空间的表达式[2]。

1．资料准备阶段

针对研究对象的需要选择遥感图像的时相和波段，确定合成方案和比例尺。选择同比例尺的地形图，按地形图分幅或研究区范围镶嵌遥感图像，使其能与地形图配套，便于对应解译。分析已知专业资料，研究地物原型与影像模型之间的关系。

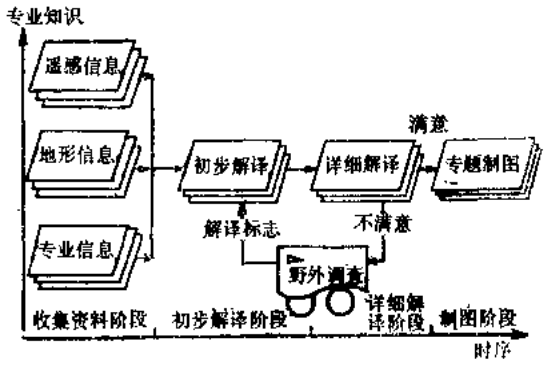


图 5-1　目视解译程序

2．初步解译阶段

根据影像解译标志，即色调、形状、大小、阴影、纹理、图案、布局、位置等建立起的地物原型与影像模型之间的直接解译标志，运用地学相关分析法建立间接解译标志，进行遥感图像初步解译。

3．野外调查阶段

地面实况调查，包括航空目测、地面路线勘察、定点采集样品（例如：岩石标本、植被样方、土壤剖面、水质、含沙量等）和野外地物波谱测定。向当地有关部门了解区域发展历史和远，近期规划，收集区域自然地理背景材料和国民经济统计数据、农事历等。

4．详细解译阶段

根据实况调查资料，全面修正初步解译，提高解译可信度，对详细解译图可再次进行野外抽样调查或重点调查，确认可信度，直到满意为止。

5．制图阶段

遥感图像目视解译的成果，一般是以图的形式提供的。目视解译图，可由人工描绘

制图，也可在人工描绘基础上进行光学印刷制图，或电子计算机制图。无论哪一种制图都要符合制图精度要求。

四、具体操作方法

(1) 拿到卫星图像后，首先要读边框上的注记，通过它可以知道，卫星图像是哪一波段，显示的是什么自然环境，有无植被、水和其它因素的干扰，太阳高度角高低，成像季节等等。这些都是解译之前必须明确的，它是我们对各种卫星图像进行正确解译的根据和立足点。

(2) 解译时必须进行正立体观察，特别是在基岩露头区，解译时务必使阴影朝向自己，只有这时才是正立体观察，才会获得与真实地物影像一致的正立体像，才会无误的识别出各地物自身固有的特征和特点。否则，显示的将是一幅与真实地物影像相反的反立体像，这样，在粗心的情况下，很容易对某些地物或地质现象作出错误的判断。即使不粗心，用反立体解译也不见得每个人都习惯。正立体观察是我们进行正确解译的立足点。

(3) 在解译时将四个波段的图像进行分析再分析，对比再对比，要做到反复分析，反复对比，不厌其烦的分析，不厌其烦的对比。但要以 5 波段、7 波段为主，其它作为参考。如有条件，要采用不同比例尺、不同季节、不同颜色、不同太阳高度角和不同曝光强度成像的图像进行对比。对于解译岩性、地层和构造来说，最好采用无植被干扰季节、太阳高度角低时所成的图像。对于解译平原掩盖区的隐伏构造来说，采用植被刚出土或将枯死季节所成的图像，容易取得较好的效果。

(4) 对于难以解译、解像力低的部位，可采用航空像片作辅助，因航空像片比例尺大，可以看到影像的细节。也就是说，小比例尺影像特征难以区分的话，有时在大比例尺影像上则可以区分出来。所以在进行卫星图像解译的同时，配合进行一些航空像片的解译是十分必要的。

(5) 对一些目视解译比较困难的部位，在有仪器的条件下，可以进行重复的彩色增强分析，调配不同的色调组合，直到清楚地显示出地物现象为止。

(6) 对于规模较大或过大的宏观或超宏观构造单元，在一张或几张卫星图像也看不出其全貌时，可以用更多的卫星图像镶嵌一幅大的图像或结合起来，采取撇开细节的、远距离的，宏观或超宏观的观察方法进行解译，或用更小比例尺的镶嵌图与前者配合起来进行解译，效果最好。否则在单张图像上是无法识别出来的，即使捕捉部分影像，不只“见而不识”，而且极易陷入”错误推断”，或是“以偏盖全”。总之，在解译不同规模的地质现象时，要善于使用宏观、超宏观和微观观察，也就是远看和近看的有机配合，这是十分必要而有效的。这一方法的实质就是利用“自然取舍”的原理。

(7) 许多模糊的线性现象是不容易看出来的，要正对着线性现象方向、分组、定向、平移、仔细的看，才看得出来。也就是看到部分形迹后，再向两头延伸。

(8) 解译时一般用视域大的，3～6倍的手持放大镜，最好是 6 倍放大镜，进行详细观察和分析。解译好了之后，将卫星图像放在光线充足的桌子上，或放在有灯光的透图台上，在图像上蒙上一张绘图用的聚脂薄膜，将识别出的地质现象或界线用绘图铅笔分别画在薄膜上，勾画时尽可能不蒙透明纸和不使用特种铅笔，因为前者由于铅笔硬，易使卫星

图像损坏，后者则因色笔有色且粗，易给下一步再画带来困难。

(9) 卫星图像解译只是为确定在哪些地方做地面工作和怎样开展地面工作做准备，目的是使地面工作做得更快更好。不论卫星图像的解译工作多么细致、多么精密，其它方法的配合和野外验证都是必不可少的，只有通过多方面的验证才能做出最后的判断和结论。只要影像的显示是确切的、有规律的在卫星图像上出现时，一般来说大都可在野外“亲眼”去验证。“亲眼”见不到的，要考虑用别的方法去验证，千万不要以为亲眼见不到的就不存在。对于解译过程中认为把握性不大的、有疑问的地段，要进行详细的实地验证。此外，还要根据生产任务和科研任务的要求来定是否采集和采集多少标本。采集标本和样品是野外验证的重要内容之一。

(10) 将全部解译、野外验证和其它方法取得的资料，集中转绘到聚脂薄膜上，然后进行图面结构分析，如发现有不合理的现象，要进行重新解译和必要的野外验证，直到整个图面结构合理为止，也就是合乎客观实际为止。只有这样才能保证解译成果的高质量。

第三节　目视解译方法

遥感图像的解译和解译标志的运用，可归纳为以下几种方法。

1．直判法

是指直接通过遥感图像的解译标志，就能确定地物存在和属性的方法。一般具有明显形状、色调特征的地物和自然现象，例如河流、房屋、树木等均可用直判法辨认。

2．对比法

是指将要解译的遥感图像，与另一已知的遥感图像样片进行对照，确定地物属性的方法。但对比必须在相同或基本相同的条件下进行，例如，遥感图像种类应相同，成像条件、地区自然景观、季相、地质构造特点等应基本相同。

3．邻比法

在同一张遥感图像或相邻遥感图像上进行邻近比较，从而区分出不同地物的方法，称为邻比法。这种方法通常只能将地物的不同类型界线区分出来，但不一定能鉴别地物的属性。利用邻比法时，要求遥感图像的色调或色彩保持正常。邻比法最好是在同一张图像范围内进行。

4．动态对比法

利用同一地区不同时相成像的遥感图像加以对比分析，从而了解地物与自然现象的变化情况，称为动态对比法。这种方法对自然动态的研究尤为重要，如沙丘移动、泥石流活动、冰川进退，河道变迁、水库坍岸、河岸冲刷等。

5．逻辑推理法

它是借助各种地物或自然现象之间的内在联系，用逻辑推理方法，间接判断某一地物或自然现象的存在和属性。例如，当发现河流两侧有小路通至岸边，则可推断该处是渡口或涉水处，若附近河面上无渡船，就可确认是河流涉水处。

上述几种方法在具体运用中很难完全分开，总是交错在一起的，只不过在解译过程中某一方法占主导地位而已。当前多数计算机图像处理系统，均是利用遥感数据的波谱

特征进行统计识别分类，色调信息是其依据，而上述前四种解译方法，究其实质也是以色调信息为主要解译标志的，所以也适用于计算机图像处理系统。至于逻辑推理法，只有在能模拟人们对信息的观察和分析及经过大脑加工处理的结果，即包括信息的收集、认识、分析、推论、预测与决策等系统思维劳动的知识系统支持下，方能在计算机图像处理系统中应用。

第四节　常用的地学分析方法

遥感图像信息所反映的地理环境的综合性与复杂性以及遥感信息本身的特点，决定了遥感信息的单纯数学、物理处理结果具有不确定性或多解性。为了提高解译结果的正确性与可靠性，地学知识的介入是必不可少的。将地学分析与遥感图像处理方法有机地结合起来，一方面可以扩大地学研究本身的视野，促进地学的发展；另一方面可以改善遥感图像解译分析，识别目标的精度。在遥感图像解译过程中，地学分析的应用已日益普遍，並充实了新的内容。实际上，它们就是逻辑推理法的内容。现将几种常用的地学分析方法[8]简述如下。

一、地理相关分析法

在一定的区域范围内，地理环境中的各种自然景观、地理要素之间存在着相互依存、相互制约的关系。它们构成了一个统一的整体——地理综合体。其中包含着广泛的能量和物质交换。往往一种事物的存在，反映另一种事物的存在；一种现象可以揭示另一种现象。地面自然综合体在遥感图像上的影像本身就是综合体内各环境因子的综合反映。所谓地理相关分析法，就是研究某个区域地理环境内各要素之间的相互关系、相互组合特征。在遥感图像解译过程中是要通过对这些因子的特点及其相互关系的研究，从各个不同的角度来分析、推导出某个专题目标的特征，即寻找与目标相关性密切的间接解译标志，从而推断、认识目标本身。在相关分析中，首先要考虑与专题目标有关的主导因素。当主导因素在遥感图像上反映不明显时，可以寻找与目标有关且在图像上反映较明显的非主导因素，研究它们与目标的相互组合特征，从而确定专题目标的空间分布特征和属性。

一个地区自然环境的特点是由自然和人为综合因素决定的。在多种因素中，又会有一二个起主导和决定作用的因素。对于不同的目的，其主导因素是不同的；同一目的中，不同等级的分类系统，主导因素也可能不一。例如土壤是岩石风化物在生物、气候、地形、人类耕作等因素综合作用下形成和发展的，它是这些因素的综合反映。运用遥感图像进行黄淮海平原土壤分类，主导因素应考虑两个方面：一是土壤发育主要受地貌类型的制约，山麓是洪积冲积土，平原是冲积土，沿海是海积冲积土；二是影像上反映的岗、坡、洼相间的微地貌形态。它们是由黄河和海河水系的河流多次改道决口以及频繁泛滥所形成的。因而不难看出：洪水造成水系变迁，形成平原微地貌，影响地下水的分布与埋深，制约土壤的形成过程与盐渍化，呈现“岗旱、洼涝、二坡碱”的规律——控制作物、植被的分布。所以，水是该区自然环境起决定作用的因素。对该区进行土壤遥感分析时，应充分利用地下水所传递的信息——地下水的变化引起土壤表层湿度和盐度的差

异变化，选择干旱土壤返盐季节的遥感图像，同时选用对水反映最敏感的红外与微波波段的图像来印证。又如，植被是各种环境要素综合作用的结果，但在一定条件下，其中必定有对植被极敏感的主导因素。在唐山地区植被分类中，地貌是作为植被分异的主导因素。由于地貌的形态和地面物质组成具有明显的几何形态和光谱特征，因此可以从遥感图像上直接解译出山地、丘陵、平原和河流。根据地貌形态、光谱特征、当地农事历和物候等相关信息，不难确定植被结构和生态序列组合状况，并确定其边界。5月中旬的唐山，平原上有田垄整齐的小麦、玉米、高粱地和果园，山地和丘陵分布有落叶阔叶树和针叶树。平原上因地下采掘引起地面坍陷的部分，或积水成湖，或成沼泽洼地，为唐山独特的地貌类型，部分已利用种植水稻。沙河河道带内的沙地种植花生，沙岗被树固定，牛轭湖散布在现河道的两侧。

二、环境本底法

环境本底法，即了解一个地区的区域概况以及分析该地区地理环境的总体规律。在分析环境背景的基础上，搞清区域内正常的组合关系、空间分布规律和正常背景值，也就是搞清环境本底。由此寻找异常，并追根求源，找出异常原因，通过成因机制分析，在更大范围内寻找与异常有关的环境特征。这在遥感生物地球化学找矿中应用较多。

遥感生物地球化学找矿，就是通过对成矿背景的认识和成矿机制的分析来寻找异常。特别是通过矿化晕、地球化学元素迁移规律的研究，找出因地球化学元素异常而引起的植物、土壤等异常，寻找明显的异常标志，如指示植物、指示矿物等，利用这些异常现象来发现地下矿藏。

近地表的矿床和矿化地层，经风化后形成元素富集的分散流和分散晕（矿化晕），从而造成地表元素的地球化学异常。过量的金属元素对植物的毒害和抑制作用，引起植物体内化学成分的相应变化，在植物形态和色泽上有所反映，出现明显的植物异常。当元素富集的量超过植物所能适应的范围时，就会引起植物生态的变异，呈现出植物组合、植物密度、植物长势等明显异常，可能使一些植物种属消失，而出现另一些特有的种属。如中非著名的“铜花”（Ocimum homblei）是一种灵敏的有显著选择性的铜指示植物，根据它可以非常准确地追寻铜矿的踪迹。杜松（Juniper）是铀的指示植物；波希米亚的七瓣莲（Trientalis europaea）为锡的指示植物等。典型的指示植物以草本植物为多，它们能浓集某些元素，而且富集系数高，形态、色彩特别，“花”特异，通过彩色红外像片加以识别。遥感图像可以获得这种异常发生的时间、范围、强度等有用信息，利用植物光谱特征的变化，可作出植物异常图。再结合地面调查、采样分析、钻探证实、追根求源，不仅可以寻找到矿源和新矿化带，而且可以研究植物分布与地下矿化带之间的关系等，为进一步找矿服务。

我国内蒙白音都兰含油凹陷，为一个埋藏很浅的油气藏。其埋藏最浅的白垩系油砂层距地面仅90米深，油层总厚度达70米。由于油气扩散运移，造成了MSS5图像上圆形色调异常。植物发射光谱测定表明，0.688微米处反射率在圆形色调异常范围内表现出比外界较高的特点，最高值往往出现在靠近色调异常边界的地方。用MSS5/MSS4+MSS5+MSS7比值分析，此比值在边缘陡变的位置与MSS5图像上色调异常的清晰边界相对应（图5-2）。这是由于植物受烃类逸出的影响呈现出中毒现象所致。羊草、冷蒿、针

茅的全植株灰分分析表明：在圆形异常圈内，微量元素 Cu，Zn，Mn，Ni 均有明显增高，其中尤以 Mn 的增高最为显著。在石油地球化学勘探中，土壤气测结果表明：色调异常圈内有明显的重烃（乙烷、丙烷、丁烷）气体异常；土壤沥青分析结果表明，沥青 A 含量在异常圈内为 50ppm 以上，在圈外为 35ppm。可见，遥感图像上圆形色调异常与植物光谱异常、植物微量元素异常、地表石油地球化学异常以及油气藏均相对应，建立“油气藏—地面地球化学异常—植物光谱变异—MSS 图像应答”的模式，反映了内在成因的联系。研究环境本底与环境异常，为遥感找油提供了一条新路。

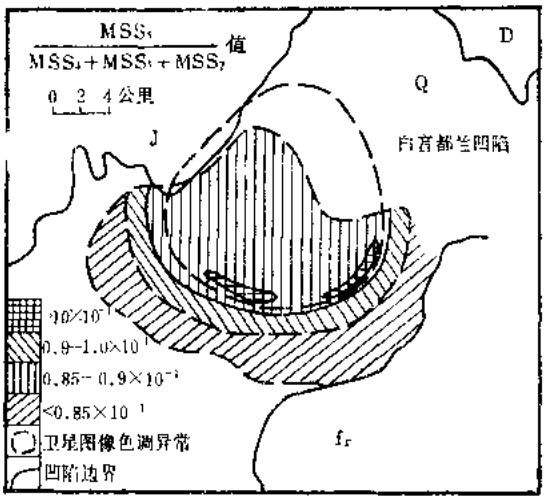


图5-2 光谱比值等级

常用环境本底法寻找和确定环境污染（如酸雨）和病虫害对森林植被造成的损害范围和程度。这在彩色红外像片上很容易把植被损害区与正常植物区区分开来。利用热红外图像研究地物热惯量差异，寻找热源体、热异常。热异常标志着巨大地热能源的存在，多与新生代活火山、岩浆作用有关，往往伴有热泉、热液矿床出现。放射性矿物所辐射出的射线，经介质吸收后可转变为热能，例如铀矿体可视为热源体。由于它们有别于环境本底，在遥感图像上可加以识别。

三、分层分类法

在自然界，地球表面的景物表现出复杂多变的特点。人们不可能利用一个统一的分类模式，对区域景物进行识别与分类。处理这种景物高度复杂性的重要方法，是了解某个特定区域范围内景物中各种类别的总体结构，用信息树的形式表示总体结构中的分级顺序和不同类别之间的相互关系，也可以根据特定的目的把信息树中最感兴趣的部分描述得更详细。

遥感分层分类法就是根据信息树所描述的景物总体结构来进行逐级分类的。实际上是按照信息树的第一级所列的类别进行分类，然后按照信息树的分支继续进行下一级的分类，直到信息树的最终结点上的类别判识出来为止。它与传统分类法不同之处在于，它不仅是按层次一步步地分类，而且在层次间不断加入遥感与非遥感的决策函数，从而组成一个最佳逻辑决策树，得出满意的分类结果。

分层分类法运用分级逻辑判别方式，使人的知识和判别思维能力与图像处理有效地结合，避免出现某些逻辑上的错误的分类结果。由于复杂景物经一定原则作了层层分解，因此在信息树的各个中间结点上只存在较少的类别，并具有较好的可分性。这样便于根据具体情况分别采取有针对性的分类方法，如特征选取，最大似然分类等。实践证明，分层分类方法在遥感数据分析工作中具有很大的潜力，可以提高信息提取能力和分类精度，还可以减少计算机处理的时间。

用色度空间变换处理后再合成的 SPOT 彩色图像（1:3 万）进行城市土地利用现状

调查时，采用了分层分类法。首先将地物形态结构清晰、属性明确的类型（街道、公共绿地、机场、水域、农田等）予以确认（图5-3），作为城市骨架的街道、网络清楚，将城市分割成各个街区。第二步则按街区逐块进行解译。根据建筑物顶部的形状、大小、颜色、排列及其组合形式，作建筑物属性判断。可区分出工厂、住宅、办公楼、附近有空地的建筑区和其它公共建筑。如果再进一步细分的话，可依据厂房形状、组合特点及附属设施认出工厂的性质：是电厂还是钢铁厂，或者是纺织厂等；依据住宅的阴影和房与房之间的距离确定是平房还是楼房；还可由绿化程度和房屋排列情况分出机关居民院和农村住房；依据办公楼的位置和环境判断是科研机关还是商业贸易用地，或者是卫生福利用地；附近有空旷地的建筑群则要看空旷地做何用，有操场跑道者为学校，有料堆的为建筑工地，有公路或铁路直接进入的可能是仓库或货栈，如唐山钢铁厂的设备库，油库等。对那些从图像上不能判定的建筑物，需要参考地形图或实地调查来确定。

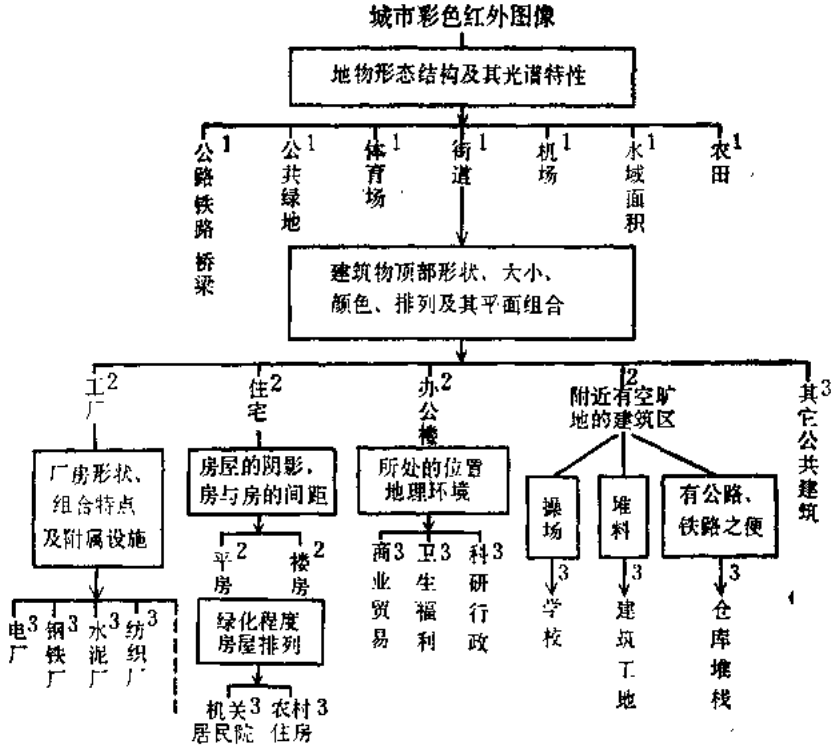


图 5-3　城市影像分类典型信息树及解译级序

四、系列制图法

自然界各种要素构成一个完整的统一体。自然界的各种现象有它自身的发生、发展和变化规律。这个规律与其它现象又是相互联系的。因此，要想系统、全面地阐明这种相互联系，需要综合地研究各种物体和现象以及它们的相关性。这就要求各个专业不仅要各自阐明某种或某些要素的特有规律，描述自然现象的多样性，而且还要求它们彼此之间能够相互论证、相互补充，从而揭示出复杂自然现象之间的联系，达到辩证的统一。

遥感图像为系列制图提供了可能和必要的信息源。由于利用同一地区和时间的遥感图像，采用同一基础资料和观察方法，因此在科学体系上易于统一。尽管各学科观点有所不同，研究程度各异，但在相互借鉴下，分类指标、分类系统和分类等级均便于协调。在统一

的制图规范下，对统一的地理基础底图，按照自然环境的区域分异原则及各级地理景观的空间结构与相互关系，划分各专题类型的重要界线，以保持各级界线在轮廓上相互协调，彼此对应。这样在综合的基础上分析，在专题分析的基础上综合，提高了对专题内容理解的深度和广度。另外，遥感系列制图中各种专题地图需按一定的逻辑顺序依次派生出来，这种派生的逻辑顺序必须符合这一区域自然综合体内在的规律性。如在反映基本自然条件的系列图中，地貌地势图必定是主要的。因为地貌地势是自然综合体各要素中最重要的要素之一。它的高低起伏和走向，在一定程度上决定着热量与水分的再分配，影响着水系的发育与形态，制约着植被和土壤的形成。编制土地资源评价图，必须先有土地利用现状图和土地类型图。然后从地质图、地貌图派生出植被图和土壤图等。这样既能保持各专题制图的差别和可对比性，又能揭示出各组成要素的统一协调和一致性，避免出现矛盾。遥感系列制图已成为遥感区域综合分析的重要手段，是区域研究成果的一种科学表达方式。腾冲航空遥感系列制图（25 种专题系列图）、山西太原幅农业自然条件和自然资源系列制图（17 种专题图）、“三北”防护林地区、黄土高原地区遥感综合调查系列制图，均反映了多学科综合分析、解译的成果，有利于对区域整体有系统的认识和专题研究。

五、区域区划法

区划方法是把区域内部的一致性、区域之间的差异性加以系统揭示和归纳的方法。区划有以下基本特征。

1．地域性

由于区域处在特定的三维空间位置和时间演进中，又受地带性与非地带性因素的制约，因而在不同的地区形成不同的自然综合体组合。对于某一区域，既有其固有的规律，又有其特殊的性质，即具有共性与个性。因此，区划具有明显的地域性，始终贯穿着因地制宜的原则。区划时要全面查清地域差异的表现，深入分析区域差异的原因，研究针对地域差异的措施，揭示地域差异的规律。

2．综合性

表现在全面地分析所有自然因素和社会因素，系统地考虑和研究地理环境各要素之间的相互联系和相互制约关系。任何区划都必须进行多因子的综合分析。

3．宏观性

区划是对较大范围的宏观研究，反映地域的全貌和主流，而不是侧重于它的细节，因此具有较大的概括性。

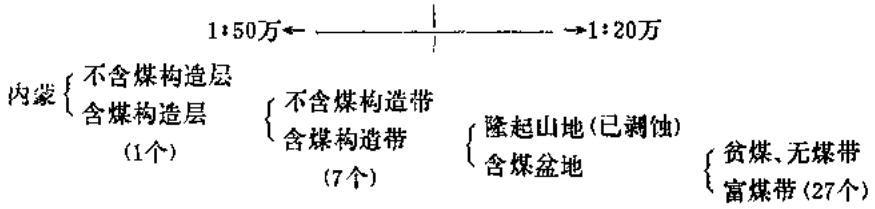
4．层次性

区划是按照一定的层次进行的。层次不同，其内部的相似程度也不同。层次愈低，其内部的相似性愈大。

传统的区划方法是按从下向上的综合、归纳方式进行的。遥感图像的信息具有综合性、同源性、宏观性以及动态的特点，为区划提供了丰富有效的信息，有可能采用从上而下的层次分解，逐级进行，直至最低分类单元，完成全区单一类型或综合类型的区划。在分析过程中，必须根据区划的目的和要求，在不同层次的区划中，选择具有一定空间分辨率的遥感图像，确定相应的分类标志，以及参考其它有关的辅助信息。例如，在内

蒙锡林格勒盟东部晚燕山期全褐煤带断陷盆地中遥感找煤，就是采取多层次区划方法，逐渐缩小找矿范围的。具体步骤是：

(1) 综合分析——由大到小，逐层分解，突出重点。最后，找到了27个煤矿区。



(2) 地貌—构造（隐伏）——成煤

这里含煤构造上均覆盖着不太厚的新生界地层，地貌与基底断块以及伴生的断裂有关，通过线性影像分析和地貌形态分析，找出含煤构造的位置、走向和规模，然后进一步寻找含煤构造带和地形上有利于保存煤的地带等。同时也了解成煤条件、含煤地层以及煤质情况。从大的区域区划着手，逐步缩小找矿范围，以找到具有成煤条件（包括地貌、构造、地层等）的成矿区。

六、水系分析法

水系是指某一干流及其各级支流的组合，即象小溪、冲沟、小河、支流和主流这些分枝河道排列组成的。水系型式是指干流与其支流具有一定规律的排列形式，深受区域构造、岩性、气候、地貌和时间等因素的影响。直接流入干流的支流称一级支流，流入一级支流的支流称二级支流。依次类推。

水系是各种环境要素综合作用的结果。区域水系受地理环境各要素之间相辅相成作用，又受地带性和非地带性规律的影响，致使水系型式的密度、形状、范围和类型是千变万化的，其发育与地貌、岩性、地质构造的关系密切，即一定的水系反映了一定的岩性和地质构造。水系在遥感图像上反映明显，特别是在红外和微波图像上，水体的反映最清楚，因此遥感图像可作为水系型式分类的最准确的信息源。水系分析法则是遥感图像解译的主要方法之一。

水系型式的无限变化给描述带来了困难。几经筛选确定了如图5-4所示的常见的类型。

(1) 树枝状水系(图5-4-1)

水系的所有支流均以锐角注入干流，并向所有方向自由发展，且具有偶然性。树枝状水系多出现在地面平缓倾斜、地质构造简单、岩性分布比较均匀的地区，一般在页岩、砂岩及花岗岩地区比较常见。

(2) 格状水系(图5-4-2)

同级支流彼此平行，并以直角注入干流。格状水系受垂直交叉的断裂、裂隙所控制，在平面上形成方格状。在板岩、片岩及砂岩地区最常见。

(3) 羽状水系(图5-4-3)

次级支流相互平行、短而密，干流、支流长而稀，次级支流均以较大的锐角或近似于直角汇入高一级支流或干流，形似羽毛。反映地面坡度十分均匀。水系结构细密，表明该区域由疏松、易冲刷的沉积物构成。

(4) 平行状水系(图 5-4-4)

同级支流彼此平行，并以大致相同的角度流入干流。它发育在大断层以一定角度横切基岩强烈褶皱的地区，干流沿断裂线走向发育，支流沿抗蚀能力弱的基岩流动，或地面坡度均匀的单斜山一侧流动。

(5) 放射状水系(图 5-4-5)

诸河由一地点向四周发散，呈放射状排列。一般分布在火山、孤山和穹窿构造地区。放射状水系能反映隐伏隆起现象。

(6) 环状水系(图 5-4-6)

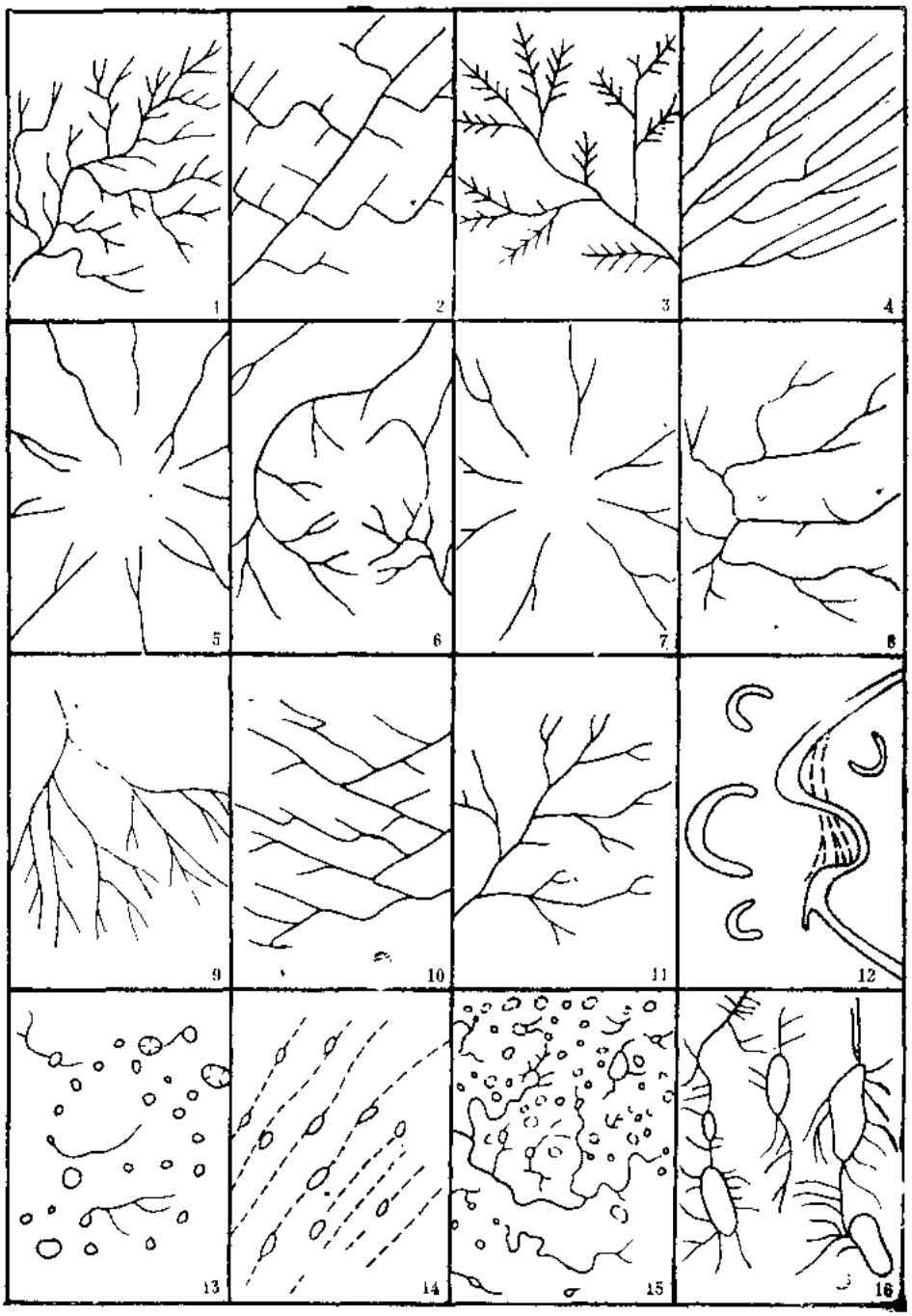


图 5-1 水系型式类型

由环状干流及其支流组成。环状水系形成条件与放射状水系形成的条件基本相同。但其主要集水的干流环绕隆起区的坡底通过，故在穹窿构造区较为发育。

(7) 向心水系(图 5-4-7)

诸河由四周向某一处聚合而成。发育于盆地或局部沉陷地区，是放射状水系的变种。

(8) 倒钩状水系(图 5-4-8)

这是受构造运动影响并产生河流袭夺现象后的水系型式。支流水流流向与干流流向多呈逆向，似倒钩状。

(9) 扇状水系(图 5-4-9)

河流从山地、高原流向平原、湖泊或海洋时，由于河流的比降骤然变小，在低的一侧形成扇形散流，如冲积扇、三角洲等扇状水系。

(10) 菱形格状水系(图 5-4-10)

是格状水系的变种。菱形格状水系受二组互相平行的断裂、裂隙所控制，在平面上呈菱形。

(11) 钳状沟头树枝状水系(图 5-4-11)

在上游沟头多呈钳状，为树枝状水系的变种。在花岗岩或基性侵入岩等块状岩石分布地区最为常见。

(12) 交织水系(图 5-4-12)

在河流下游平原地区，水网纵横交错，河流蜿蜒曲折，并有废弃河道、牛轭湖、叉流交织而成的水系。

(13) 落水洞水系(图 5-4-13)

发育在可溶岩石如石灰岩、石膏、白云岩地区，具有众多的漏斗、坍陷坑和溶蚀谷，河流时而消失流入地下成盲谷，时而又以泉水的形式涌出地表成为断头河。

(14) 不规则水系(图 5-4-14)

它发育在地表物质渗透性很强的沙漠地带，因沙丘间洼地底部存在有不透水层，而形成季节性或常年的积水洼地与间歇性河流。

(15) 陷坑水系 (图5-4-15)

它形成在冰碛覆盖的、轻微倾斜的冰水平原或永久冻土地区。冰碛中巨大的冰块，其融化后留下圆形或椭圆形的陷坑。陷坑则成为渗漏中心，与流入该中心的小河构成陷坑水系，为水系发育幼年阶段。

(16) 串珠状水系(图 5-4-16)

由一系列湖泊和流入湖泊的干流、支流组成的水系型式。它发育在高寒地带，具有不透水的下伏冻土层。这种水系处于水系发育的幼年阶段。湖泊大多为构造湖。入湖的河流可为树枝状、羽状或平行状水系。

我国水系型式分类研究尚处于定性描述阶段。为使水系型式能做到定量描述和计算机识别，我们在前人工作的基础上研究了我国典型的水系型式。用《1:50 万比例尺中国陆地卫星图像》进行全国范围内的水系型式采集，在初选出来的 70 个中国典型水系型式的基础上，筛选并确定了 20 种中国典型水系型式。水系形态差异是水系型式分类的主要依据，并用以下指标进行区分：干流形态、支流注入干流的角度、支流相对于干流的分布状况、支流的形态和支流之间的相互关系；不能用上述指标描述的，但具有地学

表 5-1　水系型式分类系统

树枝状水系	平行状水系	辐合辐散状水系	格状水系	环状水系	特殊型水系
1a. 树枝状水系	2a. 羽状水系	3a. 辐散状水系	4a. 格状水系	5a. 环状水系	6a. 灰岩坑水系
1b. 次生树枝状水系	2b. 倒钩水系	3b. 辐合状水系	4b. 变形格状水系		6b. 组合线性水系
	2c. 平行状水系	3c. 辐散扇形水系	4c. 长方形水系		6c. 湖泊组合水系
	2d. 次生平行状水系	3d. 辐合扇形水系	4d. 角状水系		
	2e. 不对称平行状水系		4e. 直线型水系		

表 5-2　水系形式

水系形式	典　型　区
1. 树枝状水系	陕西泾河流域
2. 格状水系	云南澜沧江及其支流
3. 平行状水系	淮河流域
4. 羽毛状水系	秦岭北坡渭河河谷
5. 放射状水系	长白山天池
6. 环状水系	牡丹江上游四方台附近
7. 辐合水系	塔里木盆地水系
8. 辫状水系	成都平原西部
9. 星状水系(1)	藏北高原
10. 串珠状水系(2)	诺敏河为辫状水系，其支流西瓦尔河为串珠状水系

注：(1) 星状水系相当于图 5-4 的串珠状水系；
(2) 串珠状水系指发育于古冰川中的水系，由冰川刨蚀的冰斗、冰槛后洼地积水成小型湖泊，小河将这些湖泊串在一起形成的。这与图 5-4-16 的含义略有不同，形式较为相似。

意义的特种水系型式。据此，将全国水系型式分为六大类（图 5-5，表 5-1）：即树枝型、平行型、辐合或辐散型、格状型、环状型和特殊型。大类下分亚类。定性描述了各类水系型式的基本特点和构成水系型式排列特点的影响因素，给出了水系型式的分类系统，从而为今后计算机水系型式自动识别奠定了基础。杜恒俭等编著的《地貌学及第四纪地质学》中，对我国水系型式也作了很好的研究。可供图像解译参考（图 5-6，表 5-2）。

七、交叉分析法[3]

交叉分析法主要指的是目视解译—光学图像处理—计算机统计分析交叉进行的分析方法。目视解译是把地学工作人员的专业知识引入图像分析，根据影像特征和影像上目标的空间组合规律来识别目标，并利用影像的综合性、宏观性等特性对各自然要素进行综合分析。因而，目视解译方法是遥感图像解译的最基本方法。但是，目视解译精度不够，定量化有一定的困难，解译过程中免不了带有主观色彩。光学图像处理经过彩色合成、密度分割、边缘增强等一系列光学变换，进行某些专题目标的特征提取，与目视解译密切结合，达到识别目标的目的。这种方法简单易行、速度快、成本低，是一种经济有效的方法。但是，光学图像处理受干扰因素多，信息损失较大，几何精度较低。计算机图像处理是用计算机对遥感原始数据进行处理，可以利用各波段、各像元间灰度值的最小差异，探测目标的微小变化，精度高，适于定量分析，对数据的处理方式多，具有很大的灵活性。但是，计算机处理，主要是对像元的亮度值进行处理，而对纹理和图型的处理能力差，更不能运用地学规律加以综合分析，而且对设备要求高，费用大。交叉分析的目的就在于充分发挥目视解译、光学图像处理与计算机图像处理各自的长处，将它们有机地结合起来，组成一个经济有效的工

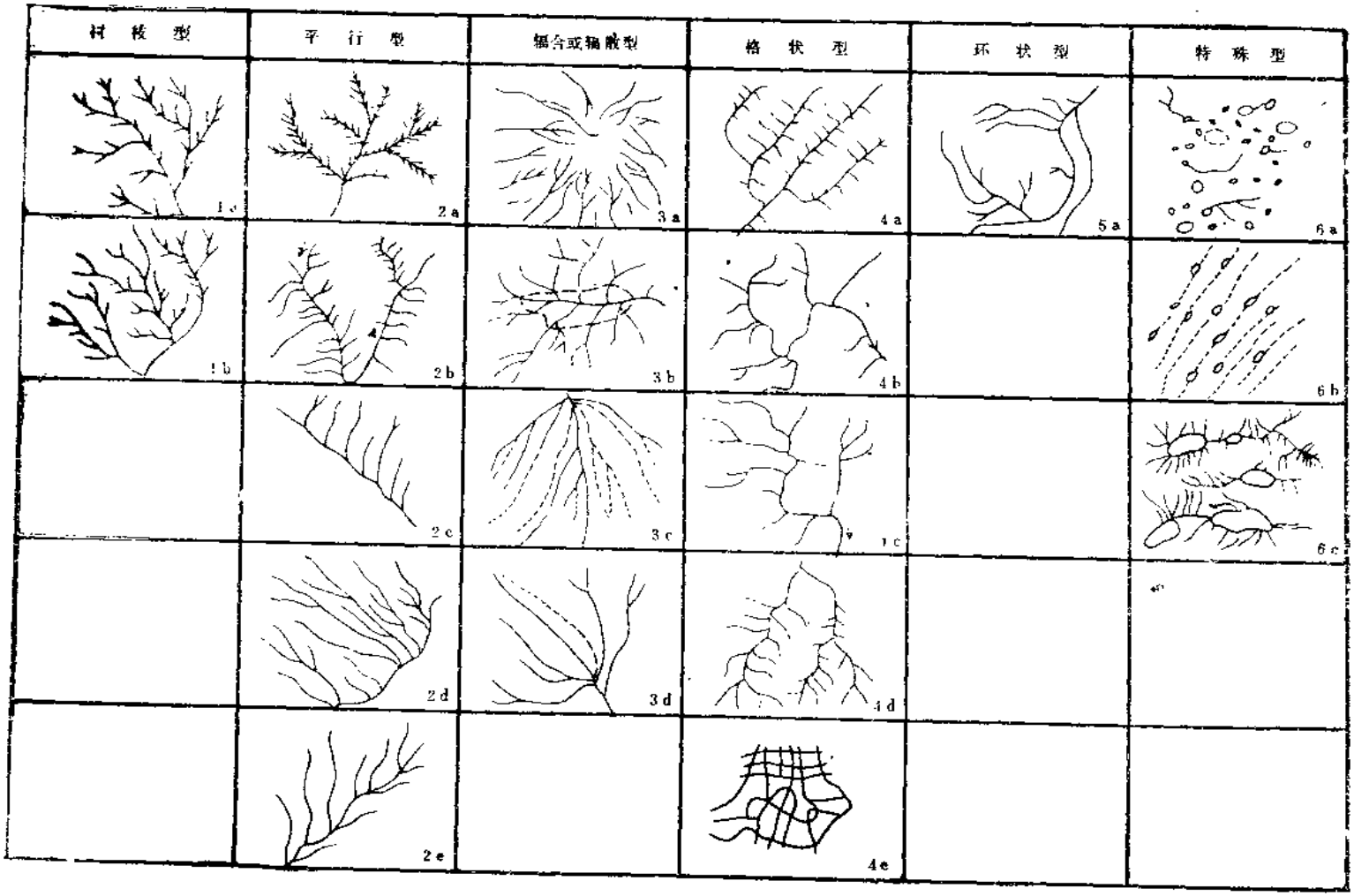


图 5-5　水系型式分类系统（注释见表 5-1）

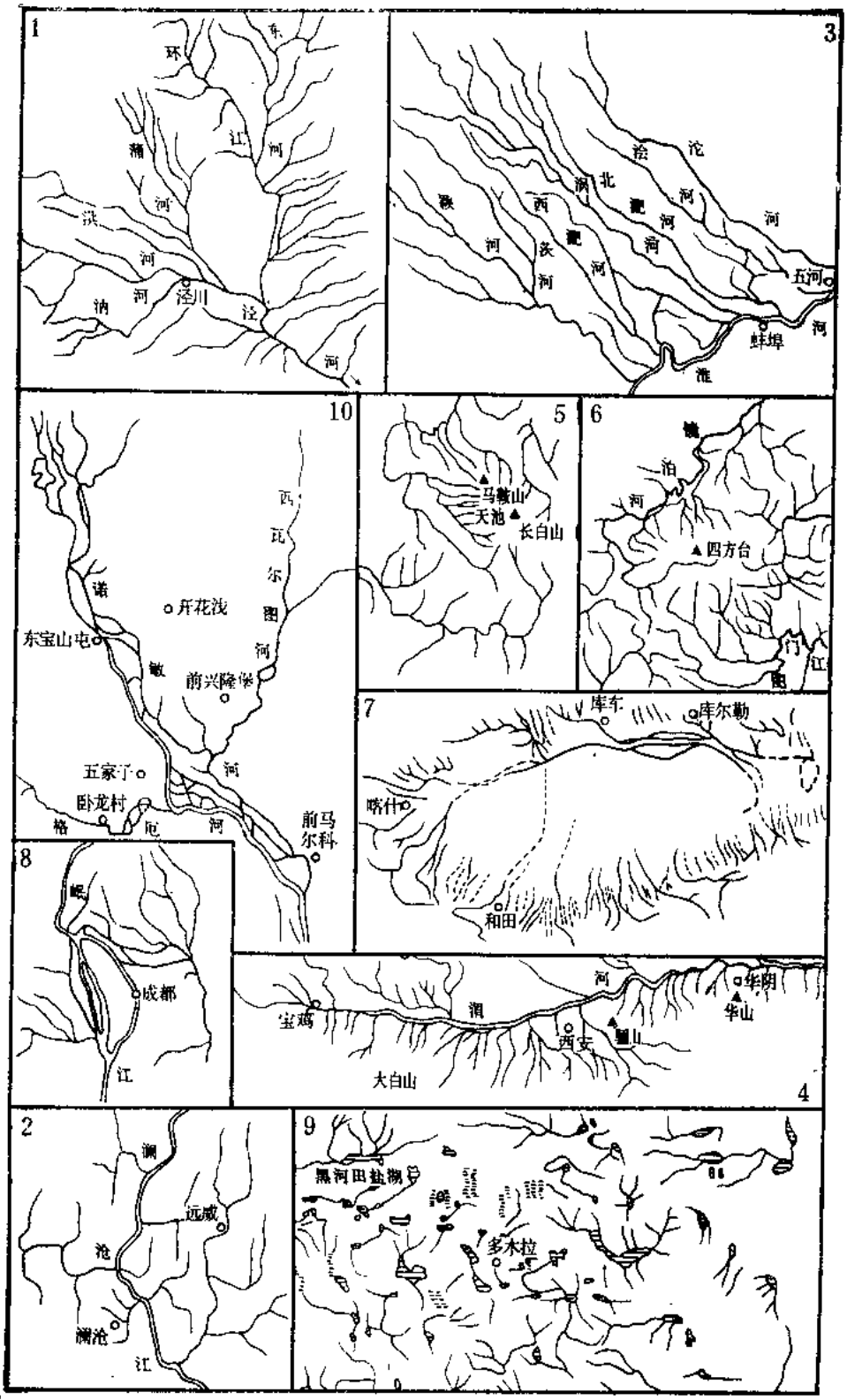


图 5-6　水系形式（注释见表 5-2）

作程序。

八、信息复合

信息复合是指同一区域内遥感信息之间或遥感与非遥感信息之间的匹配复合。它包括空间配准和内容复合两个方面，从而在统一地理坐标系统下，构成一组新的空间信息、形成一种新的合成图像。信息复合的目的是突出有用的专题信息，消除或抑制无关的信息，以改善目标识别的图像背景。

各种单一遥感手段获取的图像，在几何、光谱和时间分辨率方面存在着局限性。如果通过匹配处理将不同遥感手段得到的图像复合起来分析，并加入有关的非遥感信息，便可获得应遥感用中较完善的数据，便可更清晰地论述问题的全貌。统一运用多种数据源，共同阐明研究区域中的种种特征，需要采用统一的空间坐标和投影，才能得到经过定位配准可对比分析的“地理底图”，在此基础上方可进行各种信息的复合。

1. 多波段遥感信息的复合

地物在不同波段的波谱响应的差异很大。借助于各种不同类型传感器的不同波谱道来获取地物反射和辐射特征的微弱差异，用“叠加光谱图”直观地反映不同地物在各波段的光谱响应特征的分布状况(图 5-7)，由它区分不同地物的差异。同时对于难以区分的地物可以通过在不同波段的光谱响应特征的差异，采用多波段结合加以识别。如图 5-7 所示，水(C) 在两个近红外波段的光谱响应都很低。在 0.52～0.57 微米波段内，玉米(E) 和大豆(F) 的响应比较相似；在 0.61～0.70 微米波段内，大豆的响应比玉米低；到了近红外的两个波段，大豆的反射率比玉米的高；热红外波段内，玉米和大豆的响应又比较相似。此外，根据光谱的统计分析和计算，并考虑到目标的可分性大小，必须进行相关性研究，以确定最佳波段组合方案，达到实现目标识别的最终目的。

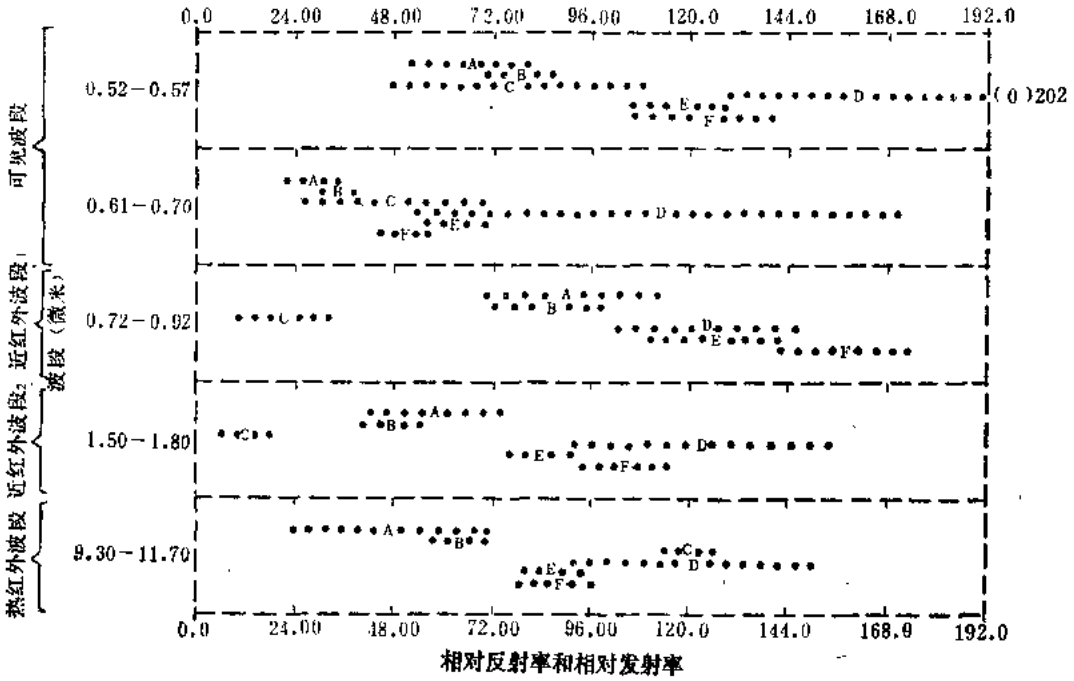


图 5-7　不同地物的叠加光谱图（平均值 ± 1σ）

A—阔叶树；B—针叶树；C—水；D—牧场；E—玉米；F—大豆

2．多时相遥感信息的复合

不同时相遥感信息的匹配复合，是以光谱特征的时间效应，提取多时相同一地物的遥感数据。利用它可分析季相节律，如植被与农作物发育，河流、湖泊水位消涨，冰雪积融，土壤盐渍化的积累和淋溶等；或分析长周期变化，如城市扩展、农田利用演变、河道变迁、三角洲发展和黄土侵蚀变化等，以掌握变化全过程，论述其发展趋势。

3．多平台遥感信息的复合

凭借多种传感器不同波段响应的差异，相互补充印证。通常将空间分辨率差异较大的遥感信息进行匹配复合，主要用于局部区域。往往在宏观性研究的基础上，选择重点区域，与其空间分辨率高的遥感信息进行复合处理，以此提高区分、识别特定地物的细节的能力。如光学套合得到的卫星图像-航空像片影像重合图。卫星图像主要反映断裂构造形迹特征，便于宏观了解区域地质构造；航空像片主要反映微观细部构造。可见，利用航空或卫星遥感信息波段广，对水体、湿度、叶绿素、生物量、热特性、粗糙度等都有不同的反映的功能，综合分析波谱特点，对比验证信息含义，可提高遥感分析的精确度。

4．遥感信息与非遥感信息的复合

(1) 遥感图像与地图的复合

影像地图是遥感影像与地图复合的产物。它具有一定的数学基础，有丰富的影像信息和一定的地理要素。它是由遥感影像经纠正处理后与地图套合、镶嵌而成的。影像地图有两种发展趋势：一是地图影像化，以地图作为控制骨格，原用面状符号表示的内容如冰川、沙漠、江心洲等均用遥感图像的影像代替，使图变得形象生动、正确、详细；二是影像地图化，以在几何纠正过的影像上加注部分地理要素的形式予以表达。

影像地图的最大优点是更新快。因而利于掌握动态变化，更新地图。

(2) DTM 与遥感数据的复合

数字地形模型(Digital Terrain Model，简称 DTM) 是地形的数学描述，数据存贮多为等距格网模式(矩阵形式)，与多波段行扫描图像(MSS) 的数据存贮形式类似。因此，二者的复合，在数据格式方面是十分便利的。DTM 与MSS 两者的复合，主要表现在用 DTM 来校正 MSS 数据中因地形起伏所造成的像元位移，提高MSS 数字影像的精度；DTM 参与 MSS 分类，利用地形高程信息作为辅助信息，可改善分类精度。

(3) 遥感与地球物理、地球化学信息的复合

地球物理信息(地球重力场、地磁场等) 是指不同深度地壳物质的物理性质，如内部结构、物理组成、基底表面的起伏等。地球化学信息是反映不同深度地壳物质的化学性质，包括组成成分、化学元素含量、分布、赋存形式等。二者的变化，不仅涉及到化学元素内部电子跃迁、原子振动、分子转动等微观变化，它们影响着地物本身的物理化学性质、波谱反射与辐射特征，而且还涉及到地貌、植被、土壤等宏观变化，它们控制着地物的空间组合与分布的特征。这些变化可以由遥感图像的影像特征部分地反映出来。

遥感图像的影像特征差别，主要取决于地物本身的属性以及自然地理条件和复杂的地质构造因素等。一些地下隐伏特征往往能够以不同的形式反映到地表上来。具有地质意义的地表线性体、环形体，通常是由地形、植被、土壤、岩石、含水性等的差异以及空间组合特征的局部变化反映在遥感图像上。地物的地学属性与其影像特征之间具有明显

的相关性，如断层与线性形迹相关、火成岩与环形形迹相关。遥感与物化探、地质、地形等多种地学数据进行匹配复合、相关研究、综合分析，不仅可以清晰而直观地反映出各种数据间的相互关系和各种地球物理场和地球化学场的空间分布，研究自然作用的内在规律，揭示图像的成像机理，而且可以准确而有效地提取地质信息，利于进行地质构造分析、成矿预测和水文勘探。

遥感与地球物理、地球化学信息的复合主要应用在地质研究和地质找矿上。如将安徽铜陵地区卫星图像、地层、断裂、矿产、航磁和航空放射性等 8 种资料进行配准叠合，经若干初步处理，取得了较好的地质效果。叠合图像使构造格局反映得更加清楚，东西向的铜官山—狮子山断裂有一宽断裂破碎带，区内主要矿床和出露岩体几乎都沿该带分布，为重要的控矿控岩断裂。环形构造形迹为深部(隐伏)或地表岩体的反映。区内矿床主要与燕山期中酸性岩体有关，具有环形影像特征，同时从已知矿点分布分析，除了与环形影像相关外，且多位于几组断裂交叉部位，以及产于岩体与石炭—三叠纪灰岩接触带上，由此得出，同时具备以上三条件的岩体是成矿的有利部位，为进一步工作的远景区。

九、地理信息系统

地理信息系统 (Geographic Lnformation System，简称 GIS) 是管理空间数据的计算机系统。空间数据是指不同来源的用遥感和非遥感手段所获取的数据，它有多种数据类型，包括地图、遥感影像、统计数据等，其共同特点是都有确定的空间位置——地理坐标参照系统。其工作过程主要是通过空间实体的空间位置与空间关系来进行的，当然也可以通过它们的属性来进行。它对空间数据除管理、检索、查询外，还必须进行各种运算和分析。其输出除表格、文字、数据外，主要的形式是图形。地理信息系统主要供分析和管理在一定地理区域内分布的各种地学、社会现象和过程之用。它是地学、计算机、系统工程等学科知识的融合，是跨学科的技术系统。由于遥感是地理信息系统的一个重要的数据源和强有力的更新手段，因而地理信息系统作为一种空间数据管理、分析的有效技术，可为遥感提供各种有用的辅助信息和分析手段。目前，地理信息系统的一个重要发展趋势，是加强空间信息管理系统与遥感图像处理系统的联系，通过两者的结合来提高资源与环境信息系统在动态分析、监测与预报方面的能力，改善遥感分析的精度。

由于地理信息系统用数学形式来描述空间实体，因此称之为地学的第三代语言，是地学研究的方向。从这一角度看，我们把地理信息系统作为地学分析方法列入也是可以的，虽然它与目视解译距离大些。

遥感图像反映的地理环境是一个错综复杂的大系统，图像上的信息是地表物体特征的综合反映，所以在遥感图像解译过程中，各种解译方法以及地学分析方法都是交错运用的，很难完全分开。但是，在某专题研究过程中，需根据任务要求的精度、提供的经费和设备条件、乃至区域状况，决定用哪种方法为主，哪些方法为辅，先作设计，确定工作步骤，才能起到事半功倍的效果。

参 考 文 献

[1] 马鸿良、顾恒岳、吴敏敏等编，国土资源遥感技术，四川科学技术出版社，1989 年。
[2] 马蔼乃，遥感目视解译的基本理论与方法，遥感信息，(3)，1987。
[3] 陈述彭、赵英时，遥感地学分析，测绘出版社，1990 年。

第三篇　遥感应用

第六章　农业遥感

农业遥感的内容很多，然而目前农业遥感多用于土地利用现状和土地资源的调查。土地是地表某一地段包括地质、地貌、气候、水文、植被、土壤等全部自然要素以及人类活动影响在内的自然综合体。它的研究对象是地球四大圈层相互接触的边界，即土壤的母质层→地形地貌→植被冠层，是各种自然过程（包括物理过程、化学过程、生物过程及人类活动）最活跃的场所。从时空观点分析，地貌形成过程中产生的松散堆积物，是形成土壤的母质；地形地貌（坡度、坡向、水文条件等）决定了土壤和植被的分布；植被扎根土壤，吸收其养分，植被类型受土壤性质制约，即植被类型可反映土壤类型……构成土地覆盖。可见，农业遥感中最基本的识别要素应是地貌及其松散堆积物、植被类型和土壤类型。本章就根据它们各自发育的特点、规律和相互关系以及在遥感图像上的反映，叙述这些最基本的要素的识别和应用。

第一节　地貌形态和堆积物的识别

地貌形态大小不等，千姿百态，成因复杂，但是，它们都是内外营力相互作用的产物。大如陆地、洋盆、山岳、平原，其形成主要与地球内营力作用有关；小如冲沟、洪积扇、溶洞，主要由外营力塑造而成。现代地表不同规模、不同成因的地貌，处于不同发展阶段，按不同规律，分布在不同地段，使大地成为一幅极其复杂的“镶嵌”图案。

地壳相对稳定时期，起着雕塑作用的各种外营力比较活跃。任何一种外营力作用的结果均呈现为侵蚀和堆积两种地貌形态[1]（表 6-1），即在塑造地貌形态的同时，也形成第四纪堆积物，就像河流在形成侵蚀谷的同时生成了它自身的破坏物——冲积物一样。所以，在研究地貌形态的同时，必需研究有关的第四纪堆积物。地貌学、第四纪地质学常从不同的角度去研究同一对象。在许多情况下，它们研究的结果，互相补充、互相验证。

地貌体概括起来有“形”和“物”两方面的信息。形——形状、规模、坡度、分布部位等；物——颗粒大小、分选好坏、矿物组成等。“形”要有“物”来体现。遥感图像解译时，要根据这两方面的信息和影像特征的差异来识别。

一、堆积物的识别

第四纪堆积物为松散物质所组成。松散堆积物的岩石类型，即使在大比例尺航空像片上也很难直接辨识，但是岩性的差异影响微地貌特征、植被类型及其覆盖程度、水文

表 6-1　地貌基本形态的成因分类表

	1. 外力作用形成的	
	侵蚀类型	堆积类型
坡地重力作用	崩塌坡、崩塌悬崖，滑坡壁、滑坡裂缝，错落崖	岩屑堆、倒石堆，滑坡体(滑坡洼地、滑坡阶地、滑坡鼓丘、滑坡舌)，错落体，土屑蠕动坡
流水作用	坡地冲刷坡，泥石流沟，沟槽、切沟、冲沟、坳沟、河谷，河床、干河床、峡谷、深槽、凸岸、凹岸、跌水、陡崖、离堆山、牛轭湖、废弃河道，三角港，侵蚀阶地、基座阶地、曲流阶地，风口、袭夺湾、断头河、裂点，水系（树枝状、格状、平行状、放射状、环状、幅合状、网状）	坡积裙，泥石流扇，洪积扇（串珠状、叠叠式、不对称叠叠式），浅滩、边滩、心滩、河漫滩、河岸沙堤、江心洲、沙坡、堤间洼地、天然堤，三角洲（扇状、鸟爪状、鸟嘴状、岛屿状），堆积阶地（内叠、上叠、埋藏阶地），冲积平原，洪—冲积平原
岩溶作用	溶沟、石芽（全裸、半裸、埋藏）、石林、漏斗(溶蚀、塌陷)、竖井、落水洞，溶蚀洼地、溶蚀谷地（坡立谷）、干谷、盲谷，峰丛、峰林、孤峰，溶洞（管道状、水平的、袋状的、长廊状、地下厅、多层的）、溶孔、地下河	石钟乳，石笋，石柱，石幔，石灰华，地下河或湖的堆积，洞穴崩塌、蚀余、生物或文化层的堆积
冰川和冰水作用	冰斗、刃脊、角峰，悬谷、冰溜面，冰槽谷、槽谷肩、冰蚀三角面，冰蚀盆、羊背石，冰下河道，冰水湖泊	前磧堤（终磧堤），冰磧丘陵(底磧丘陵)，鼓丘、冰川漂砾，冰水扇、外冲平原、冰水阶地，冰砾阜、冰砾阜阶地，蛇形丘、锅穴
冻融作用	冰楔、裂隙，热融滑塌，热融沉陷漏斗、洼地、盆地，高夷平台地坡、劈裂、秃裸台地、冻融台地、台坎，冻融夷平面	石海、石川、石流扇、石环、石带、多边土，冰椎、冰丘，冻融岩屑堆（裙、带），冻融泥流坡、泥流舌、泥流阶地，土溜堆积坡
风沙作用	石窝、风蚀垄槽（雅丹），风蚀残丘、风蚀柱，风蚀蘑菇、风蚀城堡，风蚀洼地、风蚀沙地、风蚀谷	沙坡纹、沙堆（蝌蚪状、盾状），新月形沙丘、抛物线沙丘、横向新月形沙丘链，新月形沙垄、纵向沙垄，梁窝状沙丘、格状沙丘、蜂窝状沙丘、金字塔状沙丘、鱼鳞状沙丘群、复合纵向沙垄、穹状沙丘
风、流水和重力综合作用	劣地，山足面、山前夷平面、山前剥蚀残丘、岛状山干谷、黄山沟，黄土塬、黄土梁、黄土峁、黄土丘陵、黄土墚、黄土坪、黄土崖、黄土柱、黄土桥、黄土碟、黄土陷穴	山麓裙，沙漠岩漆或结皮，石漠、砾漠、沙漠、泥漠、黄土湾溜
海、湖和河水综合作用	海蚀穴、海蚀崖，海蚀穹、海蚀残丘(柱)、海蚀拱桥，海蚀台（海阶地），海蚀水下斜坡、水下岩脊，涨落潮流沟道、浪蚀沟，河口叉道、冲刷洼坑	海积水下斜坡、水下堤坝，海积阶地、海滩、海岸堤、海滨平原，离岸坝、拦湾坝，环状沙坝，连岛坝、陆连岛，泥滩岸、河口沙嘴、沙坝、心滩、河口沙岛
生物作用	动物穴	珊瑚礁（环礁、堡礁），泥炭沼泽草丘，盐沼泽草丛草丘，河漫滩草地
	2. 内力作用形成的	
反映古构造（静态）	背斜山、向斜山，塔状构造阶梯、桌状台地、方山，单面山、猪背脊，断层三角面、断层崖、地垒山，穹窿山、结晶岩山地	向斜谷、单斜谷、背斜谷，断层谷、地堑谷，地堑盆地、断陷盆地，顺向河、次成河、逆向河
反映新构造活动	高原、山地、断层崖，大陆架、大陆坡、海岭、平顶山、岛弧	平原、盆地、地堑断陷谷地，海沟、海盆

续表

	2. 内力作用形成的	
	侵蚀类型	堆积型类
岩浆活动	火山口、火山濑，熔岩丘、熔岩流、熔岩柱、熔岩台地、熔岩垄岗、波状或多孔熔岩面	火山锥、寄生火山锥、盾状火山、马蹄形火山、火山弹、火山碎屑、火山灰、泥火山、海底火山
	3. 人为作用形成的	
人类活动	露天采矿场、矿井口，运河、渠道、梯田，土坑、石坑、坑道，浅井、钻孔，路堑	土堆、石堆，路堤、河堤、拦河坝，防波堤、丁坝，古代城墙及建筑物废墟，居民点（城市、镇村）塔，史前遗迹

注：(1) 地貌基本形态除依成因标志划分外，仍可依形态量计、物质组成、发育情况（如死的、活的；正在形成的，衰亡的，残余的等）和年龄等标志划分。

(2) 风、流水和重力综合作用即干燥作用。

状况等自然环境要素，而且岩性的变化和堆积地貌之间也有一定的关系可循。所以，可以在航空像片上依靠这些间接标志和影像色调、形状等特征进行解译。

一般而言，砾石层、沙层、粘土层和黄土等类型的解译标志比较确切、清楚，而分布相当广泛的粘质沙土和沙质粘土在航空像片上较难区分，且与粘土层的影像特征类似。角砾层和砾石层在航空像片上也难区分。所以在松散堆积物岩石类型识别时，除了运用综合解译标志外，还需用下列方法推测判断。

(1) 地貌部位分析。堆积物靠近侵蚀区的，以分选层的粗粒物质为主；在平原区以细粒物质为主。洪积扇扇顶部位的物质就比扇缘的粗。

(2) 成因类型分析。风积物以沙和粉沙为主；湖积物以粘土、沙质粘土为主；冰积物则为泥砾。成因与岩性密切相关。

(3) 地层单位分析。区域地层单位系由一定的岩石类型构成，如益阳地区全新统湖积冲积平原，一般是黑色沙质粘土、粘土层。由区域地质调查报告可获取这些资料。

松散堆积物岩性识别，选定从堆积地貌形态特征、边坡、次生地貌单元、影像特征（色调、图型）、植被发育程度、水文状况等方面，来区分砾石层、沙层、粘土层和黄土（表 6-2）。

表 6-2 松散堆积物岩性识别

岩石类型	堆积地貌形态特征	边坡	次生地貌单元	影像特征		植被发育程度	水文状况
				色调	图型		
砾石层	微有起伏的波状地面	坡度均一，其角度取决于粒径及其固结程度	冲出锥，小型的洪积扇、石川	较暗	零乱粗糙	稀疏	水系不发育
沙层	地表平坦	平缓	各种风积地貌	浅而明亮	规则均一	稀疏	河道稀少
粘土层	顶面平坦	陡峭、滑坡发育	低洼地发育沼泽；干涸后成龟裂地	深暗	细碎	茂密	冲沟发育，多泉点
黄土	塬顶面平坦，梁峁顶面呈弧形	陡峭	塬、梁峁及坍陷涧等	浅而明亮	规则斑状或细碎图型	地表裸露	多冲沟缺水

松散堆积物成因类型解译时，首先应注意堆积物分布的地貌位置和形态特征，从堆积物分布位置大致可以确定形成时期的动力条件，其次还应注意区域地貌发育过程的分析，这样才能全面、正确地认识堆积物的成因类型。如某干燥区由潜水补给的盐化湖泊，由于风沙侵袭，湖泊日益缩小。由此可以认定，航空像片上的深色调是滨湖地带，其堆积物是湖积和风积的混合类型，上表层应是现代风积作用的产物，平滑的浅白色部分是现代湖盆的盐类沉积。

松散堆积物主要的成因类型有以下几种。

1．残积物

它是由岩石表面经物理、化学风化作用而残留在原地的碎屑物。残积物颗粒的粗细决定于母岩的岩性，其成分与母岩的岩性密切相关。如花岗岩的残积物中，长石常分解成粘土矿物，石英常破碎成细沙，石灰岩的残积物则往往成为红粘土。残积物一般透水性较强，无地下水，多半分布在平缓的分水岭上和低缓的山顶、山岗上。在没有土层和植被的情况下，在航空像片上呈浅色调，冲沟平缓，平面轮廓为掌状。软硬岩相间、颜色不同的岩层，经风化后形成的残积物，在航空像片上反映为黑白相间的色调。发育在残积层中的水系，往往要受基岩裂隙、节理、构造线、微地貌的控制。

2．坡积物

高处的风化碎屑物由于雨水或雪水的搬运，或者由于本身的重力作用，堆积在斜坡或坡脚，这种堆积物称为坡积物。它的岩性成分是多种多样的，但与高处的岩性组成有直接关系。坡积物一般具有棱角，分选差，但由于重力作用，比较粗大的颗粒一般紧靠斜坡堆积，而细小的颗粒则分布在离开斜坡稍远的地方。在斜坡较陡的地段厚度较薄，在坡脚地段堆积较厚。一般斜坡的坡度愈陡，坡脚坡积物的范围愈大。新近堆积的坡积物经常具有垂直的孔隙，结构显得比较疏松。坡积形成的黄土，其湿陷性一般比洪积或冲积形成的黄土要高得多。坡积层中的地下水一般属于潜水，在坡积物非常复杂的地区，有时形成上层滞水。

坡积物在低山丘陵区分布较为普遍，在山坡脚下易形成坡积裙或扇形地貌形态。坡积物堆积区常发育冲沟。表层植被发育或生长有林木。航空像片上具有较深的色调。

3．洪积物

它是由风化产物被临时性水流和散流搬运到平缓地区而形成的。洪积物可能在山坡的低缓处堆积成洪积扇，也常被带至山坡以外形成洪积裙。扇形有平整凸起的表面，呈现为半圆锥状，扇形下方边缘凸起较平缓，多位于沟谷出口处。活动的洪积扇表面很象河流三角洲，有临时性小河和细流所切割，在航空像片上呈灰白色。稳定的洪积扇表面较平整，轮廓不太明显，河流由切入洪积扇的侵蚀谷流入平原，沟槽固定，通常有林木和杂草生长。洪积扇的发育常迫使流经这里的河流河道弯向对面山坡的一侧，洪积物和冲积物之间有一条明显的界线，为浅色线条。

洪积物具有一定的分选性，自扇顶往扇缘方向，堆积物的颗粒由粗大逐渐变细，由砾至粘土，但是粗细颗粒间没有明显界线。洪积物还具有比较明显的交错层理。一般离山区或高地近的地方厚度大，远的地方厚度小。洪积物中的地下水一般属于潜水，在扇顶潜水埋藏深，扇缘则埋藏浅。

4．冲积物

河流在平缓地段堆积下来的碎屑物，称为冲积物。按其形成条件，冲积物可分为三种。

(1) 山区河谷冲积物

大部分由卵石、碎石等粗颗粒组成，分选性差，厚度一般不大。

(2) 平原河谷冲积物

河流上游的冲积物一般颗粒粗大，向下游逐渐变细。冲积层一般呈条带状，具水平层理，有时也成交错层理。冲积物颗粒磨圆好。

平原河谷冲积物有明显的地貌特征，如河床、河漫滩、牛轭湖和阶地等。平原河谷冲积层中的地下水一般为潜水，由高阶地补给低阶地、河漫滩，再补给河水。

(3) 三角洲冲积物

三角洲冲积物是河流搬运的大量细小碎屑物在河流入海或入湖的地方堆积而成的。一般分为水上和水下两部分，水上部分主要是河床和河漫滩冲积物，如沙、亚粘土、粘土等，一般呈层状或透镜体。水下部分则由河流冲积物和海相或湖相堆积物混合组成，呈倾斜的沉积层。

三角洲冲积物中的地下水一般为潜水，埋藏比较浅。它的厚度很大，分布面积也很广。

冲积物发育地区的植物在航空像片上有明显的影像，喜湿植物可以帮助划分河漫滩和阶地。地面平坦，多为格状田块。

5．湖积物

湖泊内由于机械、化学或生物作用而形成的堆积物，称为湖积物。湖积物具有较好的分选作用，一般湖岸堆积物的颗粒较粗，湖心堆积物的颗粒较细。山区湖泊堆积物一般较粗，平原湖泊堆积物一般较细。湖积物的特点是具有明显均匀的很薄的水平层理。湖积物中淤泥和泥炭分布广，湖相粘土或多或少含有碳质、沥青质、石灰质、石膏质等。湖边缘常有喜湿植物或水生植物生长，在航空像片上湖面呈黑色，湖相堆积物为灰色，植被呈灰黑色。

6．海积物

这里是指海洋中靠近海岸、海水深度不超过20米、经常受涨落潮作用的狭长地带的堆积物。主要是碎屑物的机械堆积，一般是淤泥、粉沙堆积，颗粒为圆形，分选性较好。同时由于海水动荡不已，而且海积物常常露出水面，所以常有波痕、泥裂、交错纹、雨痕等。滨海堆积物的宽度与波浪、岸流作用的大小和海域原始地形有关，其宽度最大可达数公里。在靠近河流入海处，滨海堆积物中常夹有成分不同的河流冲积物，破坏了滨海堆积物的分带规律。潮间带以上的海岸有稀疏的植被，红树林海岸则例外。

7．冰积物

凡与冰川活动或冰川融化的冰下水活动有关的堆积物，称为冰川堆积物。它一般没有分选性，杂乱而无层次，巨大的岩块和细小的沙、砾堆在一起，具有极大的不均匀性。由于在搬运过程中，岩块都被冻结在一起，互相间没有摩擦碰撞，因此，冰积物保留着尖锐的棱角。冰川两侧和底部的岩块，因与谷底或谷壁的摩擦，常常有擦痕存在。根据其形成条件，冰积物可分为冰碛堆积物、冰水堆积物和冰碛湖堆积物。前者是由固体状

态的冰川直接融化堆积，未经过水的冲刷或搬运；后两者则是由冰川局部融化后的冰下水所挟带的碎屑所堆积，在冰碛湖堆积物中有粗细颗粒交替沉积的季候泥。冰积物厚度是不一致的，决定于冰川的形态与规模。一般山区冰川所堆积的厚度不大，且不连片。

8．风积物

在干燥气候条件下，岩石的风化碎屑物被风吹扬，往往搬运一段距离，在有利的条件下堆积起来，称为风力堆积物。风力堆积物中最常见的为风成沙和风成黄土。风成沙的来源很广，各种成因的沙只要经过风的搬运均可形成风成沙。风成沙也可由岩石受到吹蚀作用而直接形成，经常以沙丘、沙垅、沙链形态呈现（图版XI-3）；风成黄土也是由各种成因的粉土颗粒经过风的吹扬，搬运到比沙更远的地方堆积而成的。一般不见层理，具有大孔隙和垂直节理。地下潜水埋藏深、地表植被少，冲沟发育，常见塬、梁、峁地貌类型（图版 I-2）。

在航空像片上是难以查证这些堆积物在地层剖面上的垂直变化的，但是它们在地表的分布却与其形成动力条件、地貌部位密切相关，是有规律的，比较容易识别（表6-3）。从时间尺度上看，现代地表上的松散堆积物并非都是同时代的。一般情况下，处在地貌部位高处的堆积物比低处的堆积物时代要老些，如多级堆积阶地，地貌部位高的时代早。切割破坏程度强烈的堆积体时代老。早期堆积层成土条件好，有植被覆盖，地

表 6-3　松散堆积物成因类型的识别

类型名称	分布位置	堆积地貌部位	地形特征	影像特征		植被	水文	其它
				色调	图型			
残积物	分水岭	山顶、山岗上	微波起伏	浅色	隐纹		冲沟	
坡积物	山坡下段至坡麓	坡积锥、坡积裙、倒石堆、石川	坡地、切割较强	较深	斑点状粗纹		冲沟	
洪积物	山口、沟口	洪积扇、洪积裙、洪积平原	呈扇形、地表有起伏、多河床	扇顶暗、扇缘亮	扇顶斑状显纹，放射状显纹，隐纹	扇顶稀少扇下部植被生长好	扇状水系型式扇缘常有泉水出露	居民点、交通线多分布在扇缘
冲积物	现代河谷、古河谷	阶地、河漫滩冲积平原	阶梯状或平坦地形	老冲积物色深新冲积物色浅	单调，有清楚的流水线显纹，隐纹	茂密或开辟为耕地	透水性良好	多居民点和交通线
湖积物	古湖盆和湖泊边缘	湖积平原	有似同心圆状的湖岸线	较深，均一	似同心圆显纹	丛草茂密	河流汇聚处	干旱区的盐湖堆积是浅白色
海积物	古海岸、海岸带	滨海平原	有平行于海边线的条带	较深，均一	平行线显纹，隐纹		潮流、波浪作用为主	
冰积物	冰川谷、冰碛湖	冰碛垅、冰水阶地、冰水扇、冰水平原	弧形、条形的垅岗或平坦地形	灰黑至灰	团块状或絮状、斑点状		水系零乱，呈辫状	
风积物	沙漠或黄土高原	沙丘、沙垅、沙链或塬、梁、峁	新月形、链形、垅岗或黄土区切割强	浅色均一	块状		不规则水系型式或树枝状水系型式	

貌形态界线模糊；形成较晚的堆积层，地貌形态轮廓清楚，无植被或植被稀少。在航空像片解译时可据此确定堆积物的相对年龄。

卫星遥感图像比例尺小，无法从图像上辨认微地貌单元和地貌部位的细微变化。卫星图像的影像色调受区域自然景观各要素的影响，岩石（地层）颜色对卫星图像色调的影响最明显。所以，卫星图像作松散堆积物解译时，必须运用综合解译标志，结合区域地貌发育过程、地貌类型分布、地形切割程度和地物属性，采用邻比法和逻辑推理法对目标进行识别。

二、地貌形态的识别

地貌形态由地貌基本要素所构成。地貌基本要素包括地形面、地形线和地形点，它们是地貌形态最简单的几何组分，决定了地貌形态的几何特征。但在实际应用中，这些要素表现的程度不同，有时清晰可见，有时则模糊难辨，甚至缺乏某种形态要素，因此，并未获得推广。但是观察和分析各种地貌基本要素，仍然是研究地貌的一个途径。

自然界的地貌，常以单个形态或形态组合的方式存在（表 6-4）。通常把地貌形态中较小、较简单的小地貌形态，例如冲沟、沙丘、冲出锥等，称为地貌基本形态。另一类范围较大，包括若干地貌基本形态的组合体，称为地貌形态组合。地貌形态组合可以是简单的同一时代、同一类型的地貌组合；也可以是复杂的不同成因的地貌组合。一般较大的地貌都是复杂的地貌形态组合体。

1．地貌形态特点

任何一种地貌形态的特点，都可以通过描述其地貌形态特征和形态测量特征来反映。

（1）地貌形态特征

地貌基本形态具有一定的简单的几何形状，但是地貌形态组合特征就必须考虑这一形态组合的总体起伏特征、地貌类别和空间分布形式。例如，由若干个洪积扇群集构成的山前洪积平原，这是一种地貌形态组合，其中每一个洪积扇作为一个基本地貌形态，具有扇形几何特征；但这一形态组合的特征则是纵向倾斜、横向和缓起伏、呈条带状分布的洪积倾斜平原。

（2）地貌形态测量特征

充分反映地貌形态的数量特征，即为形态测量特征。主要的形态测量特征是高度（相对高度尤为重要）、坡度和地面切割程度等。除高度外，其它形态测量特征，只有在特殊情况下才用数字统计。和形态特征结合，可以全面表现一种地貌形态的立体观念。

2．影响地貌形成和发展的因素

地貌的形成和发展，是内、外营力在一定地质地理条件下相互作用的结果。在目前地壳相对稳定时期，外营力转为占相对优势，山地被剥蚀而降低，发育各种外营力地貌。由于地质地理条件的多样性和内、外营力相互作用的复杂性，使地貌的形成和发展复杂化。影响它的因素主要有气候、新构造运动、植被、土壤和人类活动。

（1）气　候

形成地貌的外营力受气候控制，而地球上的气候呈现有纬度分带性和高度分带性，所以地貌的空间分布亦具分带性。同一种外营力在不同气候带，其地貌发育有一定的差异，例如热带河流和干旱地带河流形成的地貌迥然不同。更重要的是在一定气候带内以

表 6-4　地貌形态组合分类表

地貌形态组合 / 分类标志			山地地貌组合	平原地貌组合
形态	形态描述	平面轮廓形态	线（短线、长线）状的，平行状的、雁行状的，羽毛状的、树枝状的，格状的、放射状的，条带状的、长圆状的，不规则状的	圆形的、扇形的，椭圆形的，菱形的，矩形的，条带形的，多角形的
		表面起伏形态	平顶状的、穹状的，锯齿状的、盾状的、锥状的、波状的、垄岗状的、梁峁状的、浑圆梁状的，岛山状的，山岭状的，峰林状的、石林状的	平坦的，波状的，缓平的，倾斜的，平坦一波状的，缓平—波状的，平坦一浅盆地状的，凹状的（盆地状的，槽状的），丘陵状的、垄岗状的、波状一丘陵状的、梁状一谷地状的，阶梯状的
	形态量计	比高度	最高山>2 000米，高山 2 000～1 000米，中山 1 000～5 000米，低山丘陵<500米	高原，平原
		割切深度	深割切>1 000米，中割切 500～1 000，浅割切<500	深割切>50 米，中割切 25～50 米，浅割切<25米
		割切程度	强烈的>50%，中度的 25～50%，微弱的<20%	强烈的>50%，中度的 25～50%，微弱的<25%
成因	外力作用类型和强度	类型	侵蚀一剥蚀的， 干燥剥蚀的 岩溶的 冰川剥蚀的 冰川一雪蚀的， 雪蚀一泥流剥蚀的， 冰冻一土溜作用的 海蚀一剥蚀的， 海蚀的	干燥剥蚀的， 冲蚀的， 海蚀的， 侵蚀一剥蚀的 岩溶的， 风蚀的， 冰川剥蚀的， 雪蚀一泥流剥蚀的 —— 冲积的， 洪积的， 洪积一冲积的， 坡积一洪积的， 湖积的， 海积的， 风积的， 湖积一冲积的， 冰碛的， 冰水堆积的， 冰水一冲积的， 冰水一湖积的， 沼泽泥炭堆积的
		强度	强烈的， 中度的， 微弱的	强烈的， 中度的， 微弱的
	新构造运动类型和强度	类型	拱形隆起的， 穹形隆起的， 拱断隆起的 穹断隆起的， 褶断隆起的， 阶梯状隆起的， 喷溢堆积的	普遍隆起（面状隆起） 拱形隆起的， 断块隆起的 喷溢堆积的 —— 拗陷的，（面状的、局部的）， 断陷的，（断裂的、断块的）
		强度	强烈的 中度的 微弱的	强烈的， 中度的， 微弱的
	地质构造类型		单斜的、向斜的、背斜的，褶曲的、褶断的、断块的，挠折的、穹窿的、火山的，结晶岩体上的	水平岩层（板状、桌状、层状）上的、单斜岩层上的、倾斜岩层上的，褶曲基底上的、结晶基底上的，熔岩流的（层状、波状、块状、瓦片状、放射状）
	大地构造类型		稳定陆台或洋台上的，活化陆台或洋台上的，结晶基底地盾上的，台背斜、台向斜、	稳定陆台或洋台上的，活化陆台或洋台上的，结晶基底地盾上的，台背斜，台向斜、

续表

地貌形状组合 / 分类标志		山地地貌组合	平原地貌组合
成因	大地构造类形	台褶带上的，复背斜、复向斜上的，古老或年青的褶曲基底上的	台褶带上的，复向斜，复背斜上的，古老的或年青的褶曲基底上的，现代地槽或洋槽上的，造山带（山前或山间盆地）的
物质组成		岩浆岩体（花岗岩、花岗闪长岩等）变质岩体（片麻岩、板岩、片岩、结晶杂岩等），沉积岩体（砾岩、砂岩、石英岩、石灰岩、页岩等）	火山岩体（流纹岩、安山岩，粗面岩，玄武岩，火山碎屑岩等），松散碎屑岩体（砂砾质的，黄土质的，泥质的，泥炭质的等）
地貌发育和地貌年龄	地貌发育史	新生的，回春的，再生的，残余的。	
	地貌发育与构造的关系	顺地形（山地） 逆地形 显地形（平原）。 隐地形	
	地貌发育阶段与地貌相对年龄	幼年期的，壮年期的，老年期的。	
	地貌的地质年龄	前古生代的，古生代的，中生代的，新生代的(Pg, N, Q)。第四纪的(Q_{1-4})。	

注 (1) 表中“高原”是指由负向低地围绕的辽阔高地而言，“平原”是指由正向高地围绕的辽阔低地而言，高原和平原可以分布在陆上，也可以分布在海下。

(2) 山地高程分类所用“比高”，是指与其近邻相同等级最低的负向低地高差关系而言，山地和平原的割切深度分类所用“比高”，是指该地形内部的比高。

一定外营力组合为其特征，例如温湿气候带流水作用主导了地貌形成过程；高寒气候带内冰川、融冻作用占优势，因而各气候带内具有不同的地貌组合。

(2) 新构造运动

地球上的地形格局，大体是中生代末奠定其基础的。但是，新第三纪以来特别是第四纪的构造运动（新构造运动），大大加强了地形的发展，大多数地貌是这时期发展起来的。因此研究地貌要充分而慎重地估计新构造运动的影响。

(3) 植被和土壤

植被和土壤也是受气候控制的，有明显的地带性。它们对地面起固结作用。植被、土壤的发展，意味着地貌体的趋于稳定；而植被、土壤的破坏则加速地貌的演变发展。

(4) 人类活动

人类活动可以促进地貌发展，亦可抑制这一过程。所以，在对地貌施加任何人工影响（如水系改造、拦河筑坝、河弯取直、开垦荒地等）之前，应该全面权衡自然的、生态的和经济的利弊，以便既能达到规定的目的，又不受到大自然的惩罚。

这些都是遥感图像地貌形态识别时须注意的方面。此外，地貌形态成形的年代，即地貌年代，也是要注意的方面。地貌相对年代是指地貌形成的相对顺序，是根据和其它地貌的比较得出的。各种地貌形态之间，存在着高差、交切、掩埋和重叠等关系，并具有不同的完整程度，只要从图像仔细分析上述种种情况，就可以确定不同地貌形成的相对顺序。地貌相对年代是阐明地貌发育的基础。

3．地貌形态的识别

在卫星图像上解译山地、高原和平原、盆地等大型地貌具有很大的优越性，结合岩性、构造和活动构造的解译，比较容易区分它们的成因类型。而在图像上识别中、小型地貌，一般从影像图型着手进行。影像图型大致可分为曲线（河道）、直线或折线（断

层、渠）、岛状（侵入岩体）、斑状（沼泽）、扇状（洪积扇）、环状（盆地）、带状（海岸）、层状（垂直带）等等。这里着重讨论扇状体、线性体（包括曲线、直线和折线）和带状体的识别。

（1）扇状体的识别

扇状体是指由点放射扩展成扇形的地貌形态。它多半分布在落差较大的、两种大地貌交界外；从扇顶到扇缘，堆积物的颗粒由粗变细，地面坡度由大变小；具有扇状水系型式。例如坡积裾、洪积扇、决口扇、三角洲、冰水扇等。

由于地貌体的“形”和“物”是相辅相成的，“形”要有“物”来呈现，自然“物”的性质也影响“形”的反映。堆积物的岩性在地貌体内的分布，一般是由主要外营力的性质和强度来定的。主要外营力是重力、片流，还是常年流水，它决定堆积物颗粒的分选性、磨圆度等等；外营力的强弱反映在堆积物被搬运距离的远近、承载力的大小上。地貌体表面坡度的大小和变化是由堆积物的休止角来定的，砾石的休止角大约在20°左右，粘土则不足1°。大于堆积物休止角的坡度是不稳定的，形体还会发生变化。地貌体内的地下水潜水分布，也是由堆积物的渗透性所控制的。就是地貌体上发育的土壤、植被分布，在某种程度上讲，也是由堆积物岩性而定的。所以，在地貌体识别过程中，要参考松散堆积物的识别标志以及地貌学专业知识，这是遥感图像解译的重要环节之一。

扇状体的识别如表6-5所示。

（2）线性体的识别

线性体是指宽度远远小于长度、直线或弯曲弧形的地表面的线状地貌，例如大堤、拦河坝（包括滚水坝）、桥梁、公路、铁路、河道、溪沟、排灌渠等等，而不是地质学家认为的能反映一种地表面以下现象的线性构造。

各种线性体有其自身的属性和用途，在一些辅助信息的支持下，在遥感图像上较易识别。特别是线性体的延伸性，使得它在低于遥感图像地面分辨率的情况下也能得以判别，只是由显现的识别变成了隐现的判别。

河道、溪沟和排灌渠均具有线状或条带状水面，水边线清晰。在全色航空像片上，影像色调由白到黑，极不一致，一般来说，澄清的深水多呈黑色，而浅滩则现淡灰色。在彩色红外像片上随水深减小，色彩由深蓝转至蓝色，含悬浮泥沙多的水面则为浅蓝色。

河道是指大江、大河具有自然流线型弯曲的水面，河道依据河型（曲流型、分汊型、顺直型等）的不同而有各种平面组合形态。河道中分布着边滩、江心洲等微地貌，水流方向可根据下列特征来确定：①支流通常以锐角形式注入干流，锐角指向为水流方向；②河中江心洲尖端一头指示水流去向；③边滩边缘的锯齿与水流方向相同；④拦水坝和桥墩的下游侧，水流冲击所激起的浪花形成的白色舌状物与水流方向一致；⑤岸边所形成的小湾，其方向与水流方向相反。

溪沟因水面窄，显示为很弯曲的不规则的细线条或由两岸树木反映的自然弯曲的红色窄带。河道和溪沟是自然形成的，不受行政区的限制，贯穿它自己的流域，有航运之利，也有洪水之患。排灌渠是人们有计划开挖的引水或排水的水道，常呈直线或折线，在山区沿山坡开凿时亦成曲线状。排水渠的下游端与河流相通。灌溉渠的上游端总与水源相连，由闸控制启闭。排灌系统往往是由省、市、县规划的，所以它们分布范围受行政区的限制。

表 6-5 扇状体的识别

地貌类型	主要外营力	分布部位	平面形状	岩性组成	地面坡度	水文地质	其它
倒石堆	重力崩坍	山坡底部	坡上方形成新陡坎，坡脚有不规则的堆石坝状	角砾状碎屑、分选性极差	60°～70°		
坡积裙	片流	平缓凹坡和坡麓	围绕坡麓披盖，形似农裙	碎石及含碎石的粗颗粒相变为细粒沙、粉沙、亚粘土和粘土	上部 5°～6°下部更缓		裙边缘常具成壤作用，常与冲积物、洪积物互层
冲出锥	暂时性水流，洪水期堆积	沟口	半圆锥形	洪积物。大小不一碎石、砾石、沙、粘土，分选不好，砾石磨圆度差、棱角状	顶部 16°～18°坡脚 5°～10°		
洪积扇	暴雨季节洪流	出山口	半圆扇形	扇顶相：角砾，孔隙中由沙、粘土充填。扇形相：夹砾石、沙质透镜体的亚沙土、亚粘土。潜水相：亚沙土、亚粘土、粘土为主，夹沙、细砾透镜体	扇顶 10°～12°扇形中部 5°～10°边缘2°～6°	扇顶和扇形中部地下水潜水埋藏深，边缘形成地表潜水，沼泽发育	大规模的洪积扇分布在干旱、半干旱气候地区
决口扇	溃决泛滥后洪水急流	河堤或河床的外侧	舌状分布	近决口颗粒粗，以沙为主，混有亚沙土、亚粘土，分选性差。较远处可见亚沙土、亚粘土层，有时有沙质透镜体	扇顶 1/1 500～1/2 500，扇缘 1/2500～1/3500（河南封丘县大功决口扇）	地下水位：扇顶 2.5～4米，扇缘2～2.5米	
三角洲	常年流水	入海或入湖的河口	半圆形或顶朝内陆的三角形	三角洲顶端颗粒较粗，逐渐相变为细颗粒，一般由沙至粘土系列构成	平缓，1/10 000（黄河三角洲）		
冰水扇	冰雪融水	冰碛前或冰碛湖边	扇状或冰水平原	与终碛堤、其它冰碛物相接，有明显的相变，由砾至亚粘土、粘土，无层理，磨圆度增加			冰水扇最厚处在顶端，向外逐渐变薄

大堤，包括渠堤，都是为了保护两岸居民的生命财产，为防洪而修建的。它通常是按防治 50 年或 100 年一遇的洪水位高度来修建的、两侧坡度不等的梯形断面的堤防。著名的黄河大堤、荆江大堤、长江大堤等，都是水患的屏障。大堤沿江河两侧分布。平原区修渠，除了下挖地表面外，两侧还需要修建渠堤；绕山坡修渠，坡缓的一侧要加修渠堤。

拦河坝即水库大坝，是横跨河道而建的水利工程，在遥感图像上多呈白色或灰白色的条带横交于河道。拦河坝上游则为承袭原河谷形状、水面宽阔的水库，坝下游则是缩窄了的河道水面，没有跌水现象。而滚水坝则在水流通过坝体后整个河面有跌水现象。滚水坝与大瀑布，虽然它们的下部河水由于水花泡沫都呈白色，但是滚水坝是水利工程，在水位不及滚水坝坝顶高时，坝上游似湖泊水面，只有水位超过坝顶高时才出现滚水过坝的跌水现象，所以采用洪、枯水位两时期的遥感图像加以对比，就能确定是滚水坝还是大瀑布。

桥梁也是横跨河道修建的，但它有别于拦河坝，它不是阻水的水利工程，而是一种

跨架在河道之上的交通设施。根据桥梁的阴影常可判定桥梁的结构。桥的长和宽可以用量测的方法来确定，桥梁的两端均与道路相连接。

公路是指联系相邻市、县或工矿区、旅游景点、车站、港口的道路，是行政区沟通外界的主要交通网络。在遥感图像上，公路一般为白色或浅灰色的线性体，转弯急，山区公路常有迂回曲折的形状，公路两侧有行树和护沟，呈红色和黑色交织的线性体。大堤堤顶往往也是公路网络的一部分，解译时需注意。公路与大堤相交时，多数从堤坡脚修一导向堤顶的斜道来连结大堤两侧公路。公路过河和渠时必需有桥相连，但是当公路在河岸的一边中断时，则可认为是公路的终点——港口码头或物资转运站；若在河流的另一岸又有公路继续延伸，同时从河道较暗的色调中发现色调较浅的沙滩，一般可推断为徒涉场；如果河道不见浅滩，又见有小船或渡船，一般可判定此处有渡口。小船在像片上呈现为两头尖的椭圆形状，而渡船一般呈长方形。

铁路修建的要求比公路高，铁路的坡度不得超过 3 度，具有低平梯形断面的地堑，转弯圆滑成弧形，中心角不小于 90°，在山区常以隧道形式通过山体，且与其它道路直角相交。通过大堤时，或横切大堤、或横跨架高在堤顶上通过。铁路过河、渠时必需修建铁路桥。公路桥和铁路桥之间有时为上下叠置关系（南京和武汉的长江大桥），有时为公路桥和铁路桥平行排列组合为一座桥（湖北枝城大桥），或分别架桥过河（济南黄河大桥），这些可由它们的引桥格局来判识。

根据线性体自身的属性、用途和相互之间的关系以及区域内面上分布的情况，应用排除法进行识别，能比较容易地区别每种线性体（表 6-6）。

表 6-6　线性体识别

判识项目 \ 线性体		河　道	溪沟	渠　道	大　堤	拦河坝	大桥	公　路	铁　路
自身属性	形状	流线型弯曲，直线	流线型弯曲，直线	直线	与河道类同	平直或拱形	直线	弯曲，直线	微弯，直线
	组成物质	水	水	水	土，土石	钢筋水泥，土石	钢筋水泥，石条，砖	沥青，水泥，沙石	铁轨和碎石（灰岩）
	色调	蓝	蓝	蓝	灰、灰白	白	灰白—白	灰蓝—白	灰
相对位置	与河道的关系	与沟、渠相通，贯穿全区	注入，或没关系	以河为水源或以河为泄道	沿河、渠两岸分布	横截河道	横跨河道	横跨（由公路桥导向对岸）	横跨（由铁路桥过河）
	与公路的关系	平行或与桥梁公路相交	与桥梁公路相交	与桥梁公路相交	堤顶为公路或相交	连结河两岸公路，坝顶为公路	连结两岸公路	与其它道路、公路平行或相交	垂直相交
	区内分布情况	贯穿区域	局部分布	排灌自成体系	贯穿或局部分布	横截河道	横跨河道	自成网络	贯穿区域
用　途		水源泄道航运	水源或泄道	农田水利排灌系统	防洪、交通运输	拦水成水库	交通运输	交通运输	交通运输

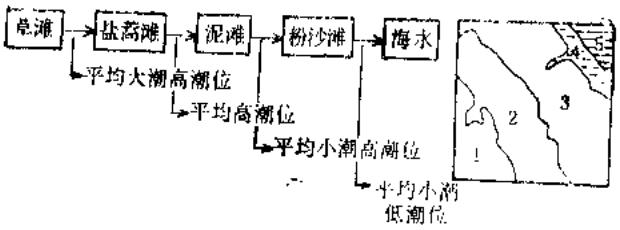


图 6-1 海岸带地貌形态

1—草滩，盐蒿滩；2—泥滩；3—粉沙滩；4—泥水；5—浑水

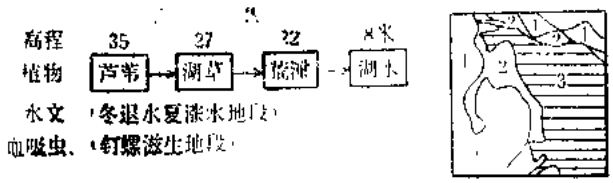


图 6-2 湖滨地貌形态

1—芦苇及湖草；2—荒滩；3—湖水

(3) 带状体的识别

带状体是指平行的条带状地貌形态，主要分布在海岸带(图版 I-7)。江苏沿海细泥沙丰富，海岸宽阔，从海堤往外形成草滩、盐蒿滩、泥滩和粉沙滩，这是由于高程、成土阶段、组成物质所受的潮汐作用不同，形成了与海岸带平行的条带（图 6-1)。

洞庭湖湖滨芦苇与湖草环湖生长。高程在 22～35 米之间，是冬退水夏涨水的地段，也是血吸虫寄生钉螺孳生地段（图 6-2)。湖滨条带状地貌形态虽不如海岸带的明显，却也是环湖带状分布的，所以亦归入此类。

第二节 植被类型的识别

植被是地理环境中的重要组成部分。它分布广泛，与一定的气候、地貌、土壤条件相适应，受多种因素控制，对地理环境的依赖性最大，对其它因素的改变也最为灵敏，是反映地理环境的最好标志。同时，植被也是形成土壤的主要因素，不同植被类型，往往反映不同的土壤类型。地带性土壤分界、土层厚度、腐殖层厚度、土壤 pH 值及石灰反应等都与植被息息相关。植被对于土壤是不可缺少的间接解译标志，植被还是其它许多专题遥感解译的重要参考。通过植物信息所反映的差异，还可进一步分析水、土资源，研究自然历史演变痕迹，推断地质构造背景、找矿等。可见，植被类型的识别在整个遥感图像解译中有着重要的地位。

一、植被类型的解译标志

植被覆盖在土地的最表层，是遥感图像反映的最直接的信息。由于植物内部的叶绿素、水分、结构等有着特殊的光谱效应，因而在遥感图像的影像上以各种色调、色彩、形状、大小、结构来反映它的内容和特点，尤为直观，较易识别。所以植被类型的识别，首先根据影像色调和树冠的形状、大小、粗糙度等的直接解译标志区分它们的差异，然后以其分布的地貌部位、纬度或经度位置、海拔高度、郁闭度、群集特点和人类生产活动的影响程度等间接标志进行验证。现以湖南省古丈县为例介绍植被的识别。表 6-7 为

各类植被的直接解译标志。将表内各类植被影像特征综合比较，即可确定不同植被类型。为了提高解译精度，还需以植被的间接解译标志作进一步验证。

表 6-7　各类植被的影像特征(1)

植被 / 标志	阔叶林	针叶林	混交林	竹林	灌木	草本
色调	白—灰白	暗灰—浅灰	色调紊乱	灰色	淡灰	淡白
形状	梅花点状	芝麻状	形状混杂	蚜虫、螨虫状	粒点状	斑块状
颗粒大小	半粒绿豆大小	芝麻大小		蚜虫大小	菜籽大小	烟子大小或不清晰
粗糙度	粗糙感极强，整体似沙砾堆积状	粗糙感强，整体粗沙纸状	粗糙感强	粗糙感较强	光滑感较强，整体中沙纸状	光滑感强，整体金相沙纸状

注：(1) 湖南省古丈县全色航空像片，比例尺 1:1.5万，1978 年 10 月拍摄。

1．分布部位

地形、坡度不同，植被的群落也不同。平坡，<5°，生长灌木(以油茶、茶叶为主)、间生针叶林；缓坡，5°～20°，以油茶、针叶林为主；中坡，20°～35°，针叶林与阔叶林；陡坡，35°～50°，以草本为主；极陡坡，>50°，以疏生灌木为主。

2．分布高度

随着海拔的升高，气候、土壤条件亦随之变化，故植被类型也不同。该县从山麓至山顶，植被分布为草本—灌木—针、阔叶林—灌木和山竹—草本。这一分布特点与上述坡度相吻合，但在一些边远山沟的两侧，草本植被常为阔叶林及针叶林所代替。

3．郁闭度和群集性

针叶林郁闭度最高，一般在 0.8 以上。山竹及阔叶林郁闭度比较高，一般为 0.8 左右。灌木林郁闭度较低，一般在 0.4 左右。草本的郁闭度依分布位置而异，在山脚及缓坡地段，郁闭度为 0.7 左右；山顶及陡坡处郁闭度为 0.3 左右。

针叶林的群集性因树种而异，马尾松分布的面积最大；人造杉木林多大片分布，而自然生长的杉木常与其它树种混交，群集性不明显；柏树则有丛生、散生和独生或与其它树种混生等特点。山竹群集性好，常为大块分布。阔叶林除边远的山沟两侧有较大面积分布外，其余多为小斑状分布。灌木亦呈斑块分布。草本群集性较好，也多大块分布。

4．凸出地面特征

因各类植被存在着高度差异，故在航空像片上凸出于地面的影像也有高有低。或明显突起于地面，如树的茎杆部分也依稀可见；或紧贴地面，与地面融为一体。各类植被凸出地面从明显到不明显的次序是：阔叶林—针叶林—混交林—山竹—灌木—草本。

5．母岩差异引起的分异

不同母岩、母质上的植被也有差异，尤以灰岩及紫色砂页岩上的植被差异更大。由缓坡，中坡、陡坡到极陡坡，植被分布的次序是：石灰岩地区，油茶、油桐—油茶、马尾松—柏木、马尾松—草本、裸岩；紫色砂页岩地区，油茶—马尾松、柏木、山竹—灌木、草本、山竹—草本、灌木、裸岩。

在判出植被类型的基础上，应继续判出主要建群树种。该县树木的优势种和最能反映土壤类型的树种主要有杉、马尾松、柏、油茶、板栗、油桐、枫、山竹、茶叶、柑桔

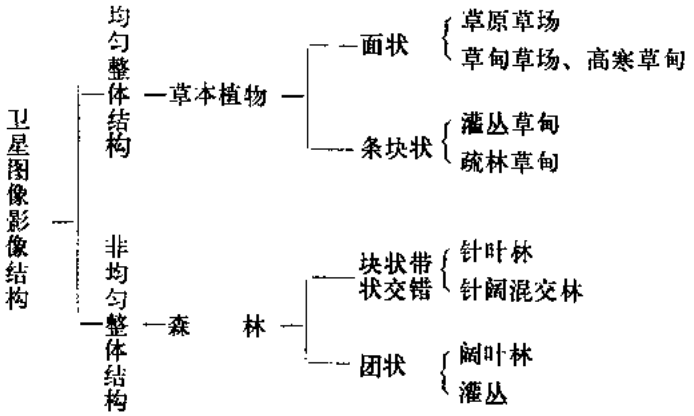
等。

从航空像片过渡到卫星图像是一种地面影像的成像综合。卫星图像上的一种影像色调，在航空像片上往往是两种或多种影像的综合。因此，应用卫星图像识别植物时，首先要选择各种植物之间的波谱差异大的图像以及遥感时相最佳的图像，然后从植被的影像色调和结构着手解译。

识别植被应选取近红外波段图像。一则是近红外波段对植物叶绿素的反射辐射强，在1.6微米和2.2微米受叶片内部水分控制呈现的两个峰值比较高，植物在近红外波段辐射强度普遍比其它地物高；二则各种植物之间的波谱辐射差异也较其它波段大。此外，植物波谱随季节而变化，不同季节，同一种植物的波谱有变化，各种植被的波谱则因变化的步调不一，差异更为突出，秋末图像最合适。所以，应用秋末季相的、含有MSS6，或TM4，5，或TM4，7的彩色合成卫星图像识别植被效果最好。

解译时，根据植被的影像纹理分为均匀的整体结构和非均匀的整体结构两大类。牧草植物群落属于均匀的整体结构，在卫星图像上分别以黄色、红色、红黑色调呈绒面状出现。森林植被为非均匀的整体结构，在卫星图像上多以块状、带状、团状的暗红色或黑色调出现（表6-8）。

表6-8　卫星图像影像结构



如果按卫星图像的不同影像，选取航空像片进行典型地段的详细解译和深入剖析，则可以补充卫星图像的不足，提高卫星图像解译的精度。

二、季相节律和遥感最佳时相的选择

季相节律，主要是指植物的物候历。对农作物来说，称为农事历。鉴于我国地域辽阔，植物种类繁多，而影响物候历的因子又有纬度、距海远近、地形（海拔高度、坡度和坡向）、气候变迁、品种培育、农业措施和种植制度等，因此，各种植物的物候变化规律是不同的，同种植物的物候历也因地而异。

萧铮、寇有观根据1980年在全国上千个县进行的物候历调查资料，以表的形式给出了我国各大区的农耕期和棉花、冬小麦、玉米的农事历（表6-9至6-13）。由它们可清楚地看出全国各地主要作物的农事历[2]。

物候历可提供植物的背景资料，帮助识别植物和它们所处的物候期；凭籍区域的物候历（以天津市和杭州市的农事历为例，表6-14和6-15），可帮助解译全年各时期的遥感

表 6-9 中国各地的生长期（日/月）

地　　区	始　日	终　日
东北西北部，内蒙古锡林郭勒盟	1/5 以后	1/10 以前
东北其它部分，华北北部，内蒙古、北疆	1/4～1/5	1/10～1/11
旅大，北京、陕北一线以南，杭州、武汉、汉中一线以北，南疆	1/3～1/4	1/11～1/12
江南其它部分	1/2～1/3	1/12～1/1
福州、桂林、昆明一线以南	全　年	

表 6-10 各地农耕起止日期（日/月）

地　　区	始　日	终　日
东北北部，内蒙古东部，新疆北部，青藏高原大部	1/4 以后	1/11以前
华北北部，东北南部，晋陕高原，南疆，甘，宁，藏南河谷	1/3～1/4	1/11～1/12
华北平原、江淮平原，泾渭谷地	1/2～1/3	1/12～1/1
长江汉水以南，浙江、闽北、皖南、赣北、湘北、黔、川	1/1～1/2	1/12～1/1
南岭以南	全　年	

表 6-11 棉花物候期（旬/月）

地　区	出苗一现蕾	现蕾一开花	开花一吐絮	吐絮以后
西　北	中/5～中、下/6	下/6～中/7	下/7～上/9	中/9～上/11
华　北	上/5～上、中/6	中/6～上/7	中/7～下/8	上/9～中/11
华中、华东	下/4～中/6	下/6～上/7	中/7～下/8	上/9～下/11

表 6-12 冬小麦物候期（旬/月）

地　区	播种一分蘖	分蘖一越冬	返青一拔节	拔节一抽穗	抽穗一成熟
华北南部、关中盆地	上/10～上/11	中/11～12	上/3～下/3	上/4～下/4	上/5～下/6
华北北部	下/9～下/10	上/11	上/4	中/4～上/5	中/5～中/6
西　北	中、下/9～中、下/10	上/11	上/5	中/5～上/6	中/6～上/7
长江沿岸	下/10～上/12	中/12	中/3	下/3～中/4	下/4～下/5
长江以南	中/11～中/12	下/12	下/2	上/3～上/4	中/4～中/5

表 6-13 玉米物候期（旬/月）

作物	地　区	播种一出苗	拔节一抽穗	抽穗一灌浆	腊熟一收获	全生长期
春玉米	东　北	上/5～中/5	下/7	中/8	上/9	上/5～上/9
	华　北	下/4～上/5	中/7	上/8	上/9	下/4～上/9
	西北内陆、南疆	中/4～下/4	中/7		上，中/9	中/4～上、中/9
	北　疆	上/5～中/5	下/7		上、中/9	上/5～上、中/9
	西南高原	下/4			下/9	下/4～下/9
夏玉米	华　北	中/6～下/6	下/7		中/9	中/6～中/9
	长江流域	下/6	中/8		中/9	下/6～中/9
	西南高原	下/5～上/6	上/8		上/10	下/5～上/10

图像。物候历可大大方便遥感图像的目视解译。

遥感最佳时相的选择，对应用解译十分重要。遥感时相合适，才能获取较多的有用信息。地质遥感要选用冬季时相，农业遥感内容多，最佳时相要参照物候历选择。

表6-14　天津近郊主要农作物常年农事历

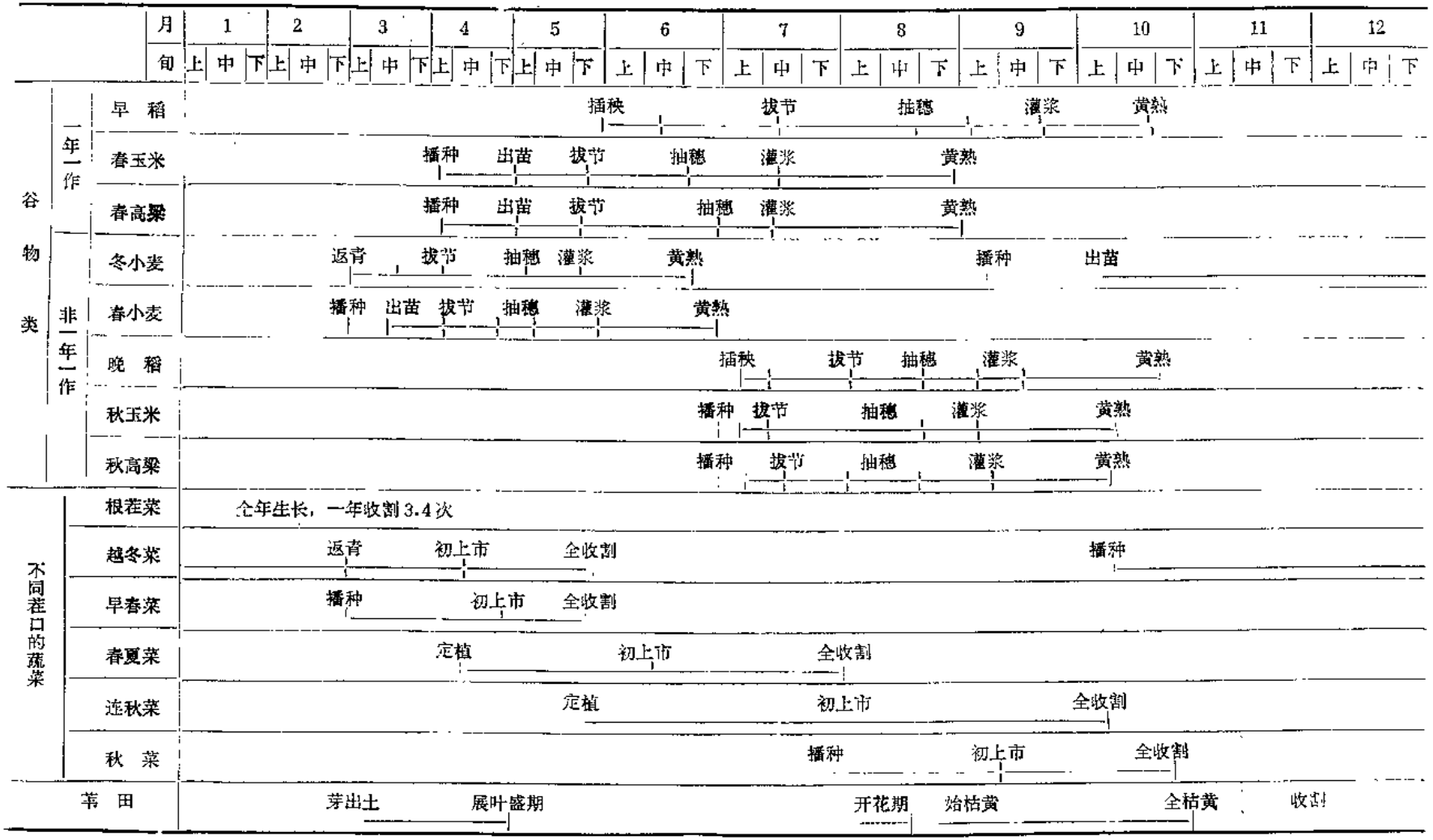


表 6·15　浙江省杭州市物候历

作物 \ 月旬	1 上	1 中	1 下	2 上	2 中	2 下	3 上	3 中	3 下	4 上	4 中	4 下	5 上	5 中	5 下	6 上	6 中	6 下	7 上	7 中	7 下	8 上	8 中	8 下	9 上	9 中	9 下	10 上	10 中	10 下	11 上	11 中	11 下	12 上	12 中	12 下
大麦	分蘖	越冬		拔节			孕穗			抽穗			灌浆			收获															播种			出苗		分蘖
小麦	分蘖	越冬		拔节			孕穗			抽穗			灌浆			收获														播	种		出苗		分蘖
油菜					现蕾		抽苔			开花			灌浆			收获										播种			育秧		移栽			越冬		
早稻 露地秧										播种			秧期	移栽		本田期			抽穗		灌浆	收获													
早稻 早三熟										播种	秧期		移栽			本田期			抽穗		收获														
早稻 迟三熟										播种	秧期		移栽			本田期			抽穗		灌浆	收获													
晚稻 杂交稻																播种	秧期		移栽		本田期		抽穗	灌浆		收获									
晚稻 粳稻																	播种		秧期	移栽		本田期		抽穗		灌浆		收获							

(1) 林地、草地和农田一般秋末易分辨。秋末时森林在彩色合成图像上为红色斑块；草是黄色斑块；田里秋作物已收获，冬作物尚未覆盖地面。夏季，林、草、田均呈绿色，在彩色合成图像上呈红色，不易辨别。冬、夏季图像对比，可区分常绿林和落叶林。我国各地秋末到来的时间北方较早，东北西北部、内蒙古锡林郭勒盟可早到 10 月 1 日前后，东北其它地区和北疆约出现在 10 月中下旬；往南可推迟到 11 月。我国南方冬季卫星图像可辨别林、草、田。山西省太原幅卫星图像解译乔灌草的分类[3]，选用了 10 月 23 日和 5 月 1 日的 MSS 图像，取得了较好效果（表 6-16）。

(2) 农作物调查要选择作物生长茂盛、卫星影像上有明显反映的时期。如小麦、水稻和玉米拔节期至乳熟期，植物营养体生长壮大，生物量增加，叶面积指数和单位地表的叶绿素含量增加最多，绿度大，是遥感调查农作物面积、长势和产量的最佳时期。我国主要分夏收作物（麦类、早稻）和秋收作物（主要是玉米、高粱、谷子和大豆等）两种。所以在这段时间里往往需要遥感几次。用遥感方法确定其面积和产量的最佳物候期是乳熟期前后，最佳时相大致归纳为表 6-17。

为了识别田里的不同作物，需选择区分不同作物的最佳时期。如北京市昌平县，冬小麦、春小麦、大麦拔节期到乳熟期出现的时间相近，在遥感影像上较难分辨。借助秋冬及早春卫星图像可区分冬小麦。5 月份卫星图像可将三麦总面积与秋作物分开。麦收后，一季中稻尚未封行，晚稻未栽秧的 6 月份，玉米生长旺盛，从卫星图像上可识别。

植物病虫害监测，要依据病虫害发生、发展和危害的规律，适时作出危害预报。例如，印度水稻白叶枯病发生在水稻成熟期，从彩色红外像片上可以明显看出。非洲飞蝗测报、美国棉田红蜘蛛危害情况监测，都比较成功。其遥感最佳时相应依病虫危害规律而定。

(3) 林地调查用秋冬春季卫星图像较适宜。林种调查应结合物候历，以反差大的时期为宜。秋季大多数农作物接近成熟或收割，田间作物绿度变小或消失，草逐渐变黄，而林地树叶还很绿，因而林地与农用地、草地及周围城市用地在卫星图像上有明显差别。初冬卫星图像可将落叶阔叶林和常绿针叶林、阔叶林分开。春季是树叶发芽新绿期，森林有很强的近红外反射；农作物虽已发芽，但尚未封行，田间仍以土壤光谱为主，林地

表 6-16　太原幅卫星影像目视解译乔灌草分类系统及解译标志

乔灌草分类系统			解译标志			说明	典型区
Ⅰ级分类	Ⅱ级分类	Ⅲ级分类	MSS5	MSS7	MSS 5,6,7	乔灌草类型生态环境	
森林	常绿针叶林	油松、侧柏、白皮松林	黑色、深黑色，图形多呈块状、带状	灰色	影像特征深红色或红蓝色，色调均匀	一般分布在中低山的顶部，部分山前地区。影像呈深红色的是油松纯林和立地条件较好的侧柏林，主要见于关帝、太岳林区；呈红蓝色的是立地条件差、生长不良的侧柏林，多见于中阳、灵石等地的低山，中山区的岩石裸露地带，由于生长不良，多呈灌木状	关帝、太岳林区
		云杉林	深灰色、块状、带状	深灰色	影像色调呈褚红色，图形轮廓清晰	主要分布在关帝山林区。海拔1600米以上的地段，林内阴暗潮湿，灌丛稀少	关帝山林区
	落叶针阔林	杨、桦、栎类，落叶松林	深灰、灰黑	灰白色	影像呈绿褐色和深褐色。几何轮廓清晰	落叶松主要分布在关帝山的较高部位，其它树种分布都十分广泛。山杨多呈小块纯林，桦树一般和小杨混生，中有灌丛生长	关帝、太岳、吕梁林区
		刺槐林	深灰、灰黑	灰白色	影像呈鲜红色，具有规则几何形状	多见于离石以东、石楼县境的黄土丘陵及盆地中祁县、沁县的低山和丘陵区，主要为人工林，几何图形清晰	沁县、离石
	针阔混交林	针叶、阔叶混交林	黑色、淡黑色，边界不规则	灰色、深灰色	在红色的底色上出现褐色叠加或呈褐红色	一般交错分布于针阔叶纯林之间。以关帝山林区、太岳山林区较显著，呈镶嵌式混交或均匀式混交	关帝、太岳、吕梁林区
	疏林地	常绿针叶疏林，落叶针叶阔叶疏林，混交疏林	灰色、淡灰色。片状边界过渡模糊	浅灰色	影像色调分别较第1，2，3类型的浅淡	这三种疏林均指郁闭度在0.1～0.3的中、成龄林林分。其分布范围很广、立地条件差异大，不同条件都可以生长	关帝、太岳、吕梁林区
灌丛	灌丛地	灌木草丛、灌丛草地	灰色、灰黑色	浅灰色、灰色。	影像为均匀的黄褐色	指覆盖度达40%以上的灌木为主的群落，其分布广泛、遍及幅内大部分山区、丘陵区、片状分布。当灌木密集高大时，其影像与阔叶林的影像趋近，但利用MSS5，7彩色合成片可区分之	太原西山、沁源柏子乡南山
草地	天然草地	疏林草地	灰色、深灰色色调不均匀	灰色	红色间有黑红或鲜红斑点，或呈淡黄红色无一定几何形状	主要分布在关帝山、太岳山林区，为林地与草地接壤地区、或林缘地区。有较稳定的草木植被，间有稀疏灌木和少量乔木，常作放牧场和刈割草地	关帝、太岳林区、
		山地草甸（亚高山草甸类）	灰色、图形呈绒毛状	灰白色	黄色，色调很均匀，几何轮廓清晰	主要分布于林线以上，或林缘地带，或林线以内的平顶山脊等森林难以恢复的地方。以冷生、中生、多年生草木植物为主要建群种，产草量、密度、覆盖度都较大，形如“植毡”铺于地面	四十里路马、沁源县岭上、赫赫岩

与农作物很容易分开。上述季相基本适应南岭以北大片国土。广东林地可用12月和1月卫星图像和航空像片分辨。这一带林地多分布在1 200米以下的丘陵和海滨。在彩色合成卫星图像上竹林为亮红色，阔叶林为鲜红色，针叶林为暗红色。其它季节卫星图像也可参考选用。

表 6-17 乳熟期的大致时间（月）

地区 \ 作物	夏收作物		秋收作物
	冬小麦	早 稻	
东 北			8
华 北	5		8
华 中	4	6	9
华 南	3	6	10

（4）草场面积调查可利用植物生长期（包括枯黄期）的卫星图像。牧草种类和长势调查则应根据物候历和生长情况，考虑其与环境反差大等因素，确定遥感最佳时相。在新疆和内蒙古，草本植物一般在4月中旬萌动，9月下旬至10月中旬枯黄；华北，3月初萌动，10月下旬至11月底枯黄；长江以南、南岭以北，2月中萌动，11月下旬至12月下旬枯黄。草场和林地分类最好选用季相明显的春秋季卫星图像。南方草地不大容易识别，要利用不同时相的卫星图像加以分析。洞庭湖芦苇和水草在枯水季节的彩色合成卫星图像上均呈红色，很难分辨，但是在6月至8月丰水期的彩色合成卫星图像上，两者光谱差异显著，极易辨别。

此外，可用四季卫星图像解译土壤类型。北方冬春季土壤基本裸露，可根据地表组成直接解译。夏秋季可根据植被间接解译。华北冬春季土壤干旱，地表返盐碱严重，盐荒地和重度盐碱地或中度盐碱地有明显的盐结皮或盐霜。此时田里小麦也受土壤盐渍化程度的影响，这种影响往往在5月份达到最大或接近尾声，所以，5月的遥感图像既可用于土壤调查，也可用于农作物调查。土壤调查选择的遥感时间大致为：东北是9，10，11和3，4，5月；华北是头年10月至次年4月；华中是头年10月至次年3月；华南是头年11月至次年2月。

冰、雪储量可用冰川和积雪消融前的卫星图像估算，结合天气预报还可估计其对河流的补给量。根据年内不同时相卫星图像可解译水库、湖泊的水量变化。用干旱季（如春季）卫星图像评价常年河、时令河。比较洪水泛滥期和正常年份的卫星图像，有助于了解洪泛情况和受灾范围。同样，干旱年份与正常年份的卫星图像相比较，则可知干旱的危害程度和范围。

三、植物季相节律的宏观研究

遥感对于植物季相节律的宏观研究显示出特别的优越性，这是因为它具有强的空间概括能力。这一能力取决于影像的空间分辨率，可根据研究任务的要求，选用航天飞机、陆地卫星及更高平台所获得的遥感图像。一般情况下应用陆地卫星图像来研究“绿波”、“褐波”，植被指数和大面积作物估产。

1. 植物绿波、褐波

所谓绿波是指春季自然植被始展叶等候线。所谓褐波是指秋季自然植被叶全变色等候线。它们在遥感图像上反映为一条曲线。植物的绿（褐）波反映了植物叶绿素含量的季节变化。

美国 Dethier 等人应用多时相陆地卫星遥感图像，研究了全球的绿波、褐波推移规律[4]。通过对赤道两侧两条波状绿波等候线向两极方向推移规律的监测与研究，证明了

采用卫星遥感方法从宏观上显示植物季节变化规律的地域分异特征的可能性。图 6-3 给出了 4 月 15 日、5 月 15 日、6 月 15 日和 7 月 15 日 4 个不同时期的绿波等候线图。在北半球，它们向北波浪式的推移。4 月 15 日绿波线已推移到北纬 30° 以北，但与纬线不完全平行。4 条绿波线推移间距不一，一般在内陆地区其间距较大，说明内陆热交换频繁，气候变化大；从内陆向沿海，反映了大陆性气候向海洋性气候过渡的趋势。在大陆西缘，绿波线明显的向北突起，这与大洋东侧暖流的影响有关。动态遥感的绿（褐）波研究的意义，不仅在于可以直接反映植物及生态环境的季节变化规律，揭示自然地带的地域分异规律，而且对全球性作物、森林、草场等资源的估产也是一个重要依据。

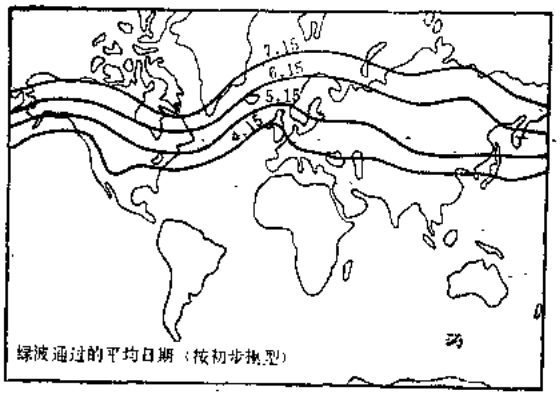


图 6-3　北半球绿波（草的变绿）通过的平均日期（Dethier, 1973）

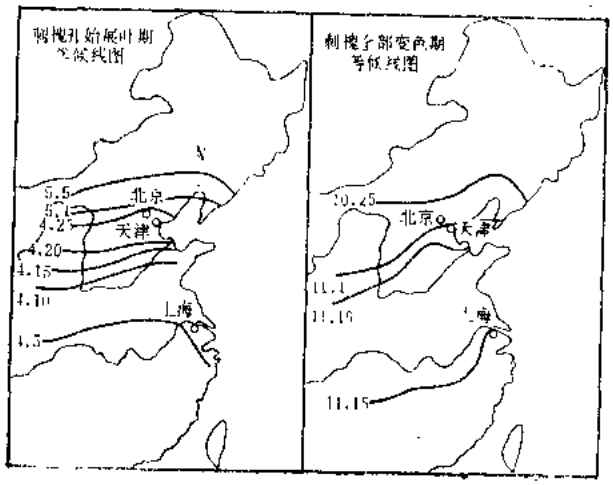


图 6-4　华北地区绿波和褐波过程（据1963～1967年资料整理）

根据我国华北地区刺槐1963～1967 年的物候记录，绘制了刺槐开始展叶期（绿波）和全部变色期（褐波）的等候线图（图 6-4）。图中的绿（褐）波运移规律，可以作为天津地区植物物候的背景值来研究天津地区植物生态环境的季相节律。从多时相遥感图像及实际观测资料分析可以看出，天津市的绿波较正常背景值早到一个星期，而褐波却推迟一个星期，前后相差约半个月。经研究发现，这种异常现象与天津城市的热岛效应（是指大城市上空发生的热积聚现象）、土壤背景条件以及环境污染等密切相关的。

黄签(1985)利用我国东部 1983～1984 年接收的多时相气象卫星图像系列及镶嵌系列，选择以红色成分对应植被生长旺盛程度，同时以绿色植被指数（GVI）作为植物生长状况的定量解译标准，GVI 稳定通过 30 作为绿波来临的指标，研究了我国东部绿波带北移的速度（即增温情况），同时对植被分布及物候规律做了分析。认为一年中 GVI 最低值稳定在 30 的区域界线，正好与中亚热带南部亚地带和北部亚地带的分界线相吻合，这是南岭作为气候分界线在槐被季相动态变化上的体现。全年保持低 GVI 数值的区域位于西北部荒漠草原、晋陕交界黄河两岸和河北省南部低平原农业区，这正是植被覆盖和作物生长较差的地区。GVI 年动态变化由北向南逐渐减小，最大动态变化区位于内蒙古草原（ΔGVI 达到 80）。反映了各种植被群落的季相变化，这些自然地带界线在遥感图像分析中变成了一种直观形象的信息。

2．植被指数

所谓植被指数就是由多光谱数据，经线性和非线性组合构成的对植被有一定指示意义的各种数值。植物光谱中红波段和近红外波段反射率及其相互关系，是构成各种植被指数的核心。红波段被植物叶绿素强吸收，进行光合作用制造干物质，它是光合作用的代表波段；近红外波段是叶子健康状况最灵敏的标志，它对植被差异及植物长势反映敏感，指示着植物光合作用能否正常进行。它们的各种组合构成的植被指数，是植物光合作用能力（即植物生产力）的精良监测器。

常用的植被指数主要有以下几种。

(1) 归一化差值植被指数

归一化差值植被指数 (Normalization Difference——ND) 又称标准化植被指数 (Normalized Vegetation Index——NVI)。

ND 被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值，即 $ND=(IR-R)/(IR+R)$。在陆地卫星 MSS 中，$ND=(M7-M5)/(M7+M5)$；在气象卫星 AVHRR 中，$ND=(CH2-CH1)/(CH2+CH1)$。它在植被研究以及植物物候研究中得到广泛应用。它是植物生长状态及植物空间分布密度的最佳指示因子，与植物分布密度呈线性相关，因此又可称为生物量 (Biomass) 指标。

实验证明，ND 对土壤背景的变化较为敏感。当植物覆盖度小于 15% 时，数值高于裸土的 ND 值；而植物覆盖度为 25～80% 时，ND 值随植被量呈线性增加；当植被覆盖度大于 80% 时，ND 对植被检测灵敏度下降。因此，ND 很适于早期发展阶段或低覆盖度植被的检测。

(2) 比值植被指数 (Ratio Vegetation Index—— RVI)

RVI 被定义为近红外波段与可见光红波段数值的比值，即 $RVI=IR/R$。在陆地卫星 MSS 中，$RVI=M7/M5$；在气象卫星 AVHRR 中，$RVI=CH2/CH1$。

RVI 是绿色植被的一个灵敏指示者。它与叶面积指数 (LAI)、叶干生物量、叶绿素含量相关最好。当植被覆盖小于 50% 时，RVI 不能很好地识别植物密度差异；但在高覆盖度下，RVI 将变得对植被十分敏感，与生物量的相关性最好。因而，RVI 更适用于植被旺盛、具有高覆盖度的植物的监测。由于 RVI 对大气状况极为敏感，极大地降低了它对植物检测的灵敏度，尤其在 RVI 值高时，大气效应影响相当显著，因此，最好运用经大气校正的数据。

(3) 环境植被指数 (Environmental Vegetation Index——EVI)

EVI 又称差值植被指数，被定义为近红外波段与可见光红波段数据的差值，即 $EVI=IR-R$。在陆地卫星 MSS 中，$EVI=M7-M5$；在气象卫星 AVHRR 中，$EVI=CH2-CH1$。

EVI 对土壤背景的变化较 RVI 要敏感。在植被覆盖度为 15～25% 时，它随植被数量的增加而迅速增大；当植被覆盖度达 80% 时，它对植被的灵敏度有所下降。EVI 在 AVHRR 的植被遥感中应用较为普遍。

(4) 穗帽 (Tasseled Cap) 转换技术中的绿被指数 (Green Vegetation Index——GVI) 和垂直植被指数 (Perpendicular Vegetation Index——PVI)

ND 与 EVI 均受土壤背景值的影响，为了消除和减轻土壤背景值对植物光谱的影

响，目前世界上广泛采用光谱数值的“穗帽”转换技术。它是基于陆地卫星 MSS 四维光谱数据，由 Kauth 和 Thomas（1976）首先提出的。植被光谱数据点的时间轨迹在 MSS 数据空间中形成一个所谓的“穗帽”图形，而土壤光谱则构成一条从坐标原点向外的辐射线，称土壤亮度轴。在这种穗帽转换图形上，不仅土壤与植物光谱特征互不相关，植物的绿度测量可排除土壤背景的干扰，而且可以直观地测量大多数植被的三维结构。

GVI 反映健康植被，是用于监测植物状况的一个很有用的指数。垂直植被指数 PVI 是在二维数据中对 GVI 的模拟。两者的物理意义是相同的。

据国外专家研究，对于陆地卫星 2 号 MSS 数据而言，

$$GVI = 0.388M_7 + 0.557M_6 - 0.660M_5 - 0.283M_4 + 32$$

$$PVI = 0.939M_7 - 0.344M_5 + 0.09$$

从理论上讲，GVI 和 PVI 不受土壤背景的影响。它们对植被具有适中的灵敏度，利于提取植被在各种土壤背景下的生长发育信息。

气象卫星 AVHRR 获得的实际应用的 GVI 表达式为

$$GVI = 1.6225X_2 - 2.2978X_1 + 11.0656$$

其中 X_2 和 X_1 表示 NOAA7 改进型甚高分辨率辐射仪（AVHRR）中 CH2 和 CH1 的 8 比特结构图像亮度值。它与陆地卫星 MSS 数据穗帽转换技术中的绿度（GVI）有极高的相关性（$R^2 = 0.99$）。两个卫星系统的 GVI 可高度兼容和对比，因而在监测植被中，多时相 AVHRR 的 GVI 可以直接用于替代或填补陆地卫星 MSS 资料的空缺，更利于植物季相节律的综合分析研究。

此外，植被指数对时间的依赖性，除决定植物本身生理生态状况的季相节律以外，还取决于太阳高度角和方位角变化对植冠双向反射的影响程度。研究表明，ND 估算叶面积指数因不能排除不同太阳高度角对光谱的影响，因而数值变化较大，而 RVI 与叶面积指数的关系在全年内是稳定的。因而在使用光谱数据前，要考虑太阳高度角的归一化订正，以排除太阳高度角变化对植被指数的影响。在生物量或产量估算中，要根据应用目的选择不同物候期的植被指数。

3．大面积作物估产研究

农业生产的实质是，绿色植物利用光能转化 CO_2 和水，进行各种碳水化合物的生产，它的产量表现为生物产量和经济产量两个方面。对粮食作物而言，籽实是经济产量，秸杆、叶、根是生物产量，二者之间存在一定的比例关系。一般说来，生物产量高，其籽实产量也高。这两部分都属植物光合作用产生的干物质数量，通常用生物量来评价。

农作物植冠（叶子）一方面反映作物发育状况、形成产量的能力，另一方面植物本身生理机制又具有独特的光谱属性。通过作物光谱成分分析，可找出农作物某些重要的农学参数与植被指数之间的定量关系，这就是生物量或产量遥感估算的理论基础。从而实现农作物生长状况的动态遥感监测，进而作出产量预报。

所谓大面积作物是指一个较大区域内有某种单一作物如冬小麦、玉米等。尤其是冬小麦，在众多作物中，它的栽培日程是独特的，这样也就成了影像中的“单一”作物。大面积作物区域内部，作物田块较大，色调相对均匀，是进行遥感宏观研究的前提。国内外的实践表明，应用陆地卫星或气象卫星遥感资料，结合地面模式研究和历史统计资料，进行大面积作物估产是完全可行的。

大面积作物估产主要涉及到三个方面，即作物识别、种植面积估算和作物长势分析。然后在综合的基础上，建立不同条件的估产模式，进行作物的遥感估产。

作物识别和种植面积估算往往结合在一起进行。江苏省高邮县利用 TM 图像，选择各作物群体色调、结构差异最大的物候期，即选择作物光谱信息差异最大的时相；采用 TM2，3，4或 TM2，4，7 彩色合成图像；经精确的放大和光学几何校正，目视解译作物的分类，然后量算各作物范围，得出各类作物种植面积值，精度可达 85％。

由于决定植被指数的反射率是随物候期面变化的，所以，植被指数也必然随作物的物候期而变化(图 6-5)。归一化差值植被指数的变化情况与此相似。此外，植被指数中只有 IR/R 指数与叶面积指数的关系在全年内是稳定的，所以，用 IR/R 估算叶面积指数几乎是唯一的方法。众所周知，叶面积和光合作用有互为正反馈的关系，即在其它条件相同的情况下，叶面积越大，光合作用越强；光合作用增强，叶面积增大。结果是植物干物质积累越快越多，生物量也就越高。这样，植被指数与叶面积指数、叶重、生物量、干物重等农学参数都有很好的相关关系，成为遥感估算生物量的指标。

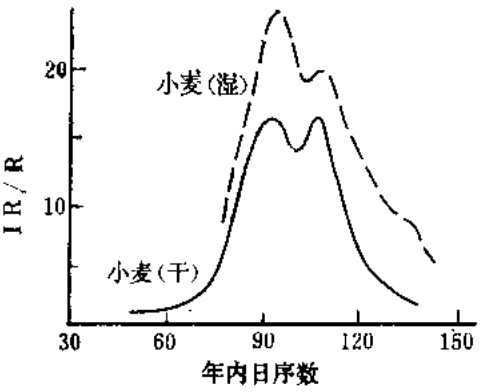


图 6-5　IR/R 值对时间的依赖性

北京顺义县的实验资料表明：植被指数与冬小麦不同生育期（返青期、拔节期和抽穗期）的农学参数及籽粒产量之间存在着很好的相关性，依此建立回归方程，是实现冬小麦长势动态遥感监测和产量遥感模式预报的新途径。此外，Siddoway 等认为，植被指数与小麦产量相关最好的时期是从作物的茎生长到谷粒充分含水的成熟阶段。理由是，孕穗阶段绿叶面积最大，粒穗饱满的后期，光合作用非活动组织占优势，植被指数与小麦产量的相关性下降。我国肖乾广等学者认为，植被指数与小麦叶绿素含量相关最好的时期是拔节到乳熟期，因而这个时期是小麦遥感估产的最佳时期。植被指数继开花期后减小的速率可用衰老率表示，它与农艺学及环境条件有关。Idso 等甚至提出可用衰老率来估产。肖淑招和孟宪钺（1987）认为，归一化差值植被指数和比值植被指数是适于天津地区的最佳植被指数；小麦抽穗前后是遥感估产的最佳时段，其中计算种植面积以拔节期为宜，单产预报在抽穗前后最佳，总产预测则以孕穗期为好。另外还采用了农学、经济计量、气象等综合模式作补充订正预报。通过以上研究，天津市冬小麦估产准确率 1985 年为 92％，1986 年为95％。

第三节　土壤类型的识别

自然界的事物总是相互联系、相互制约的，土壤就是在地形、母质、气候、时间，人为活动等成土因素的综合影响下发生、发展和演化的。它是各种因素的综合反映，其中只要有某些因素发生变化，一般说来必将导致土壤也发生相应的变化。遥感图像土壤类型的识别，采用综合分析方法，由各种成土因素（植被、地表的温度和湿度、水系和地形）及土类的地面信息（土地利用、质地、光谱特征），再加上环境信息(地区的气候、

地质历史等）的识别，通过它们之间的相关关系进一步区分出土类中的细小差异，来推断土壤类型、性质及其组合。土壤类型的解译是以间接标志解译为主的综合识别。

在成土因素中，气候因素是很重要的。气候随着自然环境的发生、发展、变化而不断演变。不同气候是在不同的自然地理环境中孕育而成的。当然、气候也反馈于组成自然地理环境的各要素。不同的气候，就有不同的植被、地貌、土壤、水系等，也就有不同的环境[5]（表6-18）。所以在解译之前应当了解研究区的基本气候特征是属于干旱、半干旱、半湿润还是湿润气候。这样，对于图像上反映出来的地貌类型、水文特征、植被状况及人类活动特点等才能有解译的方向性和思维的逻辑性。然而，气候这一因素的影响常常通过地貌、植被等间接反映出来，解译时要注意这一点。

表6-18　气候类型与地貌类型、植候类型、土壤类型、景观类型相关表(1)

气候类型	地貌类型	植被类型	土壤类型	景观类型
寒温带湿润中山气候	中　山	山地针叶林	棕色针叶林土	寒温带中山棕壤兴安落叶松景观
温带半湿润偏湿低山气候	低　山	低山针阔叶混交林	灰色森林土	温带半湿润灰化上针阔叶林混交林景观
温带半湿润偏干丘陵气候	丘　陵	波丘地森林草甸草原	黑钙土	温带半湿润丘陵黑钙土蒙古栎、灌丛草甸景观
温带半干旱偏湿台地气候	台地、波丘	台地典型草原	草甸栗钙土	温带半干旱台地栗钙土山杏灌丛、禾草草甸景观
温带半干旱偏干沙地气候	沙碱地	沙地半灌木、禾草草原	风沙土、盐碱土	温带半干旱沙地草原沙壤土碱土半荒漠景观

注：(1) 内蒙古兴安盟地区。

地形地貌对土壤生成发育的影响早已有所研究。由于地形地貌的不同，不仅热量和水分状况有所差异，而且土壤物质的运移和积累状况也有所不同，因此不同地形部位上的土壤及其性质也会不同。所以地形变化是推断土壤类型的重要依据之一。

成土母质包括岩石和松散堆积物，是对土壤性状有深刻影响的一个成土因素，能判别出成土母质，便能推断出相应土壤的很多性状，甚至能推断出某些土壤类型来。例如，只有先判别出石灰岩，才有可能解译出石灰土；只有先识别出红色粘土，才有可能解译铁质红壤或铁质黄壤。除了在干旱地区可以根据影像特征来识别某些成土母质类型外，对其它大部分有茂密植被和深厚风化物覆盖的地区来说，主要是根据不同的母质所构成的具有不同特点的地形地貌来解译母质类型的。例如，在高度大而面积不大的基岩风化山顶上发育着粗骨土；洪积扇扇缘，坡度转缓，地下水溢出地表，发育沼泽土、草甸土等等。

植被对气候和水分状况有敏锐的反映，土壤类型和性质与植被类型和性质有极密切的关系，有时土壤类型的识别也就是植被类型的识别，特别是在植被茂密的非裸露土壤上。在航空像片上能够解译出的对识别土壤有指示意义的植被类型有荒漠植物（麻黄、霸王鞭、沙拐枣、白刺、盐穗木、红柳等）、草甸植物（喜湿的禾本科草和莎草科植物为主）、沼泽植物（水生植物）、耐酸性植物（松、杉和油茶等）、喜钙植物（柏、梧桐）以及农作物，它们分别代表洪积土、草甸土、沼泽土、砖红壤（包括红壤和黄壤）、石灰土以及潮土。由于植被解译的直接标志是影像的色调、图型和形状等，均与季节有关，因

此解译时要注意物候历和农事历。

人们生产活动所留下的痕迹常常或多或少地反映出某些土壤性状，例如，茶园总是种植在酸性土壤上，向日葵种在盐碱土上；沼泽经排水后，土壤必定朝着脱沼泽化方向发展等。所以说，人们的生产活动也可作为解译土壤的重要依据。常见的对识别土壤有意义的生产活动有：①砍伐森林和弃耕抛荒；②植树造林和水土保持；③农田建设和田园化；④水利化等。

可见成土因素对土壤的影响是：气候在成土因素中起着重要的支配作用，决定土壤发育方向，制约土壤有机质的合成与分解，矿物质风化与淀积，以及水分蒸发和淋溶的过程。它控制了土壤类型的空间分布，使其具有地带性。例如属于暖温带干旱、半干旱的西北和华北地区的土壤类型与南方亚热带湿热地区的土壤类型差别很大。在特定的区域内，气候条件可看作是相对稳定的，这时地形地貌的作用就占了主要地位。地形地貌提供了成土的空间位置、母质和水文地质条件，热量和降水也因地形、土壤质地不同而有差异，随着地形海拔高度的增加，气温的降低也影响植被和土壤的性质。植被与土壤有着密切联系，植物从土壤中吸取所需要的营养物质，本身的有机残体影响着土壤肥力的变化，促进土壤中矿物质风化和有机质积累，是土壤由无机界向有机界转化的媒介，有了对识别土壤有指示意义的植被类型。人类农业生产活动，如平整土地、灌溉排水、耕作深度、施肥多少、各种改良土壤措施，以及营造防护林形成的人工小气候，都直接影响着土壤形成和演变，不断地改变着土壤的性质、肥力高低和土地的生产能力，加速着土壤熟化的进程。所以说，成土因素的识别是土壤类型解译的基础。

在中国土壤分类系统（第二次土壤普查分类系统修订稿）里，单土类就有57类，每个土类又可分1～7个亚类。亚类还可细分为土属、土种和变种。土壤类型何其之多，不能一一介绍，只能举例说明。

一、土壤分类（河北省唐山市）

唐山市位于东经118°04′～118°34′，北纬39°33′～39°53′。属于暖温带半湿润大陆气候，具有冬干夏湿、四季分明的特点。地势北高南低，中部突起，两边低平，为冀东山麓平原中部，土壤大部属于暖温带灌丛草原褐土地带。已有几千年的耕作历史。影响农业经济的河流大小有10条。在充分利用已有资料（包括野外调查、地形图、地质图、植被图等）的基础上，对唐山市1:5万比例尺的SPOT彩色合成图像，分别进行了地貌、水文地质、植被、土地利用等成土因素的识别。在综合分析和归纳后，按照中国土壤分类系统要求采取了四级分类制：土类、亚类、土属、土种。按地貌形态类型分出四大土类：褐土、潮土、水稻土和沙土；依据水分条件和植被在成土过程中的作用分出7个亚类；由成土母质的成因类型分割成9个土属；又按成土母质的质地划分了土种（表6-19）。图像解译结果和唐山市农业局1983年编制的土壤图比较，土类和亚类的划分界线基本吻合，土属的划分界线则有一定出入。

二、土壤垂直带谱（甘肃省天祝县）

天祝县地处祁连山东段，境内地势高亢，山脉绵延，作为内陆水系与黄河水系界山和东西交通孔道的乌鞘岭横贯其间。最高的大雪山主峰海拔4 874米，下为农业区，土

表 6-19 SPOT 影像土壤分类表

土类	解译标志	亚 类	解 译 标 志	土 属	解译标志	土种	解译标志
褐土	低山丘陵山麓洪积冲积平原	碳酸盐褐土	石灰岩丘陵，坡陡顶圆，植被少，有采石场	坡积碳酸盐褐土	坡积成因石灰岩风化碎屑物		
		褐 土	低山丘陵，水分、植被较差	坡积褐土	坡积物		
		淋溶褐土	低山丘陵，水分条件较好，有灌木，果园，林木分布	坡积淋溶褐土	坡积物		
		草甸褐土	山麓洪积冲积平原，水分植被条件好	冲积黄土质草甸褐土	冲积物		
				冲积草甸褐土	冲积物		
潮土	冲积平原	潮 土	河流冲积作用形成的平原，水分、植被条件好	冲积潮土	冲积物	沙质冲积潮土	部分为风沙土，植被稀疏
						沙壤质冲积潮土	沙壤质部分种水稻
						轻壤质冲积潮土	轻壤质，大部种水稻
				冲积-黄土质潮土	以黄土质为主的冲积物		
水稻土	冲积平原（低洼地）	淹育型水稻土	冲积平原低洼处，水分过饱和	冲积淹育型水稻土	冲积物，后经过淹育改造		
风沙土	冲积平原故河道带	风沙土	冲积物经风改造后形成，水分，植被条件差	半固定沙丘	冲积-风积物		

为永久积雪带。这里以牧为主、农林牧交错，生物气候条件呈现出明显的垂直梯度变化。本县的地理位置决定了其生物气候条件的过渡性：大致以乌鞘岭为交接点，西北部属温带干旱区，东南部为半干旱区，而西部则属高寒半干旱区，降雨量和气温有着明显的地区差异。在景观上具有自北而南由荒漠向高寒气候过渡的特征。土壤的空间分异除受高程制约外，由海洋性向大陆性过渡的经度变化规律（由湿度不同而引起的土壤分异）也很明显。天祝县自然植被保护较好，人为干扰较小，耕地分布部位也有一定的规律性。这就是该区域的概况。

在了解区域概况后，应用 1:10 万、1:20 万比例尺的不同时相的多种彩色合成图像（MSS），并结合航空像片，依据影像特征及成土条件的时空变化，在实地建标的基础上进行了目视解译，並使用日产 ND-1001DP 测色仪对解译成果进行了全面的量测校核。

卫星图像可明显地反映山体形态和植被的垂直梯度变化，一般依据植被、母岩的影像特征及所处高程进行土壤类型解译。以大雪山北坡为例的土壤垂直带谱是[6]：

(1) 高山寒漠土。海拔 4 200 米以上。活动岩屑堆和融水泥石流广布，多冰缘地貌类型。仅低坳处生长垫状植被，土被与裸岩相间分布，呈不连续状，土层浅薄。影像呈青蓝色，主要反映裸岩的光谱特征。色差值（ΔE）≥106。

(2) 高山草甸土。海拔 3 600～4 200 米，多分布于高山带缓平坡面。高山矮草草甸群落，覆盖度可达 40～60%。影像显示红黄色间青蓝色。色差值（ΔE）37～84。

(3) 亚高山草甸土。分布于海拔 3 200～3 600 米，地形多属开阔的山原，其下界与林限相连向上逐渐过渡。影像呈浅红或红黄色，色调均匀连片。色差值（ΔE）1～13。

(4) 灰褐土。分布于海拔 2 600～3 200 米的石质中山地带，植被以块状或带状针叶林为主，枯枝落叶层较薄，心上层可见钙质淀积物。影像呈均匀的暗红色或紫红色。界面清楚，阴影分明。色差值（ΔE）15～23。

(5) 山地黑钙土，分布于海拔 2 700～3 200 米的中山阳坡和半阳坡，植被以山地草甸草原群落占优势，土层深暗，心土可见腐殖质舌状淋溶淀积，略有粘化现象。影像呈棕红色，轮廓清晰，有树枝状条纹穿插。色差值（ΔE）25～30。

(6) 山地栗钙土。处于开阔滩地及低山丘陵，一般海拔 2 500～2 700 米，植物以耐旱的禾本科丛生草本植物占优势，影像呈黄棕色间浅黄色条纹，过渡明显。色差值（ΔE）20～100。

此外，大通河流域与乌鞘岭北部内陆流域的中山林区，在图像影像色调上存在着明显的差异。原因是：内陆年均温－0.1°C，小于 10°C 的时间长达 305 天，年降水量小于 250 毫米，因此森林以针叶林为主，土壤淋溶微弱，形成灰褐土和山地栗钙土。影像呈紫红色，主要反映针叶林的光谱特征；而以天堂寺为代表的大通河流域，年降水量可达 500 毫米以上，年均温 4.2°C，林相为夏绿阔叶林或针阔混交林，以红桦、白桦、棘皮桦为主，间有云杉、油松等针叶树种。土壤有明显的褐土化过程，土壤淋溶强烈，粘化和钙积现象明显，因而形成山地褐土和淋溶褐土。影像呈现鲜红色调，反映阔叶树的光谱特征。所呈现的两种自然景观，虽说是与植被类型和作物季相有关，但实际上反映了生物气候条件由湿度不同而引起的土壤分异。

三、盐碱地调查（山东省禹城县）

禹城县地处山东省西北部，徒骇河中游。属于鲁西北黄河冲积平原的一部分，海拔 19～27 米，地形平坦，交通方便。河渠网络纵横，坑塘苇湾星罗棋布。禹城县处于暖温带半湿润季风气候区，大陆性气候明显，四季分明（春季干旱多风、夏季多雨炎热、秋季先凉后旱、冬季寒冷干燥）。年均气温为 13.1°C，年均降水量为 643.6 毫米，全年累计平均蒸发量为 2 268.2 毫米。月最大蒸发量 6 月为 391.6 毫米；月最小蒸发量 1 月为 57.4 毫米。夏日雨季历时平均为 74 天，降水量却占全年降水量的 69%，其它月份的降水量分布极不均匀。因此土壤水分的支出（蒸发）大于收入（降水），造成冬春干旱、夏季易涝易碱的特点。该县人多地少，无天然森林和草原，植被以栽培作物为主。一些未被开垦利用、撂荒和闲散的土地大都为盐荒地。根据禹城县区域概况和作物农事历，于 5 月中旬进行了三次航空摄影，以期获得较多的农作物和各种土壤类型的有用信息。

在充分收集、利用现有的地形图、专业图和文字资料的基础上，制定了禹城县盐碱地分类标准（表 6-20）。在典型样区野外调查的过程中，建立了彩色红外像片上盐碱地的影像解译标志（表 6-21），並用外推法对全县进行了分类。

利用彩色红外像片进行盐碱地解译，是以气候、水文、地貌和人为因素等作为参考因素，主要从作物生长状况和裸露土壤两方面来进行的。由于盐渍化土壤对农作物生长有很大影响，不同盐渍化土壤，作物缺苗成数不同，生长好坏也不同，在彩色红外像片上有明显差别。作物生长茂盛，叶绿素含量多，红外反射强，影像呈均匀细腻的红色调；

表 6-20 禹城县盐碱地分类标准表

分类	野外调查中的景观描述		土样化验结果
	作物情况	盐斑占耕地面积百分比	0～20厘米土层全盐量(%)
非盐碱地	全苗	0	<0.1
轻盐碱地	缺苗1～2成	10～20	0.1～0.3
中盐碱地	缺苗3～4成	30～40	0.3～0.6
重盐碱地	缺苗5～7成	50～70	0.6～0.8
盐荒地	作物难以生长	>80	>0.8

表 6-21 禹城县盐碱地解译标志

类型	分布特点	影像特征
非盐碱地	分布在徒骇河两岸河滩高地和高坡地上，潜水位埋深常在2.5～3米或大于3米，矿化度<0.5克/升。局部地下水位较高处，因土质偏粘抑制返盐作用，这类土地生产良好	小麦影像为枣红或大红色的连片图斑，并被浅黄色格网（田埂）分割，轮廓清楚色调均匀。春作地为均匀乳黄色、浅黄色规则图斑、浇过水的地为均匀黄绿色
轻盐碱地	斑状分布在开阔的低平坡地上，潜水位埋深在2米左右，矿化度约1～5克/升。由于地下水流动较缓，在土质差的地方容易发生轻度积盐。耐盐性较弱的作物受到轻微抑制，小麦少数缺苗	小麦影像色调深浅稍有不均匀，夹杂少量浅黄或白色的碎斑纹。春作地色调也不大均匀；水浇地因盐分吸潮不同，影像为不太均匀的黄绿色、夹有灰绿色花纹
中盐碱地	分布在浅平洼地和背河槽状洼地内，潜水位埋深在1～2.5米，常呈滞流状态，矿化度为2～10克/升，沟渠两侧常有中度次生盐碱地有一定耐盐能力的作物均受抑制，小麦更难生长，缺苗3～5成，半裸露地表可见稀疏的野生盐蒿、柽柳、芦草等，土表有白色盐霜和潮湿盐斑	小麦影像为红或浅红色不均匀图斑，黄白色的花纹增多，浅黄色的春作物中夹有更多灰绿、灰黄花斑。果园影像为整齐排列的大小不一的红色小颗粒，间断地出现白花斑
重盐碱地	分布在较大洼地边缘的低平部位或背河槽状洼地里及人工取土后形成的洼地，土质偏沙，潜水位埋深小于1.5米，矿化度约10克/升或更高。严重抑制棉花生长，大量撂荒，地表长有盐蒿、节节草、碱蓬棵、柽柳和芦草等耐旱植物，还有大量盐霜、盐结皮和盐斑	影像色调白到黄，白为主，极不均匀
盐荒地	基本不连成大片，斑状插花分布在中度到重度盐碱地内，潜水位埋深1～1.5米左右，矿化度高达10克/升以上，甚至为浓盐水。耕层含盐量达0.8%，形成较厚的盐结皮和盐碱斑。只稀疏生长着耐盐性强的植物	影像为较均匀的雪花斑状，轮廓清晰

当作物受到轻度或中度盐渍化影响时，作物红外反射相应减少，影像红色调减淡，缺苗部分的影像是裸露土壤的影像，呈蓝色；当作物受到盐碱的严重危害，使作物出苗率小于50%或成为不毛之地时，缺苗地具有盐结皮或盐霜，整个影像呈现花斑状图型，出苗的作物为非常浅的红色，裸露土壤呈蓝色，具有盐结皮或盐霜的部分呈白色。因此，可通过作物在彩色红外像片上影像的色调和图型，来间接解译土壤盐渍化的程度；可通过裸露土壤在彩色红外像片上的影像色调和图型，直接解译重盐碱地和盐碱荒地。

彩色红外像片进行盐碱地解译的结果，反映在1:5万比例尺禹城县盐碱地分布图上。用求积仪量算面积可知，非盐碱地占全县总面积的63%，轻盐碱地和中盐碱地分别占16.2%和13.4%，重盐碱地占6.3%。盐荒地仅占1.1%，约15 656亩。在1982年7月中旬进行土地利用现状调查时，对部分盐碱地的分类和轮廓界线进行了校核和验证，

除了轻盐碱地的分类和轮廓界线与非盐碱地或中盐碱地有些出入外(校核判对率为85～90%)，其它室内解译成果与野外实地验证相符(校核判对率为100%)。

土壤盐渍化主要发生在干旱和半干旱地区。在我国，干旱和半干旱地区约占国土面积的1/4，那里盐渍化现象很普遍。我国东部的半湿润地区，在季风的影响下，降水分配不均，70%左右的雨水集中降于夏季，其它季节却很干旱，因此土壤盐渍化现象也普遍存在。据估计，土壤盐渍化使世界上灌溉土地1/3面积的作物产量受到了限制。所以土壤盐渍化问题是农业发展中面临的一个严重问题。国外主要是利用彩色红外像片和热红外图像进行土壤盐渍化的遥感监测。用彩色红外像片作为解译底图，确定盐渍化的范围；用热红外图像作为彩色红外像片的补充，来确定初期的盐渗出，因为初期盐渗出地区比其周围的土壤凉。新疆库尔勒盆地盐渍土研究采用MSS图像(1976年12月17日)。在MSS黑白图像上不易分清盐渍土、湖沼、浅水河道、芦苇、湿地等。通过对该地区遥感数字图像的处理表明，不同处理方法对突出某种地面信息具有的不同效果。为了使各种地物影像有明显区别，采用假彩色合成法是较有效的；突出水体和盐渍土的含水情况，采用比值增强处理法效果显著；分析盐渍土类别和含盐量，则宜采用密度分割法。当然，要对地物特征进行全面调查，一般需要同时采用多种方法，才能提高解译效果。

四、水稻土解译(湖南省古丈县)

在亚热带湿润地区，无论是河、湖平原或丘陵山区，广泛分布着各种类型的水稻土，它的面积远比西北干旱地区和华北半干旱地区的大，类型也复杂得多，它是南方，也是全国最重要的耕种土壤之一。

水稻土在全色航空像片上往往呈现为很易识别的特殊影像。因为绝大多数水稻田的耕作历史都比较悠久，同一田块内的土壤肥力比较均一；又由于水田耕种管理技术的要求，田块分割得较小，田面平整，周围修筑田埂，水分条件很一致，只要施肥较均匀，品种不混杂，作物长势一般也较均匀。所以大多数田块的影像都比较均匀一致。每个田块周围为棱角明显、边缘光滑的线条所封闭。在立体镜下还可看出田埂高出田面。由于这些特点的存在，水稻土和一般的自然土壤或旱作土壤不致混淆。

古丈县水稻土有淹育性、潴育性、渗育性、潜育性、沼泽性五个亚类。判别时主要依靠影像色调、地形部位、水利条件、人为因素和摄影季节(解译用的像片是秋收后摄影)等标志来分析(表6-22)。

渗育性水稻土亚类的色调和分布部位等与潴育性水稻土亚类大致相同，较难区别。

水稻土土属和土种分类，往往以土壤酸碱度pH高低和有无石灰反应进行。在航空像片上解译难度很大。现以灰黄泥与灰泥田两个土属为例说明。这两个土属都发育在石灰岩母质，灰黄泥，微酸性无石灰反应；灰泥田，微碱性有石灰反应。各种灰岩如镁质、泥质、硅质等都可能形成这两种土壤，因此，依岩石类型是难以区别这两个土属的。土壤是否呈碱性，是由灌溉水质决定的。引溶洞水(含有大量的钙质)灌溉，易使土壤形成碱性。而溶洞像点小，在航空像片上难以发现，只能从溶洞可能存在的部位、断头河、偶见的池塘等间接标志来判断。此外，农田色调对区分灰黄泥和灰泥田意义较大。灰岩地区的沟田、排田、溶田、漏斗田多为浅灰到灰色，为灰黄泥类型。若出现淡黑至黑色色调或色调深浅不匀者，多为灰泥田类型。相对平缓的溶田、灰泥田常分布在靠近山体的上部。漏斗

表 6-22　水稻土亚类的解译标志

标志 / 亚类	色　调	分布部位	水利条件	农田形状	田埂特征
淹育性水稻土	灰白到浅灰，以灰白为主	中坡以上坡地和缓坡农田上部、所处部位都在正地形或直线型坡上	主要靠自然降水灌溉，无灌溉沟渠，水源缺乏	农田以小块为主，形状不规则或细长弯曲，呈条带状	上下丘农田高差明显。田埂粗大，影象粗糙，田埂占总面积35%以上
渗育性水稻土	灰到深灰，部分夹有浅黑色斑块。由硅质岩母质发育的该类土壤，多为黑色	冲垄坪地及缓坡地中、下部，凹沟农田中、上部，河流一、二级阶地及居民地附近	水利条件好，一般水源充足，常见引水沟渠，地位较低下的农田具有排水设施如围沟等	田块面积较大，冲垄田常具有较规则几何形状	垄田、坪田田埂小而光滑。排田有一定高差，影象较粗糙，田埂占总面积在35%以下
潜育性水稻土	浅黑到黑色，有时夹灰色小斑点，为弃下的稻草所反映	多分布于低洼地带及凹沟农田下部，碟形地底部	水源丰富，上部常见引水沟渠或塘库。无排水沟或沟水与田面水水平	洼地农田面积较大，具有一定几何形状，冲沟田单丘面积小，形状不规则	田埂细而光滑，丘与丘之间无明显高低起伏
沼泽性水稻土	均匀灰色	分布于盆地或低洼地中心部位，以及四周或三面山嘴与冲垄的集汇处	排水条件极差，出水处常稍高于田面	农田面积中等，具有一定几何形状	田埂纤细而又凸起明显，光滑感强，色调比田面稍浅

密布的地方往往没有灰泥田。

五、亚热带湿润地区的自然土壤解译

自然土壤是指未被开垦农用的土壤。在南方亚热带湿润地区常遇到的有典型红壤、黄壤、红壤性土、水化红壤、侵蚀红壤、石灰土、紫色土和沼泽土等。

(1) 典型红壤，是指在亚热带地区具有完整 A、B 发生层的红色土体，多分布在排水良好的缓丘上，母质多为第四纪红色粘土、砂页岩、花岗岩等。其上总是或多或少覆盖着耐酸的自然植被或人工植被，具有解译意义的有马尾松、油茶等。因此，地形条件、母质类型和植被类型是解译典型红壤的三个重要标志。

(2) 红壤性土，是指在亚热带条件下发育的幼年红壤，也有人称之为"粗骨性红壤"。它没有明显的 B 层，其上的植被和其下的母质都和典型红壤相同。所不同的是红壤性土多发育在 20 度以上的山坡上。因此，通过立体观察就可以将红壤性土和典型红壤区分开来。

(3) 水化红壤，是指在红壤缓丘的一些碟形洼地中因铁质受水化而形成的黄色土壤。碟形洼地水分条件较好，常覆盖较茂密的草本植被，呈现出草甸植被特有的影像特点，而与周围的典型红壤很不相同，据此不难将它的分布范围确切地勾画出来。

(4) 侵蚀红壤，是非耕种红壤中自然肥力最低的一个亚类。它由典型红壤遭受侵蚀而形成。因其含有机质的表土被侵蚀，心底土出露，植被稀少，所以影像色调较浅淡，特别是较大面积遭受侵蚀的红壤，反映在较小比例尺的航空像片上形成一种很特别的浅灰色"癞蛤蟆皮"图型。在大比例尺航空像片上，根据影像色调的变化和冲沟的多少，还可以解译出侵蚀程度的强弱。

(5) 石灰土，是指在石灰岩发育的岩性土。由其所在空间位置、溶蚀风化程度和喜钙植物出现为解译依据。

(6) 紫色土，是由紫色砂页岩发育的岩性土。可根据紫色砂页岩会形成类似“蚕茧”形或“鸡爪果”形的低丘等地貌特点，间接推断紫色土的存在。

(7) 沼泽土，是指低洼地段、地下水位高、甚至季节积水处发育的沼泽性土壤(沼泽化潮土或各类沼泽土等)，其影像色调很暗。但在这种地段稍高部位常伴随着强盐渍化过程，特别是春夏之交，干燥少雨、气温升高很快，土壤蒸发十分强烈，白色盐霜积聚于地表，从而大大提高了土壤光谱的反射率，使影像色调变浅。但是地面不会全部被盐霜所覆盖，沼泽土湿度大，有机质含量高等特点产生的暗色影像仍会在航空像片上有反映。沼泽土部分已开垦种植耐涝的高粱或辟为水田种稻，少数尚未开垦，生长沼泽植物。

参 考 文 献

[1] 杨景春主编，地貌学教程，高等教育出版社，1986年。

[2] 萧钟、寇有观，物候与遥感解译，遥感信息，(3)，1987.

[3] 李琦，陆地卫星像片（太原幅）乔灌草信息特征增强和提取及其解译，遥感文选，科学出版社，1981年。

[4] 陈述彭、赵英时，遥感地学分析，测绘出版社，1990年。

[5] 李栖筠，陆地卫星影像气候资源目视解译研究，遥感信息，(3)，1986.

[6] 齐国光，西北山地卫星图像土壤解译制图方法的研究，全国农业遥感第一次学术交流会论文选辑，农村实用工程技术（增刊），1986年。

第七章　水资源遥感

水是自然环境中最活跃的因素之一，也是最宝贵的资源。人类的生存和发展与水密切相关。水不仅是人们赖以生存的基础，而且也是工农业生产的基本资源。根据水分循环的原理，水资源虽然是可以再生的自然资源，但也不是取之不尽的。随着工农业生产发展、人口增长和物质文化生活水平的不断提高，对水的需求量也在迅猛增加，故水资源研究具有重要意义。

地球上3/4的面积覆盖着水，並呈固态、液态和气态形式分布于海洋、陆地以及大气中，因此它比较复杂，涉及的技术领域更广。目前已在水文物理量的定量分析、水域（河流、湖泊）历史变迁、河口三角洲的变化、海岸带和海洋等许多方面应用遥感方法来研究。

水资源遥感是以动态遥感为主，结合定量分析，以及遥感、遥测、遥控的综合应用为特点的。历史动态遥感必须使用多时段的重复图像，面实时动态遥感必须对遥感资料进行实时处理，要求遥感图像地面分辨率更高，实时处理的时段短。

第一节　水文物理量的定量分析

由于水体在各波谱段具有明显的特性，所以，以其形状、色调、结构等影像特征在遥感图像上是易于识别的。对水文物理现象的描述也可利用遥感图像，结合地面台站长期观测记录进行定量分析。它们测量的精度主要与遥感图像的地面分辨率和灰度值有关。

一、水位-面积曲线和流域分类曲线

要测量水面面积，首先要准确标定水边线。根据水体对近红外和红外线部分几乎全吸收及雷达波在水中急速衰减的特性，应用航空红外像片和机载雷达图像可以获得准确的水边线位置，从而保证水面面积量测的精度。而目前最常用的却是陆地卫星、气象卫星等遥感图像。例如用MSS7图像研究鄱阳湖洪水期和枯水期的水面形状（图版XII-2，3），洪水期湖面好似一只斜放的三角瓶，枯水期时，湖变成了赣江分支众多的河道形状。若收集历年来丰水年、平水年、枯水年及年内洪水期、中水期、枯水期的图像资料及同步实测的湖水水位资料，分析历史的水位与面积的关系，作出水位～面积关系曲线，则可测出任何时刻图像上的湖水面积，从曲线上查出湖水位。若从MSS4图像上根据灰度绘出等深线的话，则可根据深度和面积求出容积，这对研究湖泊、水库的调洪能力很有意义。

流域形状，可利用MSS7图像描出河系网络，由MSS5图像勾绘流域分水界线得到。若在其上画出离河口的等距线，面积的分布按河段统计，並假定流域的最大长度和宽度

总是以100%计，即可绘成极其精确的流域分类曲线。苏联学者曾在50年代利用详细的形图，将全苏流域形状分成5地种主要类型(图7-1)[1]：I.中游最发达的流域（图7-1-1，5)，II．上游最发达的流域（图7-1-2，3，4)，III．下游最发达的流域（图7-1-6,6a)，IV．各段发展均匀的流域（图7-1-7，8)，V．中游缩小的流域(图7-1-7a)。这些流域分类曲线犹如流域的暴雨流量过程线的形式，所以利用遥感图像研究流域形状分类，对分析迳流形成及正确了解洪水情况（特别是未经研究的河流）来说，是有用且有效的。

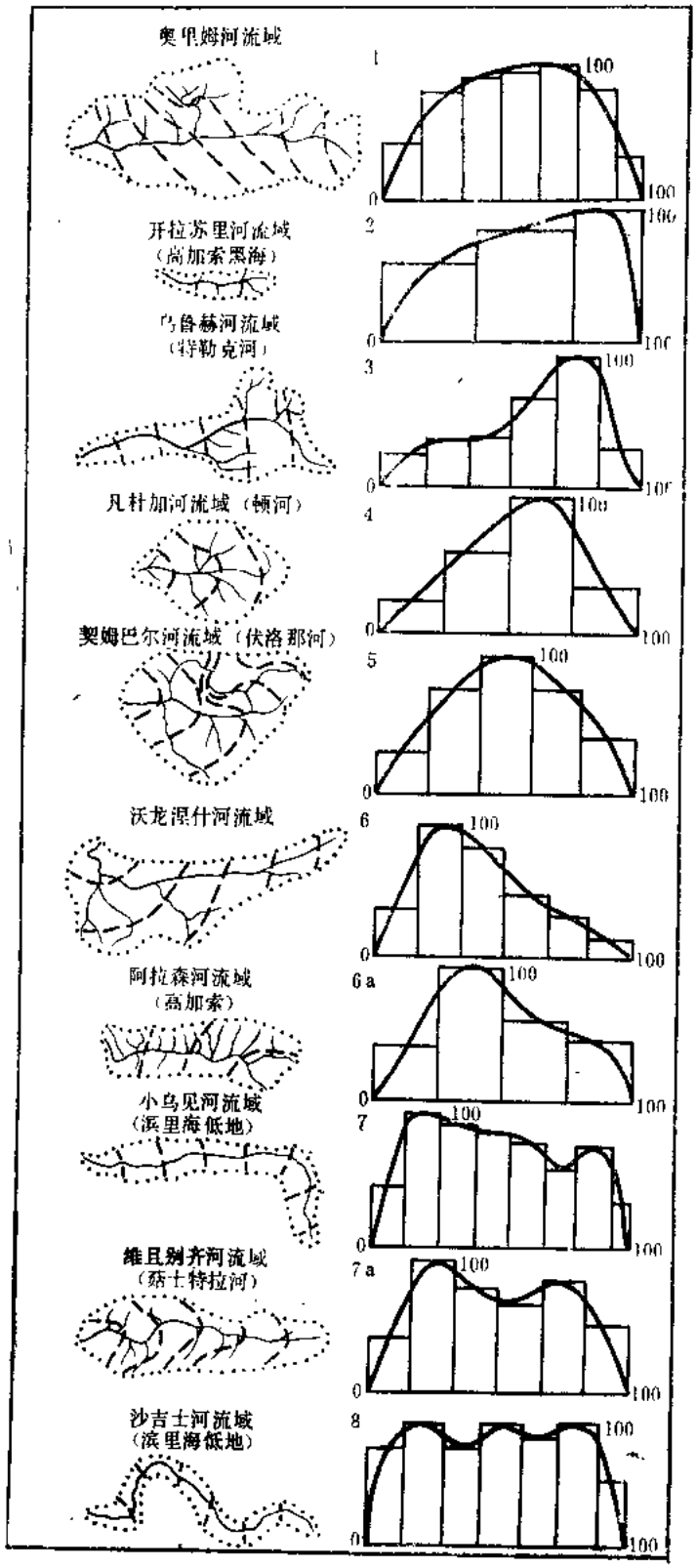


图7-1 典型的流域形状

水域面积和流域形状测量的精度与遥感图像的地面分辨率有关。地面分辨率低，则精度差；地面分辨率高，则精度高。

二、水体的深度和含沙量

极据水体在各波谱段的特性，常运用MSS4图像上的平静、清澈的浅水湖泊的灰度变化反映的水深，再根据少量实测水深资料，以灰度变化绘出湖水等深线。例如腾冲地区的侍郎坝水库的水深（图版IV-1)，是由0.4～0.5微米波段的遥感图像上水库的影像，做密度分割处理並和实测水深资料建立水深～影像密度关系，推算出侍郎坝水库的等深线的(图7-2)。

珠江口浅海地形图就是采用此法编绘的，它是部署围垦工程和建立浅海养殖场的重要依据。

还可利用 MSS 多波段遥感图像中不同波段图像上的灰度与不同水体深度内含沙量之间的相关关系，根据少量实测含沙量资料，依不同波段图像的灰度变化绘出不同深度内的等含沙量线。例如，湖盆最大水深为 4.75 米的洪泽湖，风浪作用能影响湖中泥沙平面和垂线上的分布。试验资料表明，0.55微米波长的光对水体穿透能力最强，随着水体浑浊度的加大，穿透能力随之减小，在近红外波段仅仅能穿透0.02毫米的水层。若按最浑浊的沿岸水的消散系数来计算，MSS4，5 和 6 图像分别反映 2.5，1.5 和 0.5米深度水层中的泥沙分布状况，构成湖中泥沙分布立体模式，可为合理利用水体、立体养殖鱼类提供依据。在 4 个波段图像上均为黑色的水域是水草生长区，此区泥沙含量最低，为 0.001～0.004 千克/立方米。

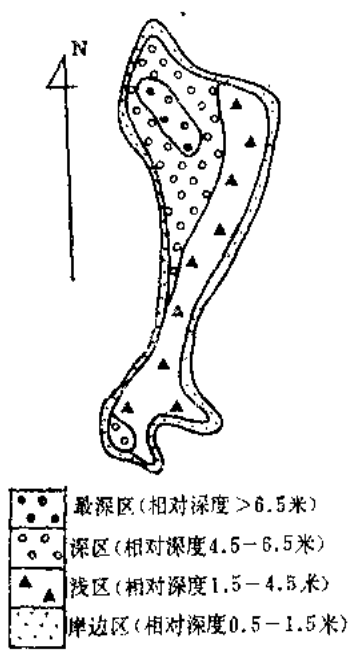


图 7-2　侍郎坝水库等深线示意图

美国一个价值 800 万美元的饮用水的汲水口，由于定位时没有应用遥感图像进行分析，错误地将其建筑在浑浊的非饮用水中，而图像却清楚地表明，汲水口应建在此地北面 9.65 公里的可使用的清洁水中，可见遥感图像灰度与水文物理量之间的关系是很有意义的。

三、水体温度

水体温度在白天的红外图像上有比较明显的区别（图版 III-4,5）。一般情况下，白天水体的温度低于周围物体的温度，在红外图像上呈冷色调(暗色)。一旦有热水或污水排入河流、湖泊时，或海洋中冷暖水流交汇，水体温度差异反映在红外图像上为不同等级的灰色调。根据少量的实测温度数据和红外图像灰度变化，可绘制等温线图。红外图像能清晰地反映出电厂温热水排放扩散的动态，例如陡河冷却水库(图版 III-8)，从它的热水温度下降曲线（图 7-3）看，排水口附近由于冷热水剧烈掺混，水温跃降很大。排水口近区，20%的库区面积可使进入冷却水库的水温降低 50%左右。也就是说，如果电厂的热水排放温度比自然水温高 10°C，在排水口附近占库区面积 1/5 的范围内即可降低 5°C。

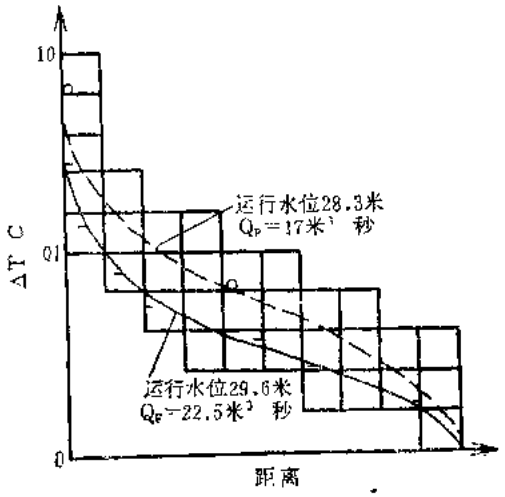


图 7-3　温降曲线

又如，图版 VII-4 的南黄海，中部的黄海暖流呈浅色，西部的黄海冷水和东部的西朝鲜湾沿岸流呈深色。虽然热红外图像只能反映 0.02 毫米厚水层的温度分布趋势，即使这样，遥感技术在海面温度场的研究中仍然有着重要的意义。在海洋中，海水温度的分

布在空间上和时间上都是不均匀的。长期以来，人们获取大范围海洋水温的分布，都是依靠船只航行观测的非同步资料通过计算来编制成图的，资料的精度和实时性都有很大局限。气象卫星热红外图像为取得大范围、同步、快速的海洋水温资料提供了重要手段，对于捕捞鱼群和大尺度海流现象的揭示极为有利。

以上这些白天红外图像上灰度的差异，在晚上的红外图像上都不存在，原因是晚上水体温度比背景的高，凡是水体均为暖色调（浅色），分不出冷热来。一些在可见光像片上不易发现的泉眼、池塘、小溪等，在晚上的红外图像上能得到很好的反映，如云南腾冲地区的黄瓜箐热泉（图版XVI-4）。

第二节　水域历史变迁

遥感研究长周期的水域历史变迁，主要是依据它在遥感图像上所遗留下来的“痕迹”进行识别的。由于河流、湖泊、海岸等均有其特定的发生发展规律，有其区别于其它地物的特性，因此尽管经历了漫长的自然历史过程，发生了很大的变化，仍有不少特征通过地表水分条件、植物生长状况、土地利用方式、地貌结构和组合关系等得以不同程度的保留。在遥感图像上，它们以色调、阴影、形态、大小、纹理结构等的差异反映出来，由此可勾绘出它们的变迁轨迹。人们通过寻找这些图像标志及其与周围环境因子的不同之处，来追索它们的分布、变化范围和演变规律，并结合它们的时空变化规律（在空间组合上的规律性），进一步从宏观上恢复此地当时的古地理环境。这种水域历史变迁“痕迹”的识别，往往在大范围内才能奏效。

一个地区的自然历史变迁与该地的水域演变有着十分密切的联系。遥感研究自然历史变迁，尤以研究水域的演变最为突出，效果明显。这是因为，一是水域面积大，变化快，形态独特；二是水在各波谱段具有明显的特性；三是水域演变后多能在原地保留一定湿度和形态，即“痕迹”较为明显。因而，在遥感图像上图斑清晰，信息丰富，较易辨别。正因为遥感图像上详细地记录了水域的分布形态，并且方位准确，形象逼真，所以有利于水域演变的定位定量研究，可以起到在宏观上“再现”演变模式的作用，因此为水域的动态研究提供了新手段和新途径。

一、河型和河床演变

河型是指一条河流的河床平面形态。它在遥感图像上有生动的反映。由于河床类型代表一种河床调整的机制，这种机制与河床比降和横断面的调整密切相关。河型本身影响着河床对水流的阻力，某种河型的存在与所能得到的泥沙总量和性质有密切关系，与流量及其变化的关系也十分密切。所以，近年来国内外河流地貌研究重点是河型。然而，至今关于河型分类仍是众说纷云。这说明河型研究还很不充分。

通常在遥感图像上能把河型分为顺直微弯、弯曲、分汊和游荡四种。人们常把河流的长度与河谷长度的比值作为划分各种河型的标准。这一比值称为曲折率，它的大小大致变化在1～5之间。顺直微弯型的曲折率为1.0～1.2；弯曲型的曲折率为1.2～5.0，其中一般弯曲的曲折率是1.2～1.5，蛇曲或蜿蜒的曲折率则是1.5～5.0（图版II-6）。分汊型是河床被江心洲分为若干汊道（图版II-5），有分有合、时分时合，河岸抗冲性比

顺直微弯和弯曲型的小，有可能因冲刷展宽河床，为江心洲发育提供条件。游荡型河床的主要特点是，河身宽浅，心滩众多，洪水时汪洋一片，波涛汹涌；枯水时河汊密布，水流散乱，有时甚至难辨主流所在，在多沙河流上尤其普遍。

利用不同年份的航空像片和卫星遥感图像，並结合同期河床断面形态测量资料和历史记载对比河床平面形态的变化，可研究河床演变的过程。

1．长江镇江～扬州河段

在遥感图像上可见到，左岸通江集至陡山，右岸龙潭至高资西的河漫滩上、世业洲洲尾和征润洲上，均可见到遗留下来的由河床摆动形成的平行鬃岗，鬃岗略有向上集结的趋势。由这些河床摆动的遗迹所恢复的镇江～扬州河段演变过程（图 7-4），清楚地显示出陡山与焦山为两个控制点，河床在此两点之间往复摆动，河道水流的主流动力轴线以蜿蜒弯曲的形式向下游传播，主槽由三个河湾变成两个河湾，征润洲洲尾淤涨下延至焦山，将成为凸岸边滩。镇江港在 90 年前水深数十米，现今仅数米，因此，只有按河势发展趋势采取迁港措施。

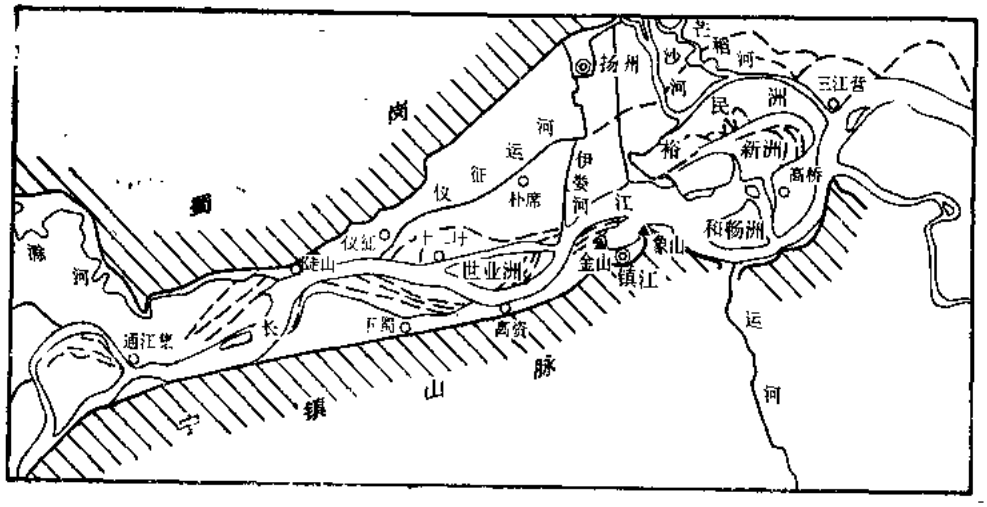


图 7-4　长江镇江—扬州河段河床演变略图

略图的右上角，小江以南是裕民洲，其夹江即小江，洲的西南侧包含一个名为新洲的江心洲，新洲与裕民洲的夹江在 1865 年时还曾走水。裕民洲的南面是和畅洲，夹江为现时长江的左汊。不论是裕民洲、新洲或是和畅洲，其上都有清晰的弯曲汊道发育过程的痕迹及其衰亡的终止形态，以及为适应当时的河势，江中沙洲合并的踪迹。和畅洲左汊自 1931 年前就走水，当时弯道凹岸在镇江港，焦山以下流向指向和畅洲左汊，使其发展为弯曲汊道。以后弯道北移，左岸由凸岸变为凹岸，焦山以下流向指向和畅洲的右汊，右汊成为主汊。由此变化，我们是否可推断裕民洲、新洲的兴衰也是由于河道水流主流动力轴线弯曲下移，在主流动力轴线逼近节点（金山或焦山）时，该节点起单向挑流作用，使弯曲汊道迅速发展；而当主流动力轴线绕过该节点时，节点对水流的作用消失，此时弯曲汊道就由主汊转化为支汊，直至衰亡。等待上游一个弯曲顶点下移到该节点附近时，再重新着流起节点作用，又开始第二个弯曲汊道发展。现已知弯曲汊道形成的年代分别是唐宋、明清和解放后，说明弯曲汊道演变的周期有缩短的趋势。

2．黄河孟津～郑州河段

黄河自山西省流至河南省境内，在孟津县小浪底以东出山。由小浪底至郑州京广铁路桥的黄河河段的遥感图像上分析，宁咀附近有一正断层。宁咀以西的三叠系基岩区，两岸山峰对峙，河谷很窄，小浪底断面河宽160余米；以东，三叠系基岩突然消失，代之以第三系和第四系的松散沉积层。黄河自西向东流过断层进入地壳沉降区，河谷豁然开阔，流势骤然趋于平缓，泥沙大量堆积，在近山口的河床中形成了由粗沙卵石构成的江心洲．随着河谷放宽，河床中沙洲的出没变幻不定，由山地河流逐渐向平原河流过渡。铁路桥以东，黄河完全在自身的冲积层内流动。

该段河道总轮廓为弓背形，河谷很不对称。目前黄河在北岸大堤和南岸邙山之间宽10公里的范围内活动。沁河和伊洛河分别由北和南汇入黄河。

由1962年汛后的航空像片镶嵌图得知，黄河进入平原后，河床上出现心滩，水流分汊，滩槽易位迅速，主槽摆动的幅度和速度都相当大。由铁谢、裴峪和官庄峪三处摆动曲线统计可知，摆动幅度为350～2 000米/次，摆动速度是30～220米/日。中枯水位时，河床露出大片具有辫状水系的滩地（低河漫滩）。此时水流格外散乱，在断面上最多分出11股汊，最少也有两分汊（表7-1）。低河漫滩在北岸分布较广，由粉沙和细沙组成，其表面有古心滩和许多浅而窄的沟谷分布，洪水时被淹没，古心滩就成为心滩。高河漫滩高出中水河床0.5～2米，平均宽度约4公里，与低河漫滩相邻，二者之间常有陡坎。高河漫滩主要分布在北岸，南岸伊洛河口到汜水一带也有分布。它由亚沙土和沙土组成，为良好的农作区。表面上有以前河床迁徙留下的河床形态以及与现代河床大致平行的陡坎，通常可见到2～3个陡坎，相对高差为0.5～1.5米。在温县、平皋和驾部南面的高河漫滩上，有新月型沙丘和沙丘链组成的岗地（图7-5）。

选用1975年10月16的汛期卫星图像和1976年10月28日低水时的卫星图像与1962年汛后的航空像片镶嵌图比较可见，汛期黄河的形态水面宽，河床中沙洲多数被淹，部分低河漫滩也上水，滩地边缘在影像上仍隐约可见，河流深泓靠近南岸；低水时黄河河床过水流量小，河床两岸边滩交错分布、铁谢、赵沟节点的挑流作用明显，北岸滩地上大致平行河道的串沟众多。由于滩唇高扬，滩面横比降大，堤根附近常会集水流——顺堤河，北岸的沁河就是通过顺堤河排水入黄河。三个时段图像的比较表明，黄河南岸河床变化显著。花园～扣马和赵沟下游出现了边滩；孤柏咀～枣树沟之间的低河漫滩，部分转变为高河漫滩，枣树沟咀只有洪水时起挑流作用；1975年黄河主流紧靠邙山，1962年伊洛河口至汜水段的高河漫滩已被黄河主流所占，邙山黄土岗坍岸严重。说明15年内，黄河主流线南移明显，河床中边滩变化较大。

黄河下游河床演变的遥感资料，最早是30年代的航空像片，有50～70年代积累的航空像片以及70年代以来的卫星遥感图像。把这些遥感资料进行比例尺的统一，并结合同步实测的大断面资料，将有助于研究黄河下游半世纪以来的历史演变。

3．河漫滩类型的研究

通常我们将洪水期才被淹没的河床以外的谷底平坦部分称作为河漫滩，它与基本河床中各种地貌形态相比，既有差别又有联系。根据航空像片和卫星图像编绘长江中下游河谷地貌类型图时，对城陵矶至江阴长江河段的河漫滩进行了面积量算和分类研究（图版XV-1）。

表 7-1　小浪底—京广铁路桥段河床曲折率、最大河宽和断面最大分汊数

河段起迄	河床宽窄	直线长度（公里）	弯曲长度（公里）	曲折率	最大河宽（米）	断面最大分汊数
东河清～赵沟	宽	38.5	44	1.12	6 500	8
赵沟～斐峪	窄	9	9.5	1.06	2 500	2
斐峪～枣树沟	宽	33.5	37.5	1.12	9 000	11
枣树沟～赵峪	窄	4	4.5	1.13	600	2
小浪底～京广铁路桥		105	116	1.11	9 000	11

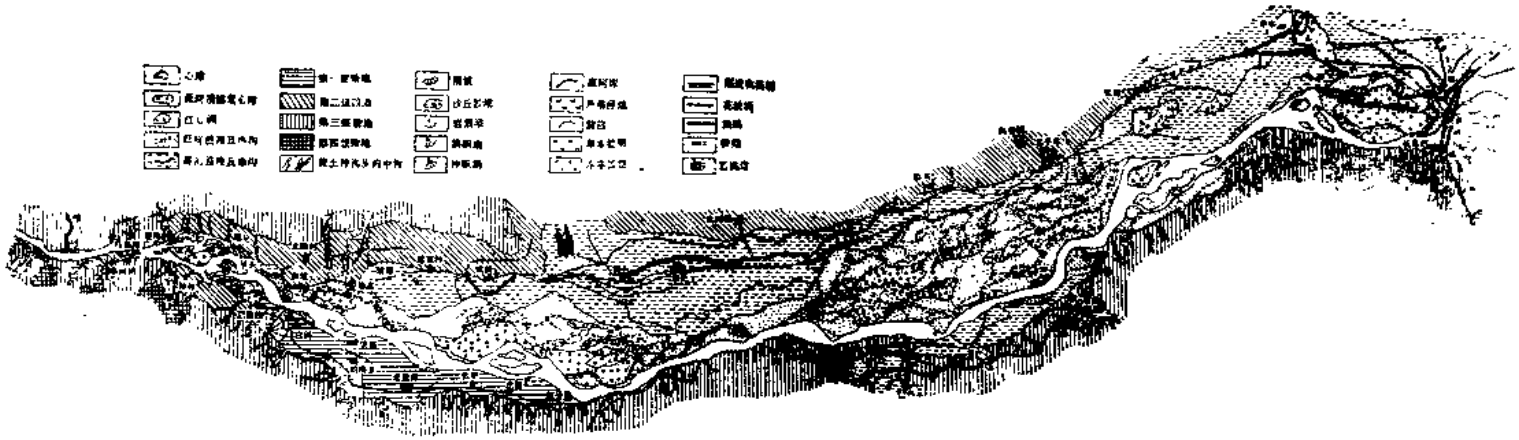


图 7-5　黄河下游孟津小浪底～京广铁路桥段河床地貌图

自城陵矶到江阴的长江中下游河段，河床两侧除山丘直接濒岸以外，大多数都有河漫滩。据量算，该段长江总共有河漫滩7 866.5平方公里，其中左岸有4 963平方公里，右岸有1 732平方公里，左岸河漫滩面积是右岸的2.87倍。长江河床中的江心洲，就其成因和发展过程而言，与两岸的河漫滩相似，故也计算为河漫滩面积，江心洲滩面面积为1 171.5平方公里，占河漫滩总面积的15%。

利用河流演变所留下的痕迹，如自然堤、夹江的分布格局和先后切割关系、滩面上居民点分布、耕地田块的排列形状以及围圩堤的形状，结合历史记载和测量图件资料进行对比分析，按河漫滩形成的水流动力条件，可将其分成以下五种类型：①江心洲靠岸形成的河漫滩；包括顺直分汊或微弯分汊江心洲靠岸的河漫滩和弯曲（鹅头）型分汊江心洲靠岸的河漫滩；②单向淤长河漫滩；③深泓弯曲下移形成的平行鬃岗河漫滩；④凸岸弧形鬃岗河漫滩；⑤支流汇口河漫滩。

例如，在龙坪～小池口河段（图7-6），其左岸的河漫滩上有呈S形的小江，在小江的凸岸可见到4组弧形鬃岗系列，前一组被后一组切割，而每一组的弧形鬃岗都向下游方向辐聚，小江的曲折率为2.6，可见这是发育很完善的蛇曲，这部分为弧形鬃岗型河漫滩。在鬃岗的南部有长条形的滩地和夹江，其西侧为弯曲型分汊江心洲靠岸形成的两期河漫滩，即江心洲靠岸型河漫滩。根据河漫滩上这些微地貌形态相互叠置切割的关系，可知S形小江是这一系列鬃岗形成过程中最后的河曲。以后长江主泓南移，在鬃岗滩地南部形成长条形滩地，它们之间的夹江目前已被分割成许多长条形的小湖，然而夹江总的流势仍一目了然。按河漫滩形成的先后顺序，最后，亦即最近形成的河漫滩是西侧龙坪新洲弯曲汊道发育完成的两个周期的江心洲靠岸河漫滩。目前新洲仍不断地向东北淤涨。这就是从该河段河漫滩发育史探究该段河床的演变历史。

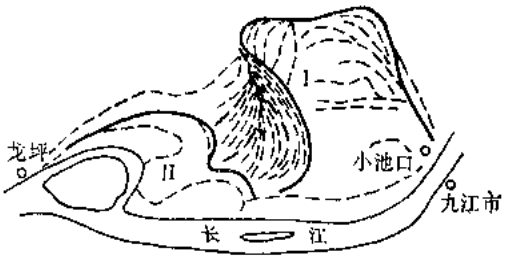


图7-6 龙坪～小池口段河漫滩类型
I—弧形鬃岗河漫滩；II—弯曲型分汊江心洲靠岸河漫滩

二、湖泊演变

湖泊是长期占有大陆封闭洼地的水体，是地表水的组成部分，并参与自然界的水分循环。就湖泊本身而言，有其形成、发展和消亡的演变过程。每一湖泊的形成，虽有一种主要的营力，但常是几种营力同时参与作用，因此，可以说湖泊的形成是内、外营力相互作用的产物。研究湖泊的演变规律对综合利用水利资源，淤沙蓄洪，调查洪水范围，兴建水利工程，使很多天然湖泊成为人工控制的湖泊等方面都是非常重要的。通常使用不同年份、不同季节的卫星图像来研究地质历史时期及人类历史时期以来的变化。

1. 洞庭湖

洞庭湖位于长江中下游沿江平原。从史料看，从唐代直至清咸丰以前的千余年中，湖盆接受了大量的泥沙，但根据唐、宋、明、清历代的记载，洞庭湖范围的变化不大，说明这段时期内，湖盆深度较大，并且又在不断下沉，故湖面变化不大（图版XII-1）。

清朝咸丰、同治年间，藕池、松滋相继溃口，洞庭湖的“四水”(湘、资、沅、澧)、

“四口”调弦口、藕池口、虎渡口、松滋口）入湖系统及岳阳一口出湖的状况成了定局。长江来水带来大量泥沙入湖淤积，沙洲生长特别迅速。虽然湖盆仍在下沉，但下沉量远远小于巨量泥沙的淤积量。首先在洞庭湖北部洲土扩大，大量挽堤修垸，使北水南趋，湖面南移，并缩窄成今日的东洞庭湖、南洞庭湖和西洞庭湖三部分。这种缩小的趋势至今仍在发展。在 1976 年 4 月的洞庭湖卫星图像上，西洞庭湖区中部基本上已淤成平原，只有原来湖泊最深的部位在图像上呈黑色；鲶鱼湖和七里湖也缩小了，这是松滋河与澧水带来的泥沙淤积围垦的结果。安乡以南的堤垸已延伸到赤山。“四口”带来的泥沙向东南方向不断淤积，大通湖周围的堤垸逐渐形成[2]。在 1949 年前，大通湖只在东面有沟、港和东洞庭湖相通，其余三面均被堤垸围住。而在图像上的大通湖面积已缩小，南部新围垦的范围很明显，仅有一渠道北流至藕池河再入东洞庭湖。东洞庭湖淤出大片洲土，如上、下飘尾和武岗洲，下飘尾末端已接近君山，君山现已在北岸。东洞庭湖湖内，除西北和西南有较深航道外均已淤浅。北水南侵的结果形成赤山至磊石山的洪道。南洞庭湖南部的低垸继续沉没，废垸还湖。整个湖区随着洲土、堤垸的增加，“四口”各河的流程均有不同程度的增长。解放后，进行了湖区的规划和整治工程，使湖区获得今日平原水系分布井然有序的新面貌（图 7-7）。

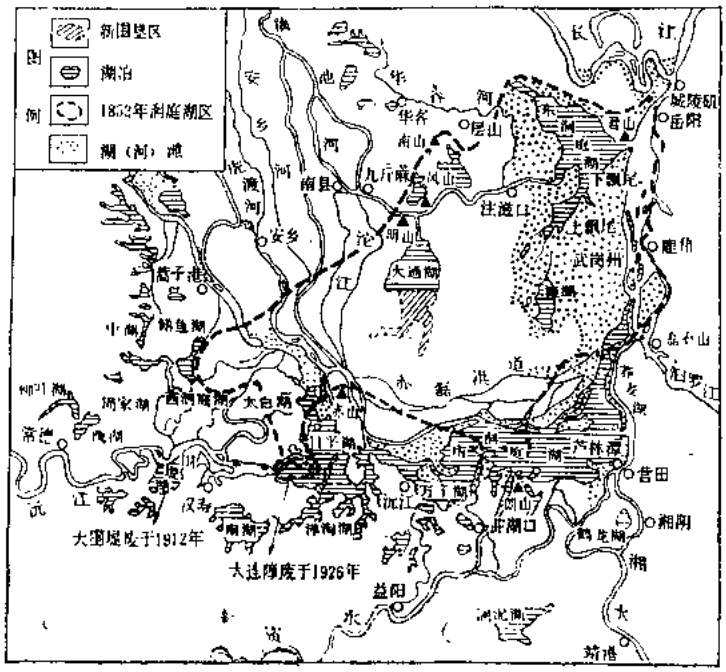


图 7-7　洞庭湖解译图

“四口”带来的泥沙是湖区沉积物质的主要来源。它们形成的三角洲和澧水冲积平原构成北部大片冲积平原。湘-资联合三角洲在湖区东南角发育良好。沅江三角洲则受“四口”冲积平原的影响，轮廓不很清楚。沅江三角洲与澧水-“四口”三角洲的围合，在湖区西部形成柳叶湖、七里湖；湘江三角洲和资水三角洲的围合，导致烂泥湖的形成，柳叶湖、七里湖和烂泥湖实际上是潴水湖盆。可见，近代的洞庭湖处在三角洲极为发育的时期。

由史料中对洞庭湖范围的记述和图像上洞庭湖范围的对比来看，其东界向东扩展，鹿角一带湘水东移，河口呈溺谷状；湖泊总体向东南迁移现象较为明显，湘水西面的注澜湖 190 年内向东南扩展 6～7 公里，万子湖、横岭湖近百年来湖面迅速扩大，大连障和大围堤都于本世纪初废垸还湖；资水也将三角洲的大半部留在北侧，而主流向东注入湘水。这些都反映洞庭湖在近代存在着自西北向东南不等量的下沉运动。

大量泥沙淤积使洞庭湖面积由 1825 年的 6 000 平方公里缩小到 1974 年的 2 740 平方公里，湖容积下降到 178 亿立方米。致使洞庭湖的湖面积和湖容积仅为鄱阳湖的 76%

和71%，成为我国第二淡水湖。昔日的800里洞庭，现在缩窄成一条宽带的河流。

2．西藏湖群

我国另一个具有稠密湖群特色的地方是青藏高原。这里的谷底洼处和盆地中央都有湖泊分布。全区的湖泊面积约占我国湖泊总面积的37.2%，除东部和南部有少许外流湖外，大多数属内陆湖。这些湖泊的形成和发育都深受地质构造的控制，并受寒冻风化和冰川作用改塑。这里地广人稀，人为因素干扰较少，湖泊的变化可作为青藏高原地壳运动和气候变迁的证据。

青藏高原有许多地区人迹难以到达。不要说研究自然的动态，就是编绘该地区的图件也往往由于缺乏实际资料而产生错误。例如，对比西藏改则地区的卫星图像（1973年1月）与没有用任何遥感资料编绘的同一地区地图可以发现，塔若错的面积在图像上约为495.5平方公里，在地图上仅95.8平方公里，而且地图上的塔若错内还漏掉了三个约1平方公里大小的岛屿。塔若错与北面的扎布耶茶卡只有一山之隔，两湖最近距离在卫星图像上大约是6公里，而在地图上却是16.5公里[2]。

扎布耶茶卡，亦名查木错，是南北长、东西窄、中间束腰的葫芦形湖。整个湖泊现已分三部分，西南侧的湖呈白色（盐沉积），已接近干涸。据野外调查，该湖区为西藏地区较好的盐场。东侧的湖为浅灰色，湖水较浅。北端的湖是暗灰色，水较深。仔细分析扎布耶茶卡的湖盆，可以发现四周被山围绕的盆地内，有许多黑色和白色的斑点。黑色斑点是积水洼地，白色斑点是盐碱地。这里现在是一片沼泽，历史上可能是一大湖，当时的扎布耶茶卡可能和香罗布错相连，目前扎布耶茶卡已大大缩小，香罗布错已完全干涸。图像北部的扎西错、洞错等都接近干涸。该地区湖泊干化现象只能从西藏高原近代上升和气候变干来解释。

浏览一下西藏高原的卫星图像，可看到深水湖泊大多有退缩留下的岸线痕迹，而浅水湖泊大多是湖面水域急剧缩小，不少湖泊已干涸。因此，连续观察西藏高原的积雪和湖泊的变化，可以为研究气候变化和构造运动提供宝贵资料。

3．罗布泊

在我国干旱沙漠地区，沙丘间有小湖成群分布，较大的湖泊分布零星，大多是构造湖，往往是内陆水系的最后归宿地，河流水情动态可直接影响湖泊的演变，罗布泊就是一例（图版II-1，2）。

罗布泊位于新疆塔里木盆地的东部，是新疆天然湖泊中最大的湖泊，也是中外学者早就感兴趣的所谓游移湖。关于罗布泊的演变，众说纷云，下面就卫星图像所显示的信息进行一些分析讨论。

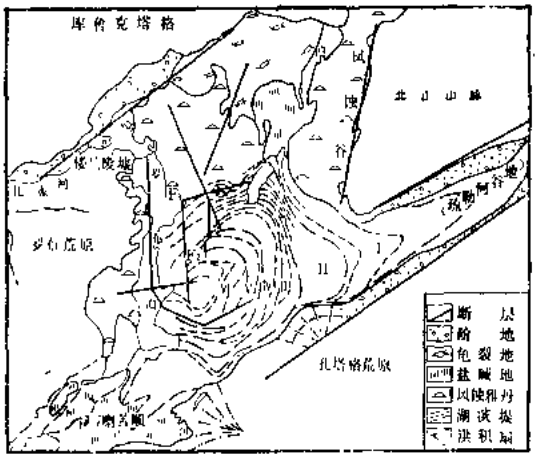


图7-8　罗布泊解译图

在1973年6月的卫星图像上（图7-8），罗布泊洼地明显地受两组断裂的控制。一组NNE向断裂形成的地堑谷与该区的常年强风向一致，在谷地内形成一系列风蚀雅丹地形。另一组NE向断裂形成了阿奇克地堑，其中有入湖的三角洲沉积，地堑谷两侧有河流阶地分布，可证明当时疏勒河从这

里进入罗布泊洼地。两组断裂交会的东北部是梭状的北山，其西南部是罗布泊断陷盆地。就罗布泊周围一圈圈古湖岸的痕迹来看，以前的罗布泊积水面积很大。祁连山的冰川融水可由疏勒河带到洼地的古湖泊里。湖体几乎占据整个洼地，并成为塔里木盆地最低的集水和积盐中心。随着气候逐渐变干，处于极端干燥荒漠之中的罗布泊，蒸发强烈，河水和疾风又带来很多物质淤填湖底，只因为地壳下沉部分地抵偿了湖底淤积抬高的厚度，才使罗布泊没有全部淤干。

罗布泊的湖水很浅，自己不能形成环流，只有强劲的东北风吹来的沙尘、孔雀河或塔里木河带来的泥沙以及湖边上沉积的盐分搅在一起时，才产生反时针方向的沿岸环流，风势和缓时，环流卸下挟带的物质，逐渐形成湖滨堤。如果地壳运动相对稳定时，湖滨堤只受来沙来水和蒸发强弱的影响，形成大致平行的湖堤环。若某方向地壳活动强烈，湖滨堤的排列就有明显的反映。罗布泊水体的扩张和缩小与气候息息相关。气候转暖时，融水下泻带来泥沙，才形成湖滨堤堆积，故湖滨堤形成的年代是不连续的。就图像反映的湖滨堤的排列、形状和相互关系来看，可认为历史时期罗布泊的演变具有阶段性。

在罗布泊湖盆演变过程中，湖盆北部沿 F_1 断裂挠曲上升成为高地，后经风吹蚀成雅丹地形和龟裂地，湖水向南移。图像清晰地反映出湖北部的湖滨堤是连续的、按顺序排列的；而湖南部的湖滨堤就有重叠。沿 F_2 的断块运动，可从罗布泊湖堤环始终向西收缩、塔里木河入罗布泊的三角洲不断地向西迁移得到证明。目前的罗布泊是 1952 年尉犁县修堵了塔里木河大坝，迫使塔里木河和孔雀河分家，仍归老道向南流以来的形状，而且由于人们大量引水灌溉，已日趋干涸。

总之，气候因素、构造因素及人为因素共同作用形成了罗布泊今日的面貌。图像虽未反映各时期湖泊形成的绝对年代，但罗布泊演变痕迹形成的先后、交替关系、向西迁移的总趋势是清楚的，罗布泊始终没离开过罗布泊洼地。

4．江汉湖群的近代变迁

星罗棋布地点缀在江汉平原上的江汉湖群，曾是一派水乡泽国的景色，但近数百年来，围湖造田及自然淤浅，使湖泊由水而陆的沧桑之变及沼泽化的趋势，都在遥感图像上留下清晰的记录，使我们现今有可能结合其它资料和准同步的实地调查，对江汉湖群的近代变迁及其演变趋势作一初步分析（图版 II-5，图版III-7）。

依据农事历选择春末夏初植物种间红外波谱差异最大的季节，即选择作物物候现象最丰富的时期为遥感图像的最佳时相，采用 1979 年 5 月 30 日沙市幅和 1979 年 6 月 16 日武汉幅图像来识别湖群演变。

过去曾经是湖泊之处，沉积有粘重的、青灰色的湖相沉积物（青岗泥），由于地形低洼、渍涝难排，地下水位一般在 0.5 米左右，土壤生产潜力较低，因此，此处大多为现今的单季稻田。在两图像成像时间内，这些单季稻田已有浅层积水，稻秧未插或刚插，基本上呈“白水田”状态，在假彩色合成图像上，现存湖呈黑色或蓝黑色，古湖范围内为具有垸堤影像的蓝色。在 1977 年 7 月 6 日的卫星图像上，古湖范围内的单季稻长势甚佳，呈红色，易与非古湖区生长的双季稻的红色影像相混淆。

古湖除了被围垦变为农田者外，未围垦处的湖面也在缩小，水位下降，促使湖泊沼泽化乃至消亡变为陆地的先锋植物菰和芦苇迅速扩展。20 年来，洪湖不断淤浅，菰群丛面积从围垦后的 40 平方公里扩展到 1980 年的 127 平方公里。因此，菰及芦苇群丛是圈

定古湖位置和范围、现存湖浅水湖岸带的一个重要标志。它们的图像特征是纹理致密，呈绒毛状结构，芦苇呈红色，菰呈玫瑰红色，均不具有江汉平原农田的堤、渠影像。诸如昔日的大沙湖，大同湖、武湖、白露湖、三湖、返湾湖、沉湖等处均有较大面积的菰或芦苇分布，它清楚地展现当日江汉湖泊的平面形态。

从钻孔资料和历史地图可知，江汉湖群原来是水势浩大的内陆湖。由于河流的不断堆积、壅塞、改道，致使湖泊由大变小，化整为零，同时发育了密如蛛网的纵横河道。人们围筑垸堤，绝大部分是在原来密如蛛网的小河流两侧的高地（自然堤）基础上，加高加固，遂成鱼鳞式、封闭式或洲滩式多种堤垸（图版 X-2）。可见，堤垸发展过程就是江汉湖群被分割、支解的过程。解放后，由于兴修水利及平整土地，绝大部分垸堤已废。地面调查重建堤垸结构的形态是非常困难的，而遥感图像却非常清晰地保留了这独特垸堤状况的旧貌，垸堤的微地貌特征以不同的土地利用状况逼真地展现在图像上。所以，在江汉平原，湖与垸本乃一脉相承，垸是昔日的湖，现存湖也可能曾经是垸。

江汉湖群从大湖支解为小湖、从多湖变为少湖的状态，明显地展示了其沼泽化的发展趋势。湖泊沼泽化的一般特征是湖底抬升，湖水变浅，湖容下降，水草丛生，而决定其近期沼泽化过程强弱、快慢的主要因素是水生植物生长的多寡，多者快，少者慢，因此，遥感监测水生植物扩展状况，便成为推断湖泊沼泽化进程的一种手段。例如，位于武汉市南部的汤孙湖，它分里湖和外湖两部分。汤孙湖里湖是个人工养殖场，水质较肥，浮游生物浓度较高，且其水生植物稀疏，湖流及风浪容易掀动底泥，故水体浑浊，透明度较低，在图像上呈浅蓝色。汤孙湖外湖的水草很丰茂，几乎遍布湖面，甚至有的地段行船都有困难，水质澄清，透明度高。在图像上水体呈黑色，水生植物则呈暗红色的斑块镶嵌于黑色背景上。与此相似的情况出现在洪湖与梁子湖的对比上，洪湖与汤孙湖外湖相同，梁子湖好似汤孙湖的里湖。据此，可得出江汉湖群水色、透明度与水生植物间的相互关系。在没有其它因素影响的前提下，水透明度高，水色深，植物丰茂；水透明度较低、水色浅、植物稀疏。

此外还作了 K-L 变换、比值变换、反差增强等图像处理，提取沉水植物、漂浮植物和浮叶植物的信息。综合上述分析可以预示，长湖、洪湖、汤孙湖外湖、武湖等湖泊沼泽化进程较快，而梁子湖、斧头湖、汤孙湖里湖、东湖等湖泊沼泽化进程较慢。

第三节　河口三角洲的变化

当河流挟带大量的泥沙入海，在河口段，迳流（特别是洪水）和潮流相互作用过程中，迳流作用常常是建造河口三角洲的主导因素，流域来沙是形成三角洲的物质基础。基于各条河流的来水来沙条件不同，河口河槽边界条件互异，三角洲海滨动力条件又有很大差别，所以河口三角洲便有着不同的发育过程。河口三角洲的研究对预测海岸线推进速度、港口泥沙回淤、航道变迁等都是很有价值的。

以前，这种工作主要靠地面调查完成，速度慢，很难及时、全面地掌握河口段海陆交替部分变化的同步情况。有了遥感图像后，河口三角洲的研究方法得到了很大的改进。

一、黄河河口三角洲

黄河是一条世界著名的多沙河流，每年供给河口三角洲和邻近海岸的塑造以极为丰富的泥沙。黄河每次改道都在新的河口淤涨出新的三角洲。现在的黄河三角洲是1855年铜瓦厢决口，黄河夺大清河河道入海以后堆积而成的，为典型的扇形三角洲。黄河夺大清河河道后改变了原有泥沙很少、海潮能进能退的良好河性，在原来海岸线外形成三角洲。黄河泥沙在河口大量堆积，使1855年以前的地面被淤后沼泽化的情形，在卫星图像上显示得很清楚（图版I-1）。

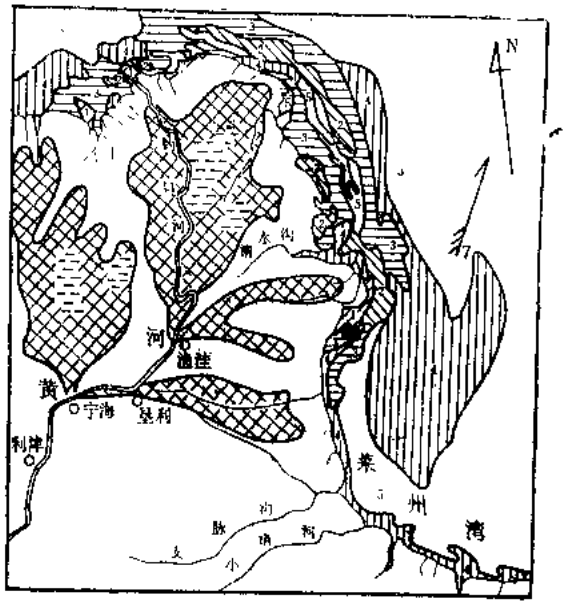


图7-9　1975年5月21日的黄河三角洲沙岗分布和滨海区泥沙扩散形式

等值线内数字代表泥沙浓度大小，1为最高，依次降低；箭头尾部数字是米/秒风速；斜线为沙岗地；虚线为洼地

黄河三角洲的塑造是通过尾闾河道多次改道来实现的。黄河河口的尾闾河段一直处于淤积—延伸—摆动—改道的循环演变之中。在每条入海河道的两侧都有条形的沙岗和凹进的烂泥湾。根据这一特征可以在卫星图像上恢复三角洲形成的历史，它是由不同时期的小三角洲互相套叠组成的复式三角洲。若把它形成的新老沙岗从卫星像片上描绘下来（图7-9和7-10），则可以看出，沙岗分布是分别以宁海和渔洼为中心的。这与前人所说的黄河三角洲顶点迁移和黄河河口演变两大循环的论述是一致的。

MSS5图像对水体悬浮泥沙反映最为敏感，图像上的不同灰度与不同泥沙浓度等级相对应。对1975年5月21日和1978年7月7日的MSS5图像上的黄河三角洲滨海区泥沙扩散范围进行相应的五级密度目视分割，可将入海的悬浮泥沙扩散过程分为浑水舌、浊水、沉积羽流、冲淡水和清水五个等级，即图上泥沙浓度1至5等级，在黑白图像上分别为白色、灰白色、灰色、灰黑到黑色（图版XI-1，2）。

由于选用的三张卫星图像的成像条件大致相同，<0.05毫米沙重百分数几乎相等（图像上反映的就是这部分泥沙运动状态），因此，对讨论滨海区泥沙扩散很有利（表7-2）。

钓口河为现行河道时，河口位于渤海湾和莱州湾的湾口。成像时正值高潮时分，黄河处于低水低沙状态，在西南风作用下，滨海区只有河口有明显的浑水舌和泥沙成带状扩散的影像，而神仙沟、清水沟、甜水沟等沟口均为清水。在莱州湾湾顶入海的小河河口有向西成钩状的淡水舌。唯有黄河三角洲东岸分布有泥沙扩散晕带。在黄河改道走清水沟后的图像上，河口位置在莱州湾西侧。成像时正值落潮和黄河初汛时期，所以浑水舌分布在河口及其两侧岸线，浑水舌向南突出，但在距岸不远处停滞。支脉沟、小清河以及注入莱州湾的小河等河口，此时都有自成体系的浑水舌。钓口河至神仙沟一带岸线

表 7-2　黄河三角洲遥感图像成像时（10 时许）的自然条件

日　期（年,月,日）	测站	8 时		10 时		河口位置	潮流速（米/秒）	潮差（米）	测站	流量（米/秒）	逐日平均含沙量（公斤/米）	<0.05 毫米沙重百分数（%）
		风向	风速（米/秒）	潮高（米）	潮流方向							
1975,5,21	龙口	SSW	7	1.16	SSW	钓口河	1.05	1.2	利津	175	1.74	55.5
	塘沽	SW	12	2.61	SSW							
1976,12,17	龙口	S	9	0.34	SSW	清水沟	0.9	1.2	利津	443	1.76	56.7
	塘沽			3.01	SSW							
1978,7,7	龙口	S	5	0.82	SSW	清水沟	0.9	1.2	利津	398	3.58	58.8
	塘沽	SSE	6	1.40	NNE							

普遍受冲刷，呈现为浊水区。钓口河河口外还有含沙量高的浑水团。可见，黄河三角洲滨海区泥沙扩散形式，大致是平行于岸线，泥沙浓度由岸边向滨海逐渐减小，呈带状分布。从细部分析，泥沙浓度分布也不很均匀。改道后河口浑水舌南移受阻变形，向北的沿岸流相对比较明显，都是与莱州湾内南向风浪强、浑水舌受风浪顶托不能南移有关，而在风和余流作用下，泥沙向北流的分支加强了。说明现行河道河口的海洋动力输沙条件较差，河口易淤，致使其行水年限受限制。滨海区内泥沙扩散的不均匀性，只是一种表象，它真实地反映风浪、潮流、余流和迳流之间的复杂关系。在岸线冲刷后退、提供泥沙方面，风浪起主导作用；搬运泥沙的动力是潮流和余流。而这些复杂关系在以往水文泥沙测量中是不可能发现的。

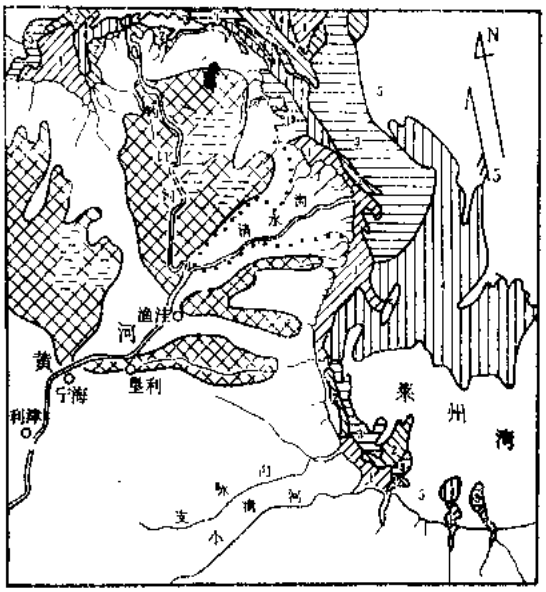


图 7-10　1978 年 7 月 7 日的黄河三角洲沙岗分布和滨海区泥沙扩散形式

注记同图 7-9。

由卫星图像可知，黄河三角洲近几十年变化的总趋势是向东北海域推进。黄河尾闾入海河道出汊摆动、改道频繁，同样具有黄河易淤、易决、易徙的特征。河口所在地区总是强烈的淤进海岸，其两侧则是强烈的蚀退海岸，再外侧逐渐过渡到相对稳定岸段。随着河口迁移，三角洲各部分的岸线重新进行调整。图像上的黄河三角洲就是经历几十次决口改道、岸线不断调整后的面貌。

三、长江河口三角洲

长江源远流长，水量丰富，是我国第一大河。由钻孔资料可知，在距今 5 000～6 000 年左右，长江河口在镇江～扬州一带，那时长江带来的泥沙虽然没有现在丰富，但在河口仍形成沙嘴。长江口的南岸形成与强风向基本垂直的沙堤，并在伸展过程中逐渐向南偏转。在长江口卫星图像上（图 7-11），福山—太仓—松江一线相当于 5 000 年前的古海岸，十分清楚；长江口北岸沙嘴在风浪与强潮的作用下，沙嘴高程一般为 7～8 米。公元

前一世纪，海岸在白蒲附近，可见当时长江口是三角湾式的三角洲，南北两沙嘴之间的口门宽达 180 公里。长江流域山区开垦主要在魏晋以后，盛于隋唐，刀耕火种，促使水土流失，长江口海岸线淤进也于隋唐以后更加迅速，开始了长江三角洲的发育过程（图版 I-3）。

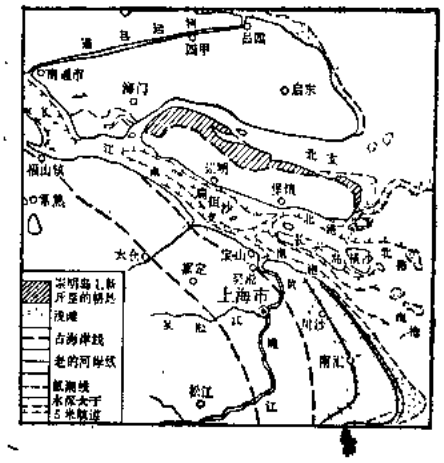


图 7-11　长江三角洲解译图

在研究历史时期长江中、下游河道变迁的过程中，发现长江三角洲的发育具有明显的阶段性。各阶段的亚三角洲按形成先后排列，非常规则，每个亚三角洲都以一个河口沙坝为主体，沙坝分河为两汊，在以后的发育过程中，北汊道逐渐衰老，最后完全淤死，河口沙坝与北岸淤连成为三角洲平原。南汊道逐渐增强，成为主要的输水输沙的河道。同时在口门处又形成新的河口沙坝，它不断地成长，迅速地扩大，成为下一个亚三角洲的主体。长江口的卫星图像清楚地反映了这一模式。以崇明岛为主体的亚三角洲即将完成其发育过程，北支快要淤死，崇明岛即将成为北岸三角洲平原的一部分。长兴岛、这新的河口沙坝则是新亚三角洲的主体。

将 1976 年长江口卫星图像与 1935 年扬子江水利委员会测的 1:100 万航道图作比较可以看出，崇明岛北部的长江北支已淤浅，江心洲也淤靠北岸了，使北支入口宽度由 7 公里缩窄成 2 公里，崇明岛头部的东阴沙、西阴沙、拦门沙原是独立的沙洲，现已靠连崇明岛，原来与江相通的汊道已成为马蹄形湖泊。崇明岛本体的北部和尾部都有新开辟的耕地，北支中的一些沙岛也和崇明岛淤连。

长江口区径流和潮流都很强，在科氏力的作用下，涨、落潮流路分异，常常涨潮主流偏北，落潮主流偏南。口外潮波传播方向约 305°。图像上，长江河口南支航道轴向北西一南东向的河势，基本已与潮波传播方向一致。长江出口在长江三角洲发育过程中不断南移，和潮波传播方向也已相互适应。总之，目前情况是最适应海洋动力条件的。口外潮波主要由天文因素控制，选航道时要考虑这点。

长江口是个多汊河口，在卫星图像上可以看到的有四条汊道（南槽、北槽、北港和北支）分流入海。潮波从不同汊道传入，在分汊口附近相遇形成会潮点。会潮点附近流速减小，为泥沙落淤创造了有利条件，往往形成浅滩。北支江心沙～圩角港之间淤窄的原因，就可能是南支先涨水，潮位升高早于北支约 1.5 小时，会潮点在圩角港附近，引起圩角港河段大淤。会潮点不是固定的一点，它是随着径流大小、潮汐强弱、汊道形态等因素不断地变化的。会潮点位置的转移将导致沉积部位发生相应的位移。所以要想保持航道稳定并具有固定的水深，就必须使河口轴向与潮波传播方向一致，並使各汊道会潮点在一定范围内变化。

崇明岛是长江口最大的沙岛。长江主泓不断摆荡，河口沙岛也不断发生变化。近 400 年来，劳动人民饱受“海坍精光”之苦。解放后，加固大堤，修筑丁坝，稳定了坍岸，并围垦海涂。建国 20 多年来先后围田 40 多万亩，使崇明岛扩大了 80％的面积。遥感图像与 1971 年长江流域规划办公室测绘图比较，崇明岛东面的团结沙已淤出水面，

与崇明岛之间形成一深槽。

长兴岛、横沙岛群位于长江入海航道的南港和北港之间。从图像上看，它们开发的历史不太久，其上分布着大块的耕地。本世纪70年代初，人们又把石头沙与长兴岛连结在一起。在长兴岛两边是两个深槽，因此，可以推断，长兴岛很可能变成新亚三角洲的崇明岛。

窦正国指出[3]，对长江北支只能因势利导，顺应自然趋势的发展，人工堵塞泓道，采用工程促淤措施，以加速北支的淤积进程，促进崇明岛北向靠岸。堵塞北支可减轻盐水的入侵，缩小咸潮上溯的范围；南水北调可减少夏季洪水下泄量，减轻长江口的防汛压力，两者可相互促进，共同得益。这是互为影响、利多弊少、都对对方起积极作用的工程，应及早付诸实施，以利“四化”建设。

三、滦河冲积扇-三角洲

滦河出山后，在山前地带形成了以滦县为顶点的冲积扇-三角洲（图版1-4，图版XIV）。它呈扇形向南展开，两侧皆有陡坎与老冲积扇分开，北部陡坎高达10～12米，界线较明显，向南高差渐减，至沿海地带与两侧的滨海平原汇为一体。滦河冲积扇-三角洲大致以胡各庄—阎各庄—夏毛庄—刘台庄为界，以北为冲积扇，以南为三角洲。

滦河于1915年在莲花村附近冲决滨海沙丘注入渤海，形成以姜各庄为顶点的现代滦河三角洲。此三角洲呈舌状小扇体伸向海中。三角洲上，古河道及现代河道呈放射状水系，牛轭湖、泻湖洼地发育。滦河携带的泥沙物质入海后，在波浪、潮流、海流的共同作用下，不仅在三角洲前缘形成弧形滨岸沙堤及泻湖，而且还不断地改造着现代海岸。

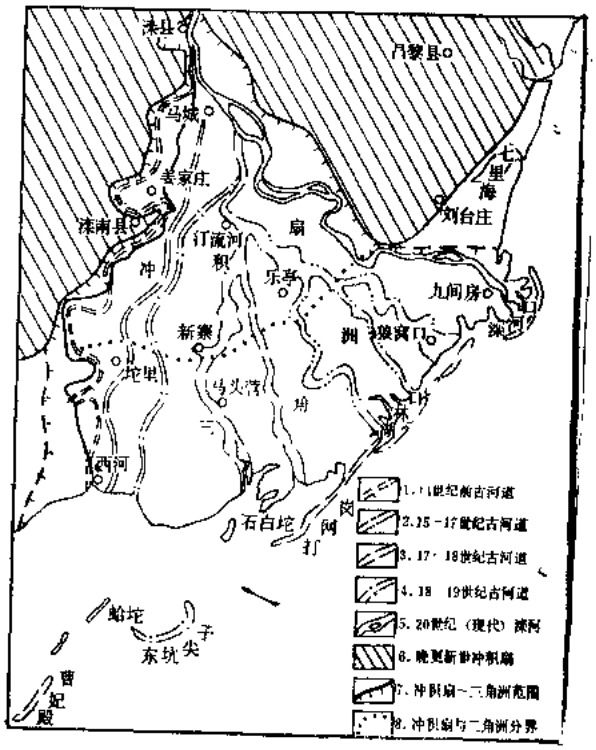


图7-12 滦河冲积扇-三角洲的范围和界线

滦河冲积扇-三角洲南部，东起滦河口，西至曹妃殿，沿岸发育沙堤-泻湖体系。图像上清楚地显示出，滦河口至曹妃殿，滨外沙堤依次错列，前列沙堤的西南尾端，总是在后列沙堤东北尾端或其走向延长线的外侧，老米沟～湖林口滨外沙堤与大清河口打网岗的关系尤为明显，说明前列沙堤形成的时间晚于后列。又因这些沙堤列分别属于各时期的三角洲分布区，所以，可按现代三角洲的模式，推断不同时期滦河三角洲前缘滨岸沙堤-海岸线[4]（图7-12）。

（1）曹妃殿等沙岛是全新世中期滦河经潮河（新滦河）、小青河入海时期的三角洲前缘沙堤。嗣后，滦河改道北迁，河流泥沙来源中断，三角洲平原长期遭受波浪、潮流侵蚀而后退，形成宽阔的侵蚀潮滩；沙堤冲刷缩小，成为今日距岸数十里的沙岛。

(2) 打网岗、石臼坨和月坨是历史早期滦河经大清河、长河和湖林河分流入海时期的三角洲前缘沙堤。现在，滦河泥沙来源甚少，而海洋因素加强，打网岗沙堤逐渐变低缩小，石臼坨和月坨则分割成单个沙岛。沙堤、沙岛与平原之间，有比较宽而深的水域，具备建港的优越条件。

(3) 蛇岗、灯笼铺、大网铺、湖林口外沙堤，是历史晚期滦河经老米沟、滦河岔、湖林河分流入海时期的三角洲前缘沙坝，其形成时间较近，沙堤保存较完整。

(4) 老河底沙坝等环绕最新三角洲前缘的沙堤，是1915年滦河冲破莲花村海岸沙丘、东流入海以来形成的堆积沙体。

可见，三角洲废弃的时间愈早，滨外沙堤改造的时间愈长，破坏也最烈。

第四节　海岸带和海洋

我国东部面临渤海、黄海、东海、南海四大海，海岸线蜿蜒曲折，仅大陆岸线就有18 000余公里，四个海区面积总共有70多万平方公里，南北跨热带、亚热带、温带三大气候带和一系列地质构造带，自然条件复杂多样，海岸类型齐全，海岸带和海洋资源丰富（图版Ⅵ）。沿海省市自然条件优越，是我国对外贸易的重要基地和前哨，经济比较发达，在社会主义建设中占有显著地位。

传统的海岸带资源调查和海洋调查，花费大量人力、物力、财力，虽已取得大量科学成果，但是方法落后，野外工作量大，周期很长。随着社会经济的发展，要求快速、准确地获取海岸和海洋的动态信息，为海涂开发利用、海水监测和以石油开发为中心的海洋开发新阶段提供科学依据。遥感技术是进行海岸、海洋调查的有效手段之一。“六五”期间已在海岸带和海涂资源综合调查、海洋环境监测等方面取得了成功。为了更有效地将遥感技术应用于海岸、海洋环境监测和预报，资源的调查、开发和管理，使我国的海洋遥感技术尽快赶上世界先进水平，我国已考虑发射海洋卫星的问题。这对我国海洋开发事业具有非常重要的意义。

一、海岸线和低潮位线的确定

我国海岸受潮汐作用的影响，沿岸分布有潮间浅滩，简称潮滩。人们通常将滩面宽度大，坡度平缓的粉沙淤泥质海岸的潮滩，称之为海涂。海涂是动态的潮间带，一天两潮，一年四季潮位均在变化之中，海涂处于陆地向海洋的过渡地带，是重要的自然资源，是农业围垦、水产养殖、海港建设、种苇、制盐和开辟旅游业的重要基地。

海涂上限是海岸线，为大潮涨潮，海水携带的漂浮物质，年久堆积成的一条明显的线。这条线实地比较清楚，航空像片上也易于解译，即大潮海水到达的位置。有的地段因筑有海堤，大潮海水到此为止，这时海堤边缘即为海岸线。

海涂下限是低潮位线，它的确定比较麻烦。尽管可采用低潮位航空遥感方法来确定，但是，空中航摄瞬间并不恰巧是最低潮位出现时刻，只能是近似的低潮位线。为了找到最低潮线的准确位置，必须在大潮退到最低潮位时，在海滩上设置标志点，并与陆地控制点进行联测。航空遥感时，潮滩标志点旁设有标志船，在飞机通过瞬间测定标志点处的海水深度，作为确定低潮位线的改正值，进而确定整个海涂不同地段的剖面和坡度变化，

获得准确的低潮位线。

有了准确的海岸线和低潮位线，就可以保证海涂面积和海岸线长度量算的准确性。海岸线属矢量数据，可借助扫描数字化和手扶数字化完成长度量算。扫描数字化的扫描光孔愈小精度愈高。海涂面积采用电子面积量测仪，按条件法量算和平差，闭合差为1%，符合详查的精度要求。

低潮位航空遥感便于深入研究和掌握海涂的构成、表征、类型、潮水沟分布。然而粉沙淤泥质潮滩的冲淤变化是非常迅速的，需要重复进行观测，但是航空遥感的费用昂贵，不宜于经常重复进行。利用卫星图像量算潮滩的几何形态（宽度和坡度），则可满足重复观测的要求。根据几个地区的试验结果，证明此法是可行的[5]。

(1) 波段选择：用卫星图像量测潮滩几何形态的关键，是在图像上确认高潮线和成像时水边线的位置。高潮线的位置可以在落潮后的MSS7图像上确定，因为高潮线两侧地面的湿度差异在图像上形成明显的色调界线。然而在落潮过程中刚露出海面的潮滩往往大片积水，致使在MSS7图像上亦呈深色调，易与海域相混淆，因而，由此量测的潮滩宽度往往偏小，但用MSS6图像确定成像时水边线位置可获得满意的结果。这样，我们可用分规量得图像成像时的潮滩宽度。

(2) 时相分布：卫星过境的成像时间与潮汐涨落的时间——潮时无固定的关系，不同时相卫星图像上的潮滩宽度的变化是随机的。用作潮滩形态量测的多时相图像，其成像时间要尽可能均匀地分布在整个潮汐周期中，特别是要有大潮低潮前后成像的图像。潮滩的宽度随潮高而变化，二者呈负相关。对应的潮高可从离测量岸段不远的验潮站记录的潮汐过程线中算得。这样，若在卫星图像上设置若干个固定测量剖面，则每个剖面上的潮高与潮滩宽度构成一个数据对，即潮高—潮滩宽度数据对。

(3) 潮高—潮滩宽度散点图：如果收集了某个岸段若干幅不同时相的卫星图像，则在每一个测量剖面上均可得到若干个潮高—潮滩宽度数据对。将这些数据对点在坐标纸上，便可绘成散点图。图中，潮高与潮滩宽度呈负相关，散点的分布形状类似于二次曲线，可用指数方程加以拟合。

$$y = a - bx^{c} .$$

式中：y——潮高；

x——潮滩宽度。

据此方程可算得任意潮高下的潮滩宽度。

在渤海湾和杭州湾利用卫星图像进行的潮滩形态量测表明，它与海图测量、滩面实测的潮滩宽度和坡度的沿岸分布趋势是一致的。按数值而言，卫星图像量测的与海图测量的比较接近，但互有高低；地面实测的坡度明显偏大，宽度明显偏小，这是因为地面实测时，受潮时及其它因素的影响，往外未能到达最低潮线之故。由此可见，用多波段、多时相的卫星图像量测潮滩形态，不仅可达到通过复杂的测量计算而绘制的海图所能达到的精度，而且可节省大量的人力和物力。

二、海岸动态与港口选址

海岸带是陆地和海洋相互作用的地带，它的地貌是在波浪、潮汐、海流等海洋动力作用下形成的。遥感图像形象地记录了海域泥沙运动和以前的泥沙运动形成的海相沉积

物与堆积地貌。采用不同年份、不同季节的卫星图像，以泥沙为天然的示踪物，对比分析海岸带的地貌形态、沿岸流方向和强弱，结合台站观测资料和实地调查记录，可以探究海岸动态，进行港口选址。

在不同波段的卫星图像上，近岸带代表浑浊水体的浅色调区的范围大小各不相同，由短波段向长波段依次减小。这反映近岸带悬浮泥沙空间分布的不均匀性和不同波段对水体穿透能力的差异性。海岸带悬浮泥沙空间分布的基本趋势是：泥沙浓度随离岸距离的增加而减小，自海面向海底迅速增大。据渤海海水中悬浮体含量的实测资料，高含量区出现在黄河口和辽河口附近（图版III-1，图版 VII-2），渤海湾居其次，其它海域都较低。以10月份为例（图 7-13），大于100毫克/升的只出现在黄河口外局部海域；向外海，含量急剧下降。辽河口除口外局部海域达50～100毫克/升外，大部分海域的含量为 30～50毫克/升。渤海湾内也以 30～50 毫克／升为主。辽东湾大部、莱州湾以及渤海中部的广大海域，悬浮体含量均低于 20 毫克/升。悬浮体含量自海面向下以每米几毫克/升的速度递增，尤以黄河口为最显著。这里的底层海水中形成一条向北伸展的浑水舌，舌根处悬浮体的含量高达 150 毫克／升以上。曹妃殿附近海域水浅，受波浪的扰动作用强烈，上下水层的混合显著，故悬浮体含量的垂向变化不太明显。

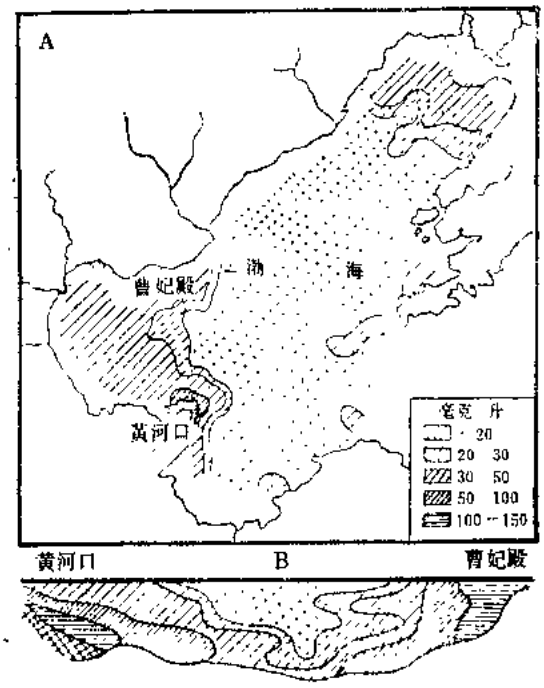


图 7-13 渤海海水中悬浮体含量的分布（据秦蕴珊等，1982）
A—表层分布图；B—剖面分布图

1974 年至 1978 年四幅卫星图像成像瞬时的风况和潮汐资料分析表明，渤海湾浑浊水羽的指向基本上不受风向、潮汐和季节的影响。黄河的浑浊水羽在海流带动下进入渤海湾，向西逐渐减弱，大致在歧口以北消失（图版 XIV）。滦河的浑浊水羽沿水深 16 米左右平行海岸向西南移动，可影响到曹妃殿海域。海河河口与涨潮流方向大致相同，从河口输出的泥沙在涨潮流的作用下，部分形成向北和向南的两支浑浊水羽，另一部分仍带回海河河口港区淤积。这与高明德得出的“塘沽新港回淤泥沙来自广大滩地，而滩地物质来自海河”的结论是相符的。可见，沿海河流的泾流量对渤海湾表层流有重要影响，它能左右浑浊水羽的指向和形状。

渤海湾的潮流以往复流为主，并以湾顶为界分成两个系统[6]。北岸为东西向，西岸为近南北向。涨潮时，涨潮流挟带着黄河和滦河的悬浮泥沙同时由南面和东面向湾顶涌集。从湾口向湾顶，随着海域缩窄，潮差逐渐增大，如平均潮差，在滦河口为 1.56 米，曹妃殿为 3.36 米，到涧河附近为 5.50 米。向湾顶潮差增大的同时，潮流流速却很快减小。因此涨潮时，渤海湾湾顶有明显的壅水现象，浑浊的涨潮流受顶托而停滞在湾顶外，

使湾顶的水体相对比较清，这就是 MSS5 图像上经常见到的两个月牙形的深色调区，它们分别分布在渤海湾湾顶的蛏头沽外海和新港南侧海域。

1974 年的卫星图像与 1894 年英国海图管理局所测得的海图相比较，80 年内，渤海湾北部的海岸由陆地向海推进，其中南堡处淤涨最快，推进约 24 公里，渤海湾南部海岸则被蚀退，只有渤海湾西部海岸变化不大，歧口以北 20 多公里长的海岸是稳定的。歧口附近是海岸淤进与蚀退的界线。

在以上研究的基础上，在京津唐地区海岸寻找建港的有利地段时，根据该地区卫星图像的解译提出了 5 个可选作港址的岸段（图 7-14）。

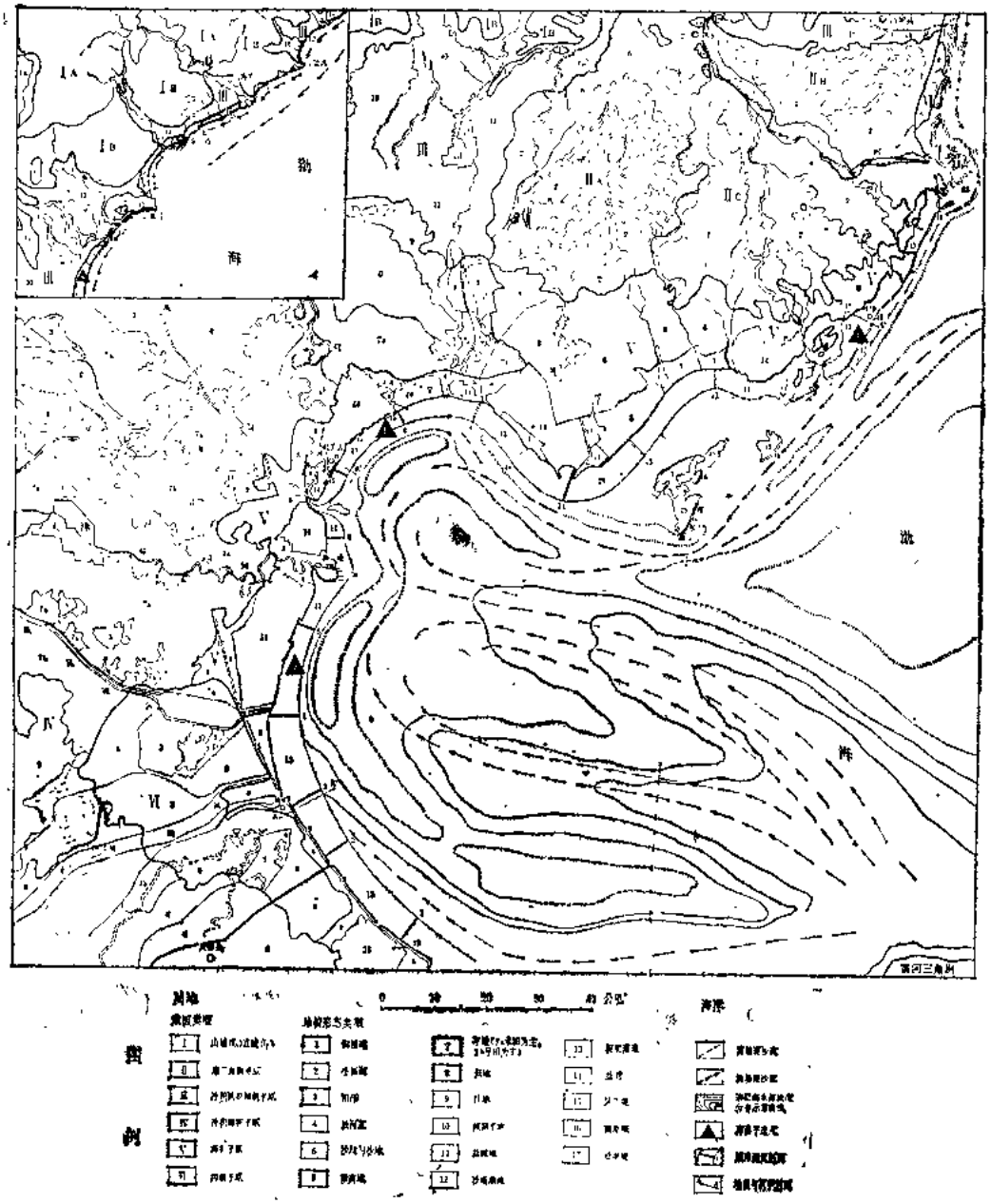


图 7-14　京津唐地区卫星遥感海岸选港解译图

(1) 秦皇岛北部，沙河口西 5 公里长的砾石质岸段。岸内是几百米宽的砾石堤和广阔的泻湖平原，岸外是砾石质水下岸坡，坡陡水深，距石河口较远，是一个可待开发的“黄金”岸段。

(2) 大浦河口北侧岸段。这里已超出滦河古三角洲的范围，岸外水深虽不如秦皇岛岸段，但比其南面的沙堤沙丘海岸的大。滦河距此尚远，且泥沙主要向南运移；洋河和戴河的输沙量有限，从卫星图像上分析，其入海泥沙主要向北运移。这里不适於建深水港，但建设省级的港口还是可以考虑的。

(3) 小港岸段。向陆是广阔的海积平原，高程一般为 2.2～2.5 米，大多为荒滩荒地，有利于工程布置；向海水深坡陡，由海图看，－10 米的等深线距岸不过 5 公里。卫星图像反映小港附近沙堤消失，潮滩缩窄，岸坡变陡。岸外水域有三条色调带：紧接沙堤的浅色调带宽约 1～2 公里，这可能是波浪泥沙带；距岸 3 公里以外也有一条浅色调带，可能是潮流带动的浑浊水体，宽度大；在这两个浅色调带之间是一条深色带。这三条色带与海底底质图上粗细相间的三条底质带的位置相当。如果分析正确的话，将来的防波堤的建筑长度垂直於岸不宜超过 3 公里。

(4) 渤海湾顶的蔡家堡～大神堂岸段。

(5) 渤海湾顶的塘沽新港南面的驴驹河岸段。

这两岸段外海经常可以见到两块月牙形的深色调区。它们通常长 25～35 公里，宽 5～8 公里，其向陆侧距岸 2～3 公里，是两个相对较清的水域。在贝壳堤平原海岸中，这两个岸段的建港条件是比较好的，建议进一步做工作。

三、海　冰

海冰是海上一切冰体的总称，它包括由海水冻结成的咸水冰和入海河流带来的淡水冰。我国渤海和黄海北部地区，每年冬季皆有不同程度的结冰现象。海冰对航运交通和海上作业都有很大影响，有必要利用卫星图像实时监测冰情，发布海冰预报的业务服务。

冰具有与水体截然不同的光谱特征。冰的反射率普遍高于水体，因此在卫星图像上可以轻而易举地确定冰区的范围——冰界。利用气象卫星提供海冰资料已有多年。NOAA 气象卫星上的甚高分辨率辐射计提供了有用的海冰图像。从 NOAA-7 1982 年 12 月至 1983 年 1 月拍摄的渤海的可见光图像可见，1982 年 12 月 29 日沿岸已经开始结冰，到第二年的 1 月20 日，海冰尚未开始消退。海冰主要出现在辽东湾、渤海湾和莱州湾，冀东和辽东半岛的冰情较轻。山东半岛北岸海冰的发展，在初冰期以刁龙咀为界，盛冰期则达蓬莱角。

海岸带的冰在发展过程中不断发生破裂。破裂后的冰随风、浪，流向外海扩散，形成浮冰群。在海岸带残留一条狭窄的、不随风浪与潮汐而移动的固定冰。在 1987 年 1 月 19 日 NOAA 图像上，固定冰分布于辽东湾底及沿岸浅滩一带，湾底最大固定冰宽 3 海里左右。菊花岛至沿岸均为固定冰，双台子河口以外浅滩存在着大片的固定冰。依据海冰发展程度可将流冰划分为初生冰、冰皮、尼罗冰、莲叶冰、灰冰、灰白冰、白冰等 7 种不同厚度的冰型。在辽东湾湾底 5 米等深线附近，秦皇岛至滦河口附近，复州角至旅顺沿海一带，以初生冰为主，间有冰皮和莲叶冰及少量水域，在图中用虚线表示（图 7-15），实线区表示冰皮、、灰冰为主，间有尼罗冰及莲叶冰，主要分布于六股河附近、葫芦岛以东

及鲅鱼圈至太平角以西和滦河口的外海海域。斜方格区表示灰冰和灰白冰为主，间有冰皮和尼罗冰，在长咀子东北海面上有大片的灰白冰存在。通过上述分析，可知辽东湾海冰分布的一般特征（图版III-3），即在辽东湾流冰海域内，中部流冰厚度较大，四周偏薄（不包括固定冰区域），北纬 40 度以南的沿岸流冰较薄[7]。

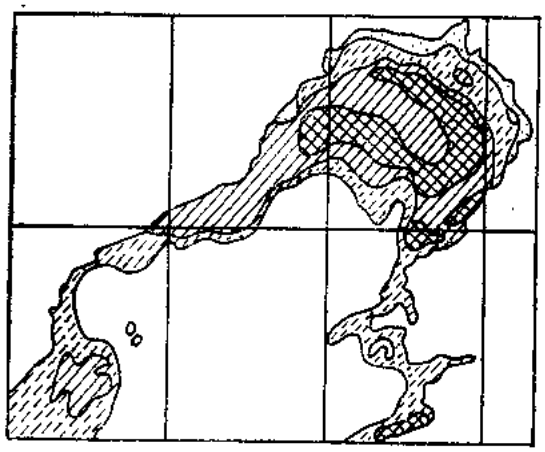


图 7-15　1987 年 1 月 19 日辽东湾流冰类型及最大外缘线分布图

流冰最大外缘线是海上冰情观测和预报的主要内容之一。它不仅表示出流冰的范围，也是衡量海上冰情的标准之一。依据海水和海冰的色调差异，可以直观地显示出流冰分布的最大外缘线。从图 7-15 可以看到，辽东湾流冰外缘线距湾底约 58 海里，六股河口流冰外缘线距河口约 18 海里，秦皇岛流冰外缘线距岸约 10 海里，滦河口附近流冰外缘线距河口约 22 海里，秦皇岛以南至滦河口以北海面及长咀子至旅顺一带沿海，流冰范围狭小，基本沿岸边分布。

有了流冰范围，通过图像处理机的计算即可算出整个海域内各种类型流冰区的覆盖总面积。在一般情况下，厚冰区流冰密集度较大，薄冰区则相应减少，辽东湾也是如此，流冰区中部密集度大，其它流冰区则密集度小。通过对连续时相流冰外缘线变化过程的研究，可提供极有价值的动态信息。

在 1974 年 1 月 10 日 MSS5 图像上，双台子河的河冰的规模比海冰小得多，呈浅色调的散点。河冰凭藉其入海的河势，呈带状向海伸展，楔入海域的流冰群。河冰受海冰的阻挡，其向海扩展的范围是有限的，约 10 多公里。但是河口外的海冰受河冰的冲击和挤压，破碎强烈，冰裂缝密而窄，其走向趋于与河流入海方向平行。这种受河冰影响的海冰挤压带的宽度为 30 公里，长度达 45 公里。挤压带向海延伸方向上流冰群略向海突出，这也可能与河冰和河水的动力条件有关。

在 MSS7 图像上能辨别冰体特征的细节。流冰表面一般比较平坦，色调浅而均匀。如果流冰表面有积雪，则出现白色的花斑。在融冰期，流冰表面常被融成蜂窝状，称蜂窝冰。在这些融冰坑中，有的积有融冰水，水层虽然很薄，仍能强烈吸收红外线，在冰面浅色的背景上，冰面水潭的暗色斑明显。有的融冰水又被冻结，成于的融坑。冰间水道在 MSS 图像上呈深色，如果冰间水道再冻结，水面形成灰色调的薄冰，在 MSS7 图像上也能分辨。通常用 MSS4 或 MSS5 图像勾绘冰体的界线，用 MSS7 图像识别海冰类型和冰面特征信息。

海冰的微波发射率是海水盐度的函数，因此微波辐射图像可以用来识别当年冰和多年冰。当年冰中封闭了很多浓盐水，而多年冰中的盐水大多已消失而变成无数气泡。因此当年冰的发射率高于多年冰，亮度温度也高于多年冰。

高纬度海洋中常有冰山漂浮，它们在海洋的暗背景上呈小亮点。冻结在固定冰中的冰山很容易从卫星像片中读出，这时的冰山和固定冰虽然均呈浅色调，但由于冰山突起于

平坦的固定冰面之上，固定冰为冰山的阴影提供了极好的背景反衬，因此冰山在固定冰上留下了阴影。根据阴影的长度和已知的太阳高度，可以计算冰山的高度和面积。漂浮在海上的冰山，由于已知冰山水下部分的质量是其水上部分的9倍，吃水深度是其水上高度的5倍左右，因此可以算得整座冰山的规模。

利用NOAA卫星图像解译海冰时，要注意区分接岸的海冰和岸上的积雪。积雪和海冰具有相似的反射率，所以在可见光图像上很难区别，看不清其间的海岸线位置。在红外图像上，由于地面积雪和海冰的热辐射率不同，海岸线的位置很清晰。在采用MSS图像识别海冰时，要避免与云层混淆。海冰和云层虽然具有相似的光谱性质，但冰的灰度要比云层的均匀；冰体的边界分明，云层的边界是渐变的；云层在图像上有云的阴影，海冰则有冰间水道等。

海冰的漂移对航海、海上作业，特别是高纬度地区舰船航行威胁很大。为此，许多国家都十分重视海冰监测，目前世界上已有美、英、日、苏、加拿大、挪威、阿根廷等十几个国家实施卫星监测海冰的业务服务。1987年冬至1988年春，我国已开展渤海海冰卫星业务监测与预报的试运行。

四、渔海况

鱼群侦察是海洋渔业生产的关键。海洋鱼类大多每年要作产卵和索饵性的洄游，因此海洋渔业生产往往要花很多时间来探测鱼群的位置。常规方法判断渔场位置和决定捕捞时间，只是凭前期海况资料并参考常年渔发海况来确定，无法实时地、全面地了解海况及其变化趋势。美、日、苏、法、英等国1970年开始利用气象卫星红外信息绘制海面温度分布图，提供给渔民使用，效果很好。近几年来，我国也开展了应用NOAA卫星资料速报渔海况。

海洋鱼类的生活习性与其生活环境是一个统一的整体，海洋环境状态因子（如水温、盐度等）及其变化（温度的升降、水系交汇区的变动等），均对鱼类的生存、繁殖、洄游和分布有直接影响，从而改变了中心渔场的位置、渔汛期的早晚和渔获量。尤其是水温

表7-3　东黄海几种主要经济鱼类的适温范围

	越冬期		产卵期		索饵期	
	渔场	水温°C	渔场	水温°C	渔场	水温°C
马面鲀	对马	14～17	钓鱼乌附近	14～20*	不生产	
	东海外侧	17～19				
鲐鱼	对马	13～19	东、黄、渤海近海	15～21	黄海南部	12～18
	东海外侧				东海南部	24～28
带鱼	东海中部	13～17	浙江近海	17～20*	东海北部	19～21*
					黄海南部	
马鲛鱼	东海中部	13～16	黄海南部	14～16	黄海中南部	14～18
					东海北部	

注：带*号的为底层水温。

及海流流动是确定中心渔场的重要指标。每一种鱼类在其不同的生活阶段和生活季节，都有其一定的适温范围（表 7-3）。到了冬季，水温急剧下降，鱼类被迫向外海暖水区作越冬洄游，因此这段时期的水温指标对鱼类的洄游、集群更为重要。一般来说，鱼类喜栖息在寒流或暖流前锋，或其两侧，这是由于不同水系的交汇处等温线往往较密集。特别是冬季，只有很窄的水温带适宜于鱼类栖息，使渔类高度密集在这些窄狭的水温带上，从而形成中心渔场。再则，不同水系的交汇往往发生海水的涡动混合作用，将底层大量的营养成分带到表层，有利于该海区浮游生物的大量繁殖，而且不同性质海流的流动，也会把其它海区的饵料带来，在界面形成丰富的饵料带区，吸引大量的索饵鱼群游向这一海区，也是形成中心渔场的一个原因。流系强弱的年间变动亦对渔场、渔汛期的变化有很大影响[8]，例如每年冬季，我国大沙渔场围网旺汛期的到来，主要是依据黄海暖流和北侧山东沿岸冷水及朝鲜沿岸冷水间 13～15°C 流隔（指海面上水团或海流的温度梯度较大的边界）形成的早晚来判断，渔汛期的长短也根据此流隔带位置的变化趋势来推测。

目前，有 NOAA-9 和10 在空中运行，白天 NOAA-9 从南到北，NOAA-10 从北到南；夜间飞行方向则相反。有 4 条轨道经过我国的东海、黄海。在双星系统下重复观测的周期可缩短为 0.5 天，卫星的观测带宽为 2 800 公里，星下点分辨率为 1.1 公里。应用 NOAA-9 和 10 的一通道（0.58～0.68 微米）和四道道（10.3～11.3 微米）资料，提取近岸水色（浑浊程度）及海面温度信息，得出海面等温线及近岸水色分布，再进一步分析出主要流系的具体走向（如黄海暖流、对马暖流、沿岸水系等）。在这些主要海洋环境因子的基础上，结合上述鱼类的生活习性，便可分析判定中心渔场的位置。然后以海面温度、流态、近岸水色及参考中心渔场四个因子为内容，绘制成“东海、黄海渔海况速报图”（图 7-16）。速报图的范围为北纬 25°（或 30°）至 40°、东经 120°至 130°，适合我国海洋渔业生产的需要；我国速报图基本上作到了隔日发播，因此时间性强、同步性好、对生产单位及时掌握渔海况的变化很有用；速报图上的海面温度，据用户与现场水温对比，一般相差在 1°C 以下。与同期的断面调查资料对比，均方根误差为 ≤±0.4°C。速报图不但对围网生产捕捞中上层鱼类十分有用，而且由于每年 11 月到翌年 3 月，东、黄海大部分海域表底始温呈垂直等温现象，表底温度均分布相似，因此，海面水温对底拖网渔场分析也有参考价值。

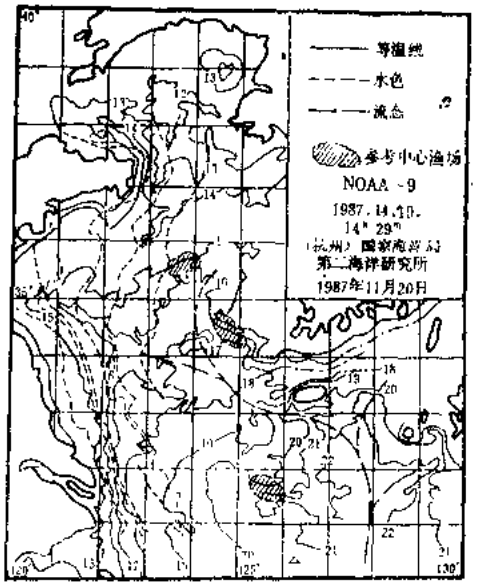


图 7-16　东海、黄海、渔海况速报图 5 号

参 考 文 献

[1] B.A.阿波洛夫著（天津大学水利系水文教学组译），河流学（上册），高等教育出版社，1956年。
[2] 濮静娟、王长耀，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 (1)，1979.
[3] 窦正国，试析封堵长江口北支与南水北调的相互影响，地理研究，3(3)，1984.
[4] 高善明、李元芳、安凤桐等，滦河三角洲滨岸沙体的形成和海岸线变迁，海洋学报，2(4)，1980.
[5] 任明达、柳林、王安龙，粉沙淤泥质潮滩的多波段与多时相卫片解译，海洋学报，12(6)，1990.
[6] 任明达、吕斯骅、张绪定编著，中国海岸卫星遥感解译，海洋出版社，1990年。
[7] 龚家龙、臧恒范，MOAA卫星海冰图像的分析，遥感信息，(2)，1988.
[8] 陈干城，应用NOAA卫星资料速报渔海况，遥感信息，(3)，1988.

第八章　地质遥感

地质体和地质现象的产生和发展是错综复杂的。然而任何地质体或地质现象，都具有其本身的电磁波特性，即不同性质的地质体和地质现象的电磁波特性是不一样的，这样我们就可以根据这些电磁波特性的差异来识别地质体和地质现象的属性。遥感图像就是对地表及地表以下一定深度地质体和地质现象电磁波谱特性的记录，而它们的差异在图像上就构成各种影像信息——色调和图形。因此，可以根据遥感图像上色调和图形信息的差异来识别地质体和地质现象的属性，这就是遥感图像的地质解译原理。

地质体和地质现象均经历了千百万年内外营力的塑造，才呈现为现今的地貌形态和水系型式，使我们可以由它们和地质体相互依存的关系推证岩性和构造，尤其是活动构造，以及某些被掩盖的地质特征。遥感图像在解译岩性、识别构造和监测地质灾害等方面能发挥很大作用。航空像片可以区分岩性，划分地层，解译构造细部效果好；卫星图像则长于解译巨型构造。

第一节　岩类识别

依据遥感图像直接识别和解译岩石类型的主要标志是色与形，缺一不可。然而，岩石的色和形受到自然界许多因素的干扰（诸如岩石颗粒大小、成分、湿度、表面风化程度、有无植被、大气散射、吸收等的不同），以致使相邻各岩类间的反射光谱强度近似或一致，造成待识别岩类影像信息含糊，使岩类识别和界线圈定发生困难。实践证明，岩类分布面积广的，岩类间的色调差异明显的，岩类间的性质（抗风化、抗溶蚀）差异大的，也就是岩类间的影像特征显著的，都非常容易解译。反之，岩类分布面积小的（反射波谱强的例外），岩类间的色调和岩性没有差异的，也就是岩类间的影像特征一致时，都“无法区别”。因此要识别岩性，首先必须了解影响岩石影像特征的因素和岩石的影像特征。

一、影响岩石影像特征的因素

岩石颜色的深浅，录主要的是由组成岩石的矿物颜色的深浅所决定的。石英质的白色和浅色矿物，色调是白的和浅色的；铁镁质的深色矿物，为深色调。色调的深浅是相对的，任何微弱的差异都常常是岩性差异的表现，因此色调（色彩）是解译岩类的主要标志。

影响色调的因素很多。影像上的色调与岩石反射能力和外界光照条件有关。同一岩石在暗淡的光照下呈较暗色调。如反射能力很强的大理岩，在暗淡光照下呈现灰暗的色调。有颜色的岩石，反映在相应波段的影像上其色调变浅。例如肉红色的花岗岩，在红光波段的图像上呈浅色调，而在其它色光的波段上呈暗色调。所以不同颜色岩石的解译，要充分利用多波段图像色调的差异。

影响色调的因素还有岩石表面的湿度、粗糙度、粒度大小、植被有无和风化性质等。在岩石表面湿度大、粗糙度大、粒度大、有植被（植被在近红外波段例外，因强反射、

色调明亮）和化学风化铁质染红等的情况下色调多暗；反之，在岩石表面干燥、光滑、粒度细、无植被、物理风化褪色的情况下色调多淡。此外影响色调的还有地质体和地面温度以及成像时的曝光量和感光材料等等。

岩类色调的深浅是许多因素的综合反映。从遥感图像识别岩性时，必须结合实际情况具体分析，不断地对比不同波段图像上的色调，分析明暗度（深浅）、均匀度（均匀的、斑块状的、条带状的、杂乱的）及界限的清晰度（清晰的、渐变的）等多方面的变异和差别，从中区分出哪些是岩类本身的反映，哪些是其它因素的干扰和影响，做出正确的结论。尽管如此，影像色调的深浅，最主要的还是反映岩石的电磁波特性，这在第三章中已有详细叙述。

不同岩性的地质体，其图形表现是各式各样的，但也并非无规律可循。从平面宏观影像看，岩浆岩的侵入岩体呈团块状或圆形，极其显眼，因此形状是识别侵入岩体的主要标志。岩浆岩的脉岩呈脉状、线状特征，当背景色调差异大时，也易于识别。沉积岩多呈条带状；火山岩有的呈条带状，有的则呈团块状特征；变质岩中的正变质岩是由岩浆岩变质而来的，常保留岩浆岩的团块状特征，变质岩中的副变质岩是由沉积岩变质而来的，常保留沉积岩的条带状特征；构造岩则具有脉状特征。不同岩性的抗风化和抗溶蚀的能力是不同的，在不同气候条件下所形成的地貌形态和水系特征也不相同。石英砂岩在任何气候条件下总是形成正地形，页岩总是形成负地形；酸性脉岩总是形成正地形，基性脉岩总是形成负地形。可溶性岩石（石灰岩、白云岩）的地貌形态随气候带及产状的不同而不同。岩浆岩体的地貌形态常与时代新老、出露高低、岩相剥露和岩体规模密切相关。呈条带状分布的山地多半是沉积岩类，呈团块状的山体可能是侵入岩体，再结合构造地貌加以分析，确定不同岩类是可能的。一般情况下，均质岩石上发育的多为树枝状水系，坚硬碎屑岩上发育格状水系，侵入岩体上发育的多为环状、放射状水系等等（详见第五章）。

表 8-1　花纹图案分类[1]

斑	粗斑	细斑	条（线）	显条	隐条
	密斑	稀斑		平行线	斜交线
	显斑	隐斑	格（块）	粗格	细格
	斑块	斑纹		密格	稀格
点	粗点	细点		显格（块）	隐格（块）
	密点	稀点		块格（团块）	条格（块）
	显点	隐点		鳞格	网格
	粗纹点	细纹点		菱格（块）	方格（块）
	显点	隐点		箱块	鞋底
纹	粗纹	细纹	链	粗链	细链
	密纹	稀纹		密链	稀链
	显纹	隐纹		纹链	网链
	斑纹	点纹	垄	垄条	垄纹
	线纹	格纹		垄斑	垄块
	梳纹	链纹		粗垄	细垄
	树枝纹	羽状纹		显垄	隐垄
条（线）	宽条	窄条	栅	粗栅	细栅
	粗条（线）	细条（线）		条栅	垄栅
	密条	稀条		显栅	隐栅
	长线条	短线条			
	环形线	放射线			

岩性的微观图形表现是花纹图案。它是一个综合性标志，是一群细小的色调、形状、地貌、水系、植被等多因素的综合图像。卫星图像比例尺小，单个物体不易辨认，只有它们以集群形式出现、组成一定的花纹图案时，才易于识别。对岩性解译来说，特别是色调一致或近似的许多不同岩类，认真区分花纹图案的差异就可把它们区别开来。

花纹图案通常以斑、点、纹、条、格、链、垄、栅等图形以及粗、细、稀、密、隐、显等图形组合

特征出现（表 8-1）。

由于多数岩类的反射光谱在橙红波段反映的最为清晰，因此解译岩类主要使用MSS5图像，其它波段的图像可作为参考；为消除植被和水等强烈的干扰，最好使用冬季、植被已枯或刚萌生时成像的遥感图像。

二、岩类解译

通常按成岩过程将岩石分为性状完全不同的三大岩类——沉积岩、岩浆岩和变质岩。它们在遥感图像上各有特征，分述如下。

1. 沉积岩

利用不同种类、不同比例尺的遥感图像进行沉积岩解译的主要任务是，确定岩石类型、产状和岩相变化，圈定其形态和分布范围，研究其规律等。沉积岩具有成层和层面单一均匀，层理整齐稳定的特点，这也是它的主要影像特征。

第四纪残坡积物、冲洪积物、风积物和冰碛物等各类松散沉积物，广泛分布于山区和平原，松散沉积物分布的地貌位置、堆积形态、成因类型是主要解译标志，当然色调标志仍是不可忽视的。

松散堆积物的识别在第六章中已有详细论述。本节仅讨论碎屑岩、粘土岩类、碳酸盐岩的解译。

(1) 碎屑岩

层理为其重要特征。水平产状的沉积岩多构成平台层状地形，均质结构，色调均匀或仅具斑点条带。倾斜产状的沉积岩呈条带状、脊垅状、复式单面山地形，岩层软硬相间，色调变换和岩层之间边界清晰明显。

(2) 砾　岩

具有一定厚度的砾岩，多呈团块状、似层状、层状形态，层理不明显。经风化剥蚀后岩石表面粗糙，在全色黑白航空像片上，为斑点状、斑块状等不均匀灰色调。本色是红色的，呈深灰色调；本色是灰色、黄色、棕色的，呈浅灰或中灰色调。地形起伏较大，常形成陡崖或孤岭状山峰，露头边常有块砾岩崩塌的倒石堆。水系、土壤、植被不发育。砾岩在卫星图像上难以辨认。

(3) 砂　岩

砂岩分布区的土壤覆盖和植被生长情况，各地有较大差别，解译标志的地区性和可变性明显。在利用遥感图像的影像特征解译砂岩时，不仅要掌握它们的景观特征，还要根据不同地区、不同岩石类型的特点，合理地选用遥感图像的种类和适当地选择图像处理方法，才能获得较好的解译效果。例如黑白遥感图像对基岩裸露地区效果较好；密度分割技术有利于划分和圈定岩类；真彩色和彩色红外图像则对杂色砂岩和与基岩关系密切的残积土壤层，具有色彩鉴别的效果。

砂岩分布较广，层面平整，厚度稳定，以条纹或条带夹条纹图形为主。因胶结程度强，抗风化，一般形成和缓地形、垅岗和块状山，倾斜岩层多构成单面山或猪背岭，顺向坡比较平整，逆向坡为阶梯状复合坡，山脊走向稳定，主支脊多近直交，组成羽状地形。砂岩分布区水系密度较小，多为平行羽状、树枝状、平行束状和格子状。在全色黑白像片上为灰白色。边坡生长植被。

(4) 粘土岩类

粘土岩类和粉砂质岩石具有相似的影像特征，往往作为一类进行解译。粘土岩类在图像上呈现地区性的影纹，如西南地区的一些粘土岩类在图像上呈现蜂窝状影纹，华东和华南地区的某些粘土岩则构成姜状影纹。它们都是鉴别粘土岩和粉砂质岩石的地区性解译标志。大多数粘土岩分布区已被人工改造，农田、村庄和人工林的影像较普遍，是重要的人文标志。

页岩、粉砂岩层理不明显，层面平整，表面光滑，呈细线或密线束纹状，多组成平缓圆滑或凹下的鞍状地形，河网自由发育，多为树枝状水系，在黑白图像上为暗灰色长条形斑块。残积物具有粘结力，显示为暗灰色，斑块是因湿度和有机成分所致。含大量有机质的碳质页岩呈黑色调或深色调。

(5) 碳酸盐岩[2]

石灰岩色调浅，有时为深灰色；白云岩则多呈白色。石灰岩、白云岩层理不清，但大层面仍较明显。湿热地带岩溶地形发育，为重要的解译标志。北方寒冷干旱地区，石灰岩和白云岩一般不形成岩溶地形，而与碎屑岩外貌相似，形成陡峭地形。硅质碳酸盐比较坚硬，多为正地形。

碳酸盐岩在我国北方和南方均有广泛分布。南方湿热地带岩溶地貌发育，尤其在背斜核部和倾没端，断裂带地区更为显著。在不同比例尺的遥感图像上都有酸目的影像。在航空像片上，溶蚀峰林、漏斗、落水洞、断头河、暗河，甚至溶洞等地貌形态，呈现点状、块状、密集圆斑状、不规则断续链状等图形特征，借助立体观察能鉴别微细形态。在卫星图像上，呈现密集棋盘格状（或似桔皮纹状），网脉状图案（图版 XVI-1）。河流稀疏，并蜿蜒于峰林之中，河谷陡峭，呈现区域性棋盘格状或菱形水系。岩溶区常见的断头河、盲河及其出水口，利用黑白航空像片、多光谱图像和红外图像可取得较好的解译效果。地形起伏骤然，阴影发育。裸露的碳酸盐岩呈现浅灰和灰色调，如果呈现深灰色调，往往是风化面为浅黑色的白云岩类岩石。在岩溶发育地区，交通不便，铁路和公路少见，很少有较大的城镇。

北方出露的碳酸盐岩的表面发育有石芽和溶沟，使岩石表面变得粗糙，在某些构造部位也可见溶洞和漏斗，在遥感图像上具浅灰至灰色色调，纹理不均匀。当碳酸盐岩层理发育，出露良好时，在图像上具明显的条纹、条带，在地貌形态上常形成单面山或猪背岭地形。厚层石灰岩或白云质和硅质碳酸盐岩，在图像上的条纹条带状图形不甚明显，但它们经常组成正地形，往往形成陡崖。碳酸盐岩地区河流与冲沟不发育，常与其它沉积岩共同组成平行水系和羽状树枝状水系类型。

(6) 火山碎屑岩

与相应的沉积岩相类似。一般色调较浅，常伴随火山熔岩及火山地形，粗碎屑火山岩厚度变化大，层面稳定性差，层理不如正常沉积岩清楚。

2. 岩浆岩

岩浆岩形态呈团块状、条带状、脉状。岩浆岩内部无层理，只有岩相条带。通常在像片上依据色调、产状及微地形的差异，可以圈出侵入岩、喷出岩及现代火山岩。侵入岩比喷出岩容易识别，中酸性小型侵入体的影像特征尤为明显。

(1) 侵入岩

（i）酸性、中性岩类的解译

花岗岩类岩体有规模较大的基岩和规模较小的岩株、岩墙，纹理均匀，具浅灰色调，块状花纹，有覆盖层时，为不均匀的斑状色调，原生节理和后期节理发育，水系多为放射状、树枝状，内部小水系为直角状、钳状。

中小型花岗岩体和中性、中酸性岩体，分布比较普遍，呈圆形、椭圆形、透镜状、正方形、长方形，多边形、不规则状和脉状等花纹，它们的轮廓一般容易与围岩影像区分开。因岩体规模较小，完整的图形往往在一张或多张航空像片上展现出来。决定岩体图形轮廓的标志主要是色调、地形和水系类型等，岩体的边界有的整齐，有的弯曲。

呈负地形的中小型酸性、中性岩体，在植被生长较少、尚未被人工改造的情况下，在黑白图像上以浅灰白到浅灰色色调与围岩区分，色调均匀而洁净，而中性岩体色调呈灰色或深灰色，一般色调不均匀。它们组成的地形和缓，岩体内地形较高时，边缘为环形沟谷；岩体的内部地势低洼时，边缘较高，构成环形山脊；岩体内呈现树枝状水系或环状水系，水系密度不等，清晰的岩脉或岩脉群大多数发育在岩体内部，常呈束状、格状、弧形和环形群，一般不延伸到围岩中去；在植被发育、人工改造强烈时，具灰色至深灰色不均匀的斑块、花纹和条格影纹。

正地形为主的中小型酸性、中性岩体分布区，地形起伏较大，陡峰和尖峰组成不规则山脊（图版 IV-1.2），主支脊斜交并构成鸡爪状平面形态，地形切割深度较大，对酸性岩体而言，最初一级沟谷多组成钳状，“V”型谷组成密集的树枝状水系。裸露的岩体以浅灰色色调为主，可呈现灰色、深灰色和浅黑色色调构成的斑块状影纹，其图形和影纹特征成为解译和圈定酸性、中性岩体的主要解译标志，例如在我国东南地区，一些中小型花岗岩体组成丘陵地形，呈现独特的似姜状影纹。

解译酸性和中酸性岩类时，常出现环形影像。呈现环形影像的地物主要有浑圆形岩体；岩体内环形或弧形岩脉群；边缘相和内部相的环带；岩体组成的环状地形和水系、浅隐伏侵入岩体接触变质环带等。因此，岩体分布区的环形影像不仅是判别岩体存在的一种标志，而且也是研究这类岩体的宝贵资料。

(ii) 超基性、基性岩的解译

超基性、基性侵入岩体多成中小型岩株、岩墙和岩脉产出，常分布在规模大的构造带，如强烈褶皱带、稳定地块的边缘、深而长的大型断裂带以及古老稳定地块内。规模较大的超基性、基性岩体较少，仅在我国西部有出露。所以，利用遥感图像解译时，对工作区的近圆形、链状和串珠状、环形、不规则状、脉状等图形应给予注意。超基性、基性岩经常成群或成带产于强烈活动的构造带内，大多数岩体容易风化剥蚀成负地形，风化后残积土壤较多，有的地区植被也较发育。基岩裸露较好或风化残积土壤为墨绿色者，在黑白图像上表现为深灰色至浅黑色色调。

此外，如果在解译时，结合磁法和放射性以及化探资料进行综合分析，会有较好的解译效果，可准确地圈定超基性、基性岩体的边界。在覆盖地区，虽然直接解译标志不明显，但如果认真从水系图、地势图出发，分析地形和水系显示出的环形、放射状、局部树枝状、弧形转弯等部位，往往是解译这类岩体的先导。

(iii) 岩　脉

岩脉是一种分布较为普遍的脉状侵入体，它们在块状侵入岩体发育地区及岩体内部

相对集中，成群成带分布。一般情况下，岩脉具规则的脉状、链状、条带状形态，其一侧明亮，一侧为深暗的阴影，其明亮部位的色调为岩脉的真实色调。岩脉的岩性主要按岩石及碎屑的颜色判断。呈白色、红色、灰白色者为酸性岩；呈灰、暗灰、暗绿、黑色者为中基性岩脉；呈灰绿色、灰色、易风化、多为负地形者为超基性岩脉。岩脉受裂隙节理和断层控制，穿插于侵入体、围岩中，往往成组出现。

(2) 火成岩

岩浆喷出或溢出地表、骤然降温降压条件下形成的火成岩，或形成火山，或形成熔岩流。基性熔岩、玄武岩流常呈大面积岩盖，或填充河谷低处，岩流色调较暗。较老岩流可以形成风化壳土壤层。共同特征是表面粗糙不平，柱状节理发育，裂隙节理开阔，有时保留流动构造，如“绳状”结构、熔渣结构、熔岩“隧道”、大型气孔空洞形成的塌陷等。夹在古老地层中的玄武岩流，一般呈层状出露。酸性熔岩比较少，外形呈团块状、条垅状，厚度变化快，分布范围小，色调较浅，土壤层不发育，有流动表面，但节理不发育。常呈浑圆丘陵，如腾冲地区的来凤山（图版 IV-1, 2）。

火山碎屑岩分布于火山锥附近，堆积在地形低洼处，表面平滑、形似积雪，很容易受到雨水冲刷，形成稠密冲沟。

新喷发的火成岩直接表现于地形，单个或成群地分布在火山穹窿、火山断裂带上，地形为高的锥状丘陵。破火山锥是经受破坏的不完整火山。水系为放射状、环状、不规则轮状。其中火山颈相岩筒、岩株、岩墙、岩盆、岩链等岩石坚硬，在地形上更为突出。只有少数岩筒、岩墙、岩颈因冷凝收缩或岩性脆弱呈低洼地形。老的火山岩，原火山机构的外形多数已不反映在现代地形上，但根据岩性硬度、色调、水系和其它微地貌可以察觉其差异。

(3) 脉　岩

脉岩需用较大比例尺的遥感图像进行解译。它具有规则的脉状、链状、条带状形态，受裂隙节理和断层控制，穿插于侵入体、围岩中，往往成组出现。脉岩绝大多数为脊垅状地形，边界清晰，色调明显，有时在两侧伴随相应色调的残积物、崩塌岩块。少数易于破碎风化的脉岩形成条带状洼地、冲沟或植物的特殊分布。脉岩岩性主要按岩石及碎屑的颜色判断，与岩脉岩性识别一致。

3. 变质岩

变质岩有正、负变质岩之分，正变质岩是由岩浆岩变质而来，而负变质岩是由沉积岩变质形成的，所以它们在图像上均保持其原有的影像特征。如果变质岩以后又经历了强烈的构造变动和复杂的混合岩化作用，则使变质岩的影像变得更加复杂，增强了变质岩识别的难度。因此，利用遥感图像时，要提取变质岩主要岩石类型的影像特征。

(1) 大理岩类和石英岩

岩石经过变质作用后，色调变浅，层理消失，节理和片理加强，强度增大，形成块状地貌形态，常具陡壁。大理岩还具有岩溶地貌。此类岩石容易识别，往往成为变质岩系中的良好标志层。

(2) 千枚岩、板岩

千枚岩和板岩，变质程度较浅，原岩组织结构特征明显，其影像特征与细砂岩、粉砂岩和粘土岩类相似，易于风化，多构成低缓丘陵或岗状地形。小冲沟构成的平行密集

线纹往往代表共方向，这类岩石分布区羽毛状水系比较发育，色调为均匀的浅灰色。

(3) 片岩和片麻岩

片岩、片麻岩的原岩层理模糊、断续、隐约、扭曲，呈密波纹状。片理、片麻理变为主要影纹线理。暗色矿物和浅色矿物的相对集中成带，片岩、片麻岩是由不同色调组成的、近似平行的不连续波状影纹。片麻岩分布区一般组成低缓地形，似垅岗状山脊，走向不明显，发育密集、平行、钳状、树枝状水系。在我国大部分古老的片岩、片麻岩分布区，大多已被人工改造，地形、水系和植被分布特征是鉴别该类岩石的主要标志。

(4) 混合岩类

混合岩类按其混合岩化程度，分均质混合岩、条带状混合岩和雾迷状混合岩三种，它们有共同的影像特征，也有一定差别。

均质混合岩是混合岩化程度很高的岩石，在黑白图像上呈浅灰、淡灰、灰白等色调，纹理均匀，在比例尺较大、质量较高的图像上可见有暗色断续线纹，它们的排列似片麻纹理，这是混合花岗岩区别于一般花岗岩的重要标志。此外，混合花岗岩体没有明显的侵入接触带，与围岩渐变过渡，其分布范围内可见深暗色原岩基质，它和侵入花岗岩体内俘虏体的区别在于形体细小狭长，它方向性强，有时呈断续细纹的密集群分布。

原岩为花岗岩类的变质片麻花岗岩，保留有原岩的节理、脉岩和接触带，常显示醒目的环形影像特征。

条带状和雾迷状混合岩，其混合岩化程度虽有差别，但它们的共同特点是混合物质与原岩的成分和结构特征能够明显分开，原岩的层理、片理保存完好，方向性明显，混合物质往往沿平行层理或片理方向分布和排列。色调不均匀，灰白色的酸性脉体与暗色原岩条带构成具斑条状、团块状、云雾阴影状花纹。

(5) 动力变质岩带的影像特征

动力变质岩带在大多数情况下不易在遥感图像上见到直观的影像标志，解译难度较大。动力变质岩主要分布在强烈的褶皱带、断裂带（包括逆掩断层带）附近，其规模为宽几十厘米到几千米、长几公里到几百公里的狭长形，其平面形式主要是带状分布的平行直线状，复杂回曲状，密集线纹，呈连续或断续分布，经常见有环状、放射状、弧状、透镜状、网脉状和人字型图形，动力变质岩带内主要河流和山脊呈平行状分布，支流与主流或支脊与主脊呈现丰字形组合类型。这种影像在我国的西北、西南等地大断裂带内较为多见。

第二节　地质构造解译

构造解译是遥感图像地质解译的重点。构造解译的内容包括，识别和勾绘图像上所能显示出来的各种构造形迹；鉴别各种构造形迹的性质，并测定有关产状要素；分析各种构造形迹的空间展布及其组合关系，确定其生成顺序，将具有成因联系的构造形迹配套，分析其力学机制；编制构造解译图或构造纲要图；研究工作区的构造特征和构造运动发展史。

一、地质构造面产状的解译

地质构造面，如沉积地层的岩层面、断裂面、地质体之间的界面等产状的解译，下面以岩层面为例加以说明，其余可依此类推。

1．水平层面

倾角小于5°的岩层称为水平岩层或近水平岩层。这类岩层层面的倾向和倾角肉眼很难判断，需借助较大范围的地质地貌分析或立体测图仪系统量测，才能揭示其产状。

2．直立层面

直立岩层是指倾角大于80°的直立或近于直立的岩层。其层面露头形迹不受地形起伏影响，岩层走向稳定时为平行直线，岩层走向变化时为平行弧线。两条线之间的距离即为真厚度。一般在像片有效面积内岩层厚度的误差，除精密产状量测外，均可以忽略不计。有时在图像的边部，当倾斜岩层的倾向、倾角与摄影投射线角度一致时，倾斜岩层的层面也表现为一条直线，这是中心投影引起的畸变（图8-1）。在陡倾斜岩层附近也常存在倒转产状，露头线也表现为近于平行的直线，在这两种情况下就要用周围像片复查或寻找有无岩石三角面，有三角面者则不是直立岩层。

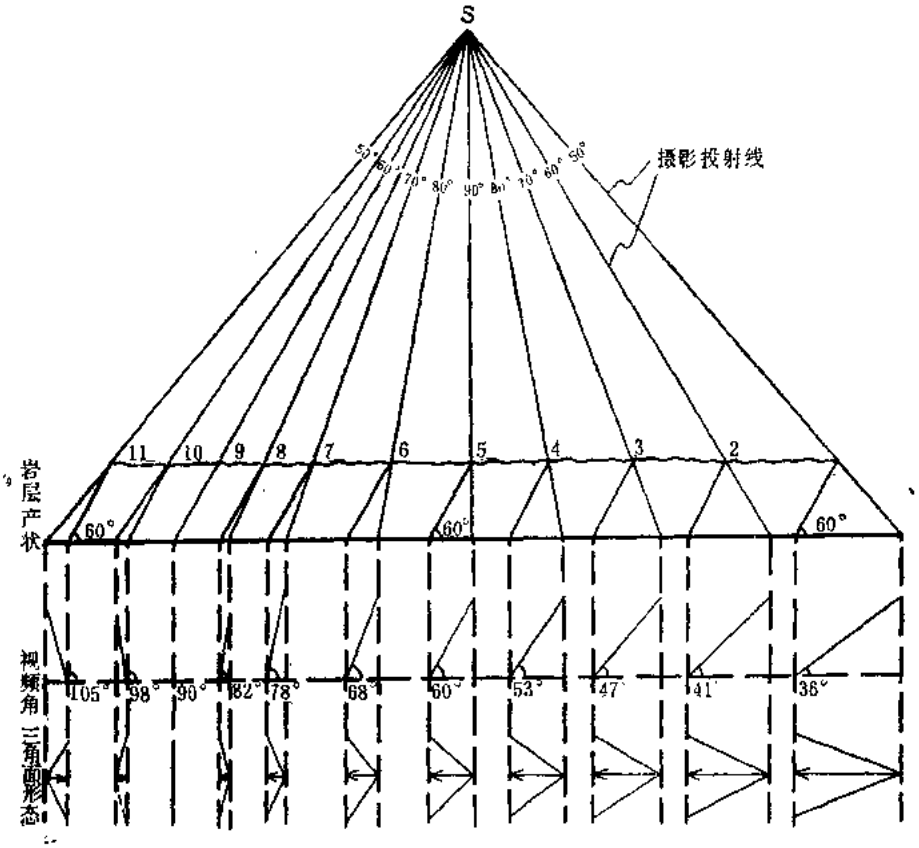


图8-1　航空像片上岩层视倾角和岩层三角面变化规律

3．倾斜层面

倾斜层面是岩层和其它地质体最常见的。岩层产状类型和岩层露头形迹线按照岩层倾角与地形的组合变化，呈现为极为多样的复杂图形。倾斜岩层的岩层三角面是判断和

测定岩层产状的主要依据。

测定方法很多，常用方法有以下几种。

(1) 岩层三角面的概念[2]

倾斜岩层地表露头线的最高点（山脊上）和最低点（沟谷中）之间，如果用直线把它们连接起来，就能得到一系列的三角形。这些三角形可以自山脊上的最高点与相邻沟谷中的两个最低点连接而成；也可以从山谷中的最低点与相邻山脊上的两个最高点连接而成。这些三角形称为岩层三角面，它们代表了倾斜岩层的层面。由于山脊和沟谷形态不同，地形的坡面类型也不一样，因此岩层的地表露头线所组成的图形可以是三角形的、弧形的或梯形的，这些图形统称为广义的岩层三角面。它只能用来目估岩层的大体倾向或倾角。狭义的岩层三角面，则是指包含在这些图形之中的想象的空间三角形，其为精确测定产状要素的基础。当岩层的露头线不连续时，选取同一层面上不同高度的三个出露点也可以得到想象中的岩层三角面。

航空像片是一种中心投影图像，岩层三角面的形态也与其它物体一样会产生畸变，因此在利用岩层三角面确定岩层产状时，三角面位置应尽量选用图像中心部位的三角面。

(2) 倾斜岩层产状的测定

倾斜岩层产状的测定方法很多，常用的有以下几种。

(i) 目估法

根据三角面的形态用肉眼估计岩层倾角的方法称目估法。岩层三角面的形态主要是由岩层的倾斜程度决定的。通常情况下，岩层倾角越缓，三角面的尖端越尖锐，随着岩层倾角的增大，三角面将逐渐变得宽缓、开阔，岩层直立时变为一直线（图 8-2）。使用目估法只能得到岩层的大致倾斜程度，故此法常用于概略解译阶段。为了使用方便，目估岩层产状可以分为以下几个等级：

水平或近水平岩层	倾角<5°	缓倾斜岩层	5～20°
中等倾斜岩层	20～45°	陡倾斜岩层	45～80°
直立或近直立岩层			

由于中心投影的影响，具有相同倾角的岩层，其三角面在图像不同部位可以显示出不同的形态，因此目估岩层产状时，要注意三角面在遥感图像中所处的位置，了解视倾角与真倾斜之间的关系。

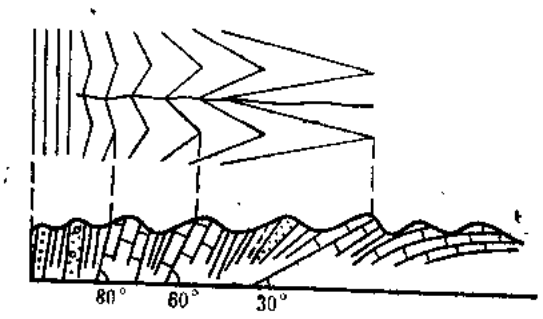


图 8-2 三角面形态与岩层倾角的关系

利用立体镜目估产状可以获得定量的数据。其方法是：按照镜下立体模型中三角面的空间位置，设法量出或估出它的视倾角，再根据垂直夸大系数查表换算为真倾角。如图 8-3 所示，横坐标为视倾角，纵坐标为垂直夸大系数，斜线为真倾角。如果垂直夸大系数为 3.0，视倾角为 70°，那么三者的交点对应的斜线所指示的 42° 就是岩层的真倾角。

(ii) 三点法

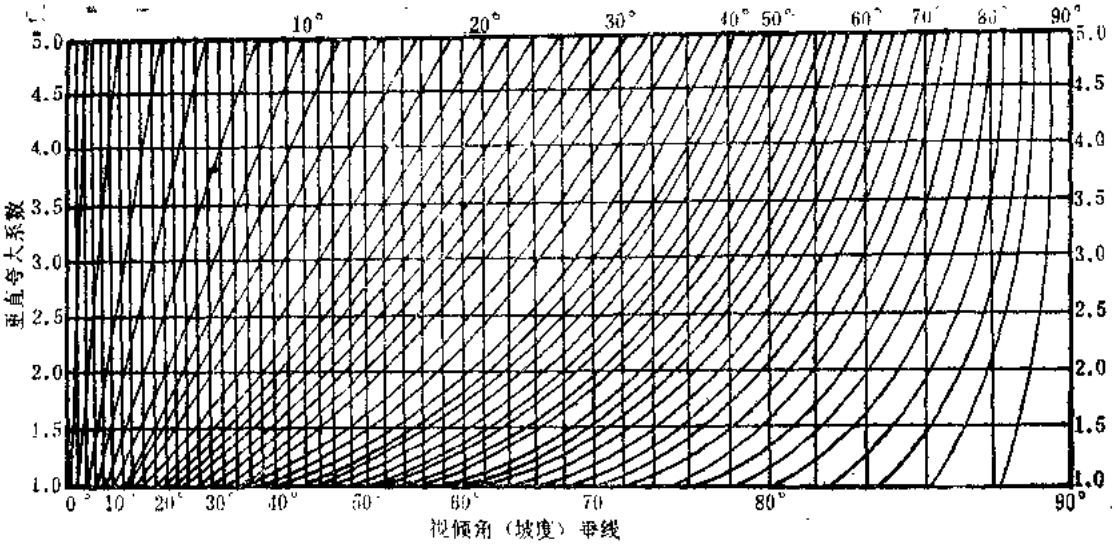


图 8-3　真倾角、视倾角及垂直夸大系数

在像片上选择三点，如有地形图时，可将点转绘在地形图的相应位置上，则在地形图上可求出三点高度。如没有地形图，则利用视差杆把同层面上不同高度的三个点的高差量测出来，即可按构造地质学中经常应用的三角点法求出岩层的走向、倾向和倾角。

(iii) 图解法

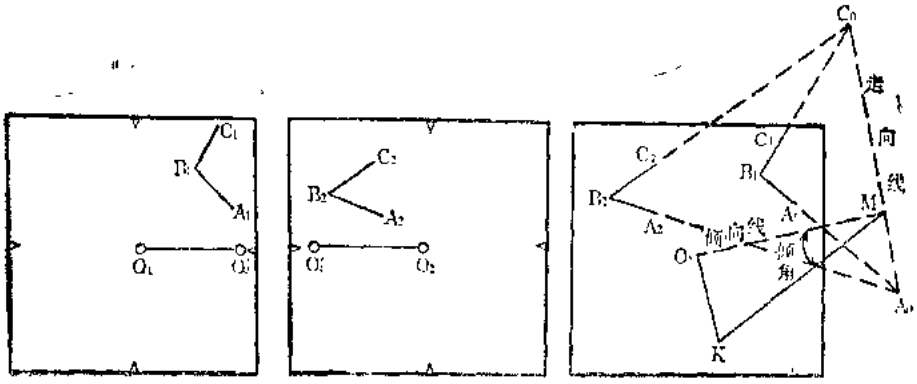


图 8-4　图解法

当没有地形图而又不能用仪器测定岩层的产状要素时，可采用 T.C.波尔什涅科夫方法，但所得结果为近似值。图解法的具体做法如下（图8-4）：根据航空像片框标作十字线，求出像对的像主点 O_1（左像片）和 O_2（右像片），用针刺孔，并在左像片上找到右像片上的主点 O_1'(即 O_2 在左像片上的构像)，同样在右像片上，先用透明纸蒙在右像片上把 O_1' 和 O_2 点在透明纸上，连 O_1' 和 O_2 即为像片的基线。并在透明纸上画出已选定的同一岩层面上的三个点 A_2，B_2 和 C_2，再将 O_2 与 O_1 重合，并使此基线通过 O_1'。这时可在透明纸上作出与 A_2，B_2 和 C_2 相对应的三个点 A_1，B_1 和 C_1。

延长 B_1A_1，B_1C_1 及 B_2A_2，B_2C_2 相交于 A_0 和 C_0 两点，A_0 与 C_0 点的连线就是岩层走向线。从透明纸上由 O_2 作走向线的垂线 O_2M，即为倾向线的投影。再过 O_2 点作垂直 O_2M 的线，取线段 O_2K 长度为 f（即摄影焦距），连接 KM 获得三角形 O_2MK，$\angle O_2MK$ 即

为岩层倾角。

二、基本术语

1．线性形迹和线性构造

(1) 线性形迹

线性形迹是指地面上的地形地物大体沿某一方向延伸，在遥感图像上所显示出的线性影像特征。能够在地面上构成线性形迹的地面因素有：①地质构造现象。如断裂、节理、劈理、区域性构造裂隙以及岩层接触面、不整合线等；②天然地形地物。如直线状的山脊、沟谷、河流、平直的湖泊与海的岸线、不同地貌单元的分界线等；③建筑工程。如运河、灌渠、铁路、公路、堤坝、防护林等。

由此可知，能构成线性形迹的因素很多，有的与地质构造直接有关，有的间接有关，有的则毫无关系。因此，从地质解译的角度来看，线性形迹是个范围较广的影像概念，不一定代表某种地质内容。

(2) 线性构造

线性构造是指遥感图像上那些与地质作用有关或受地质构造控制的线性影像。线性构造具有平直或平缓挠曲状形态特征，这种形态特征多半是通过地形、色调、影纹图案、植被以及水系的线性变化等表现出来的。

识别线性构造是遥感图像地质解译的重要内容。当某些线性特征难以判断是否具有地质意义时，可以与已知的资料进行对比、分析判断，如果符合下述条件，那么它们可能是线性构造：①在断层或其它线性构造的延长线上；②与断层、褶皱轴向平行；③与物探异常或化探异常吻合。

为慎重起见，对那些目前尚无法确定其地质意义的线性影像，应排除在外，不要作为线性构造处理。

2．环状构造

环状构造原意是指遥感图像上的圆形、弧形影像特征。

构成环形影像的因素很多，据目前资料，遥感图像上所反映出来的环状影像包括：①自然地形、地物形成的环状影像。如环状的山脉、水系、盆地、岛屿的环状分布、植被的环状生长、含水土壤层的环状影像等；②地质构造呈现的环状影像。如火山机构、岩浆活动中心、岩体、盐丘、穹窿和短轴褶皱及一些规模巨大、在卫星图像镶嵌图上才能看到的环状影像；③人类活动痕迹。如水利工程、军事工程、人造森林的环状边界等。我们称与地质构造有密切关系的环状影像为环状构造。其形态有圆形、椭圆形、半圆形、弧形及多边形等类型，通过色调、地形、水系等形式表现出来。

三、活动构造解译

活动构造，是指晚近地质时期，特别是新生代新第三纪以来活动的地质构造。它是现代地貌，尤其是现代构造地貌发育的重要因素，因此，所有控制或者改造现代构造地貌和水系格局发育特点的构造形迹大多是活动构造，许多构造地貌和水系格局的外部形态本身就是活动构造的直接表现。

从遥感图像地质解译的角度来看，活动构造与隐伏构造之间存在着密切的关系，隐伏

构造之所以能够在地表得到显示，主要是因为它们在晚近地质时期有新的活动，其活动所造成的影响波及到了盖层，使盖层也产生了相应的形变，出现派生构造，并且控制了现代地貌和水系格局的发育。所以，遥感图像上能够解译出来的隐伏构造，多数属于活动构造。

地震现象是现代地壳破裂活动的一种表现，地震的孕育和发生与活动构造密切相关。据历史记载和现代文献资料，地震都出现在构造活动带上，而强震的震中大多位于多组主干断裂的交叉口、复合部位，或位于断陷盆地间有横向构造的穿越部位，以及垂直运动和水平错动的强烈部位。因此研究活动构造不仅在地质构造理论上有重要意义，而且对监视地震、火山等灾害性地质现象也具有现实意义。

1．活动构造的解译

活动构造可分为两大类：一类是线性的，如断裂构造；一类是面状的，如圆形构造。通常采用下列方法进行解译。

(1) 根据色、形、阴影三类信息标志进行综合分析

活动断裂的色调常表现为色带异常或不同色调的界面，线状色调的深浅、长短、宽窄及隐显程度是判断活动断裂规模大小及活动程度的依据之一。形则是指宏观综合图形，利用阴影则是为了取得地物的立体感。

(2) 构造地貌和水系格局异常的分析

构造地貌错位与水体演变形迹是地壳形变的天然记录，只有对通过断裂的一切自然现象进行全面的分析，才能揭示出某些断裂或地段的构造活动性及分布形迹。

(3) 区分活动带和稳定块

活动带的形态表现为线状和条带状，稳定块的形态表现为面状和块状，二者的活动是互为关联的，稳定岩块的向量活动常常是造成活动带积极活动，使应力易于积累和释放的因素。

(4) 多种资料对比

进行解译时，要尽量收集不同时期的图像资料、地形图、地质图及地震资料，以便进行对比分析，了解动态变化。

2．活动断裂解译[1]

(1) 色调分析

活动断裂是一种线性构造，平面形式为粗细、深浅、长短、隐显的线形带状，色调复杂，更多的是不同色的界面，它们是断裂和活动断裂的明显表现，是区分活动断裂规模大小和活动强弱的重要标志。一般情况下，深色调一侧代表活动断裂相对下降盘，浅色调一侧代表活动断裂相对上升盘。

(2) 图形分析

活动断裂的宏观图形在卫星图像上表现为线状；在山区，构造单元、地层单元、山地、盆地和沟谷等错位；山地平原和盆地的边界轮廓呈直线、折线和雁列状展布，有的整体形变和错位，许多洪积扇、泉、地热田、残丘在山边或山前呈直线展布，山前许多洪积扇错开和形变；平原或盆地区，贫富水段边界呈直线或折线展布，水系错位，水系呈直线或格状展布，水文网各段呈雁列展布；湖岸线、海岸线呈直线或折线展布，岸边三角洲形变，许多湖泊沼泽的群体呈线状雁列状展布；方向性很强，定向密集的新裂隙

带图形是深部或隐伏活断裂、挤压带的反映。旋扭构造的图形在卫星图像上的显示是很直观的（图 8-5 和 8-6）。

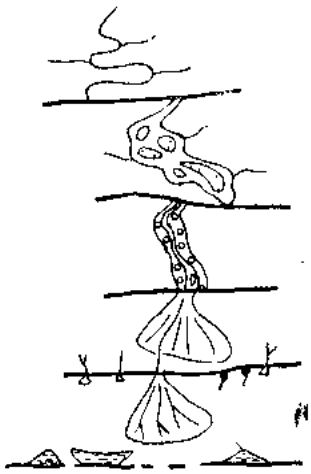


图 8-5　断裂的河流湖泊水文显示

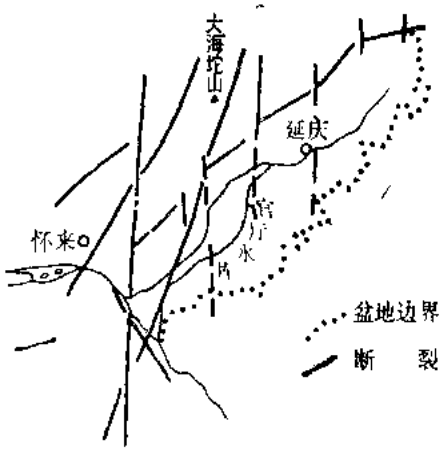


图 8-6　盆地轮廓受断裂控制和改造的地面显示
延庆北东向断陷盆地被走向近南北断裂切割改造

3．新隆起的解译

常见的新隆起有断块隆起、阶梯状隆起、掀斜隆起和圆形隆起等。

新隆起有块状、带状或圆形构造，色调复杂，界面明显。断块隆起，阶梯状隆起，多由活动断裂控制和分隔，具有较规则的几何形态，水系呈羽毛状（图 8-7）、平行状或格状展布。

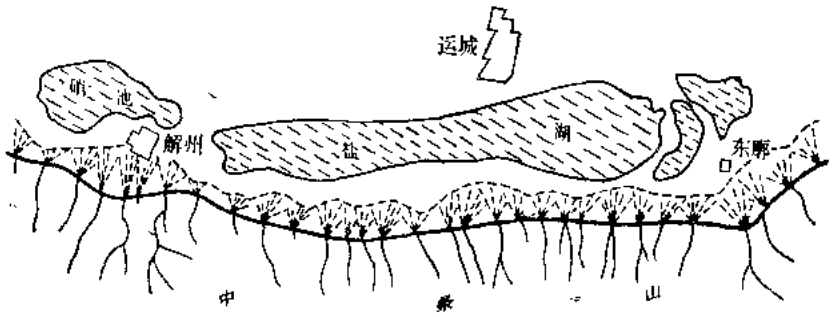


图 8-7　中条山断块隆起与运城断陷盆地交界带的地面显示

掀斜山地的隆起部位，常有一系列河流的深切河谷或深切曲流在隆起带上呈直线展布，掀斜断崖前缘的洪积扇群不断向前伸展（图8-8），隆起高地上多呈缓倾斜的高原，发育树枝状水系，其上游溯源侵蚀强。

圆形隆起是一种圆形构造，其平面表现为圆形、椭圆形或不规则的圆形。

在山区表现为圆形高地或山地。有穹形山顶，而无定向岭脊。穿越圆形隆起的河流多呈深切曲流或深切河谷；不穿越圆形隆起的河流，不是自山顶呈放射状向四外分流，就是围绕圆形隆起构造外缘呈环状或弧形大弯绕流。这些圆形隆起，有的是岩体隆起，有的是隐伏圆形隆起或规模不同的隐伏构造岩块（硬块）。许多隐伏构造岩块，由于刚

性大，质量集中，在地壳活动中常常就地旋转，因而影响较大（图 8-9）。识别圆形隆起的不同类型，首先要注意环形色调，其次要注意圆形隆起图形和水系图形，还要特别注意裂隙群的平面展布特征，若为浑圆形均匀分布的裂隙群，则反映的多是隐伏的隆升地块、侵入岩体、火山穹窿或短轴背斜；若为流线束状裂隙带，则反映的多是旋转运动的基底硬块。

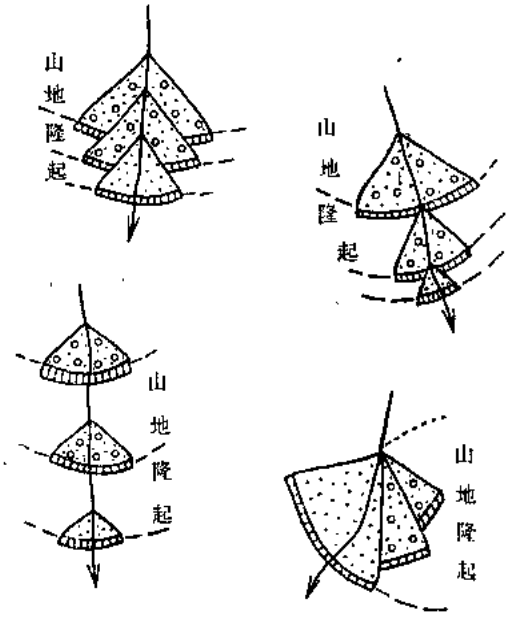
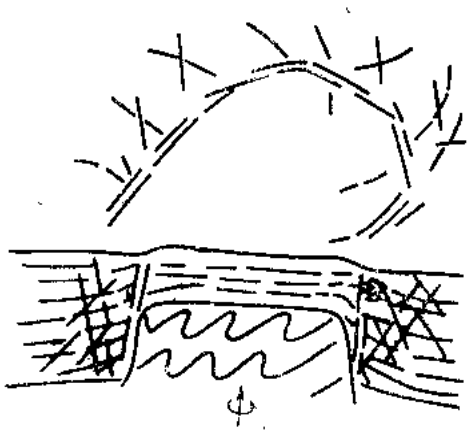


图8-8 山地隆起引起的洪积扇的演变形式

在平原，有的是新生的圆形隆起，有的是深部隐伏圆形隆起的再活动，它们在地表都呈现为近圆形微隆起的高地，它们的隆起活动极其微弱，对地表水系发育不起任何作用。有的由于隆起比较强烈，原来穿越高地的河流，多逐渐干枯消失，或逐步改变流向，因而河流出现一系列不自然的弧形大弯和一系列废弃古河道的形迹，如在北京平原上展现的新隆起，使永定河、温榆河不断改道所呈现的弧形大弯在卫星影像上非常直观（图版II-4）。古河道在卫星图像上的显示，是线状的浅色调，极易识别（图 8-10）。隆起前的平原地面上，原有的湖泊、沼泽也因隆起而变干枯，以致萎缩消失，其萎缩消失的进程在卫星图像上的形迹，有时是很清晰的。有的是使湖泊轮廓歪斜，例如，新疆罗布泊受活断块隆起影响，整个湖盆不对称偏歪的形迹，在卫星图像上极其醒目。有的隆起和地表河流侵蚀切割正好适应，河流并不改道，而在原有位置上进一步切割（图8-11）。


图 8-9 基底旋转断块的地面显示

在广大新生代堆积平原盆地中解译显露和隐伏的正向构造是有实际意义的，因为它们常常是有价值的油气构造。

4．新凹陷解译

常见的新凹陷有断陷盆地、多字型盆地和圆形凹陷。

（1）新凹陷有条块状断陷、多字型和圆形构造，它们的色调多数表现为不同程度的灰色调和深色调，色调的边界或界面，总是以条块状的最为清晰，而圆形和近圆形的边界轮廓常常是逐渐过渡的，或是比较模糊的。

（2）断陷盆地的图形表现

在山区和山前，断陷盆地为活动断裂控制和分割的地堑盆地，它的图形表现为条块状，有一定走向，盆缘多呈直线或折线轮廓，断陷盆地和断块山地总是成对并列存在，盆地中大河流与盆地走向一致，这些现代河段多半是最新活动断裂的显示。穿越断陷的

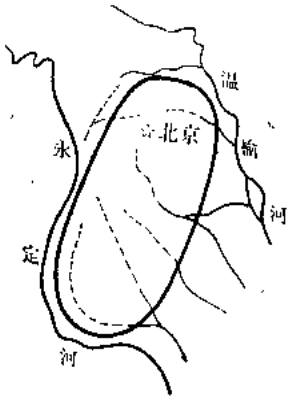


图 8-10　圆形新隆起的地面显示

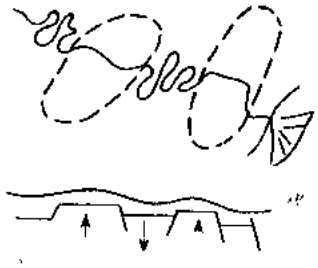


图 8-11　圆形新隆起的地面显示

河流，河谷展宽，常有辫流心滩出现（图 8-12），在卫星图像上展示得很清楚。断层盆地、盆地中水系多呈刷状，如山东沂蒙山区的许多小盆地就是这类盆地，它们在卫星图像上显示得极为直观。

在平原，它是一种隐伏的断陷盆地，它在地表的图形显示是轮廓边界极其清晰的条块状富水段。沿隐伏断陷盆地方向和隐伏断陷盆地之上的河流多呈自由曲流，废弃古河道也较发育，平原水系汇流集中是穿越隐伏断陷的一种表现，地表常成片出现盐碱化、沼泽化和湖泊化现象。

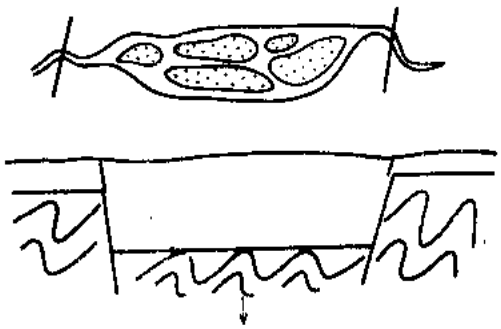


图 8-12　隐伏断陷盆地的地面显示

(3) 多字型断陷盆地的图形表现

多字型断陷盆地是一种扭动构造（图 8-13）。在山区它们的图形表现呈多字型或雁列展布。它们的走向大体相同，是许多定向断陷盆地的组合。多字型断陷盆地中的水系格式也呈多字型和雁列展布。在各断陷盆地之间或其中常有横向构造穿越。它在盆地轮廓和水系特征上都有反映。华北山区的多字型断陷盆地的优势方向是北东和北北东向，横向构造的优势方向是北西和北北西向。这种多字型断陷盆地，在第四纪早期曾为断陷湖盆，至第四纪中后期，已随山地隆起而逐渐抬升，因而原来的湖泊消失，代之为河流沉积充填。盆地中现代异常河段多半是最新活动断裂的显示，而盆缘的断裂活动多趋微弱或僵化。

在平原，它是一种深部隐伏的多字型断陷盆地，也是一种扭动构造。在地表，表各河流的会流点、直线段、折线段和湖泊群等的总体图形都呈现为多字型雁列展布的图案。

在卫星图像上解译断陷盆地时，要特别注意和揭示断陷盆地间有横向构造穿越的部位和横跨断陷盆地的横跨部位，因为它们也是一种发生强震的构造背景。

(4) 圆形凹陷的图形表现

在山区圆形凹陷为活动断裂控制分割的近似圆形或多角形的断陷盆地，四周多受断崖围限，盆地底部为出地河流的会流点，河床多展宽，发育有心滩，有时地表也出现沼泽化，是地下水的富水段。

在平原为活动断裂围限隐伏的近圆形凹陷，在凹陷范围内，自由曲流，向心状水系

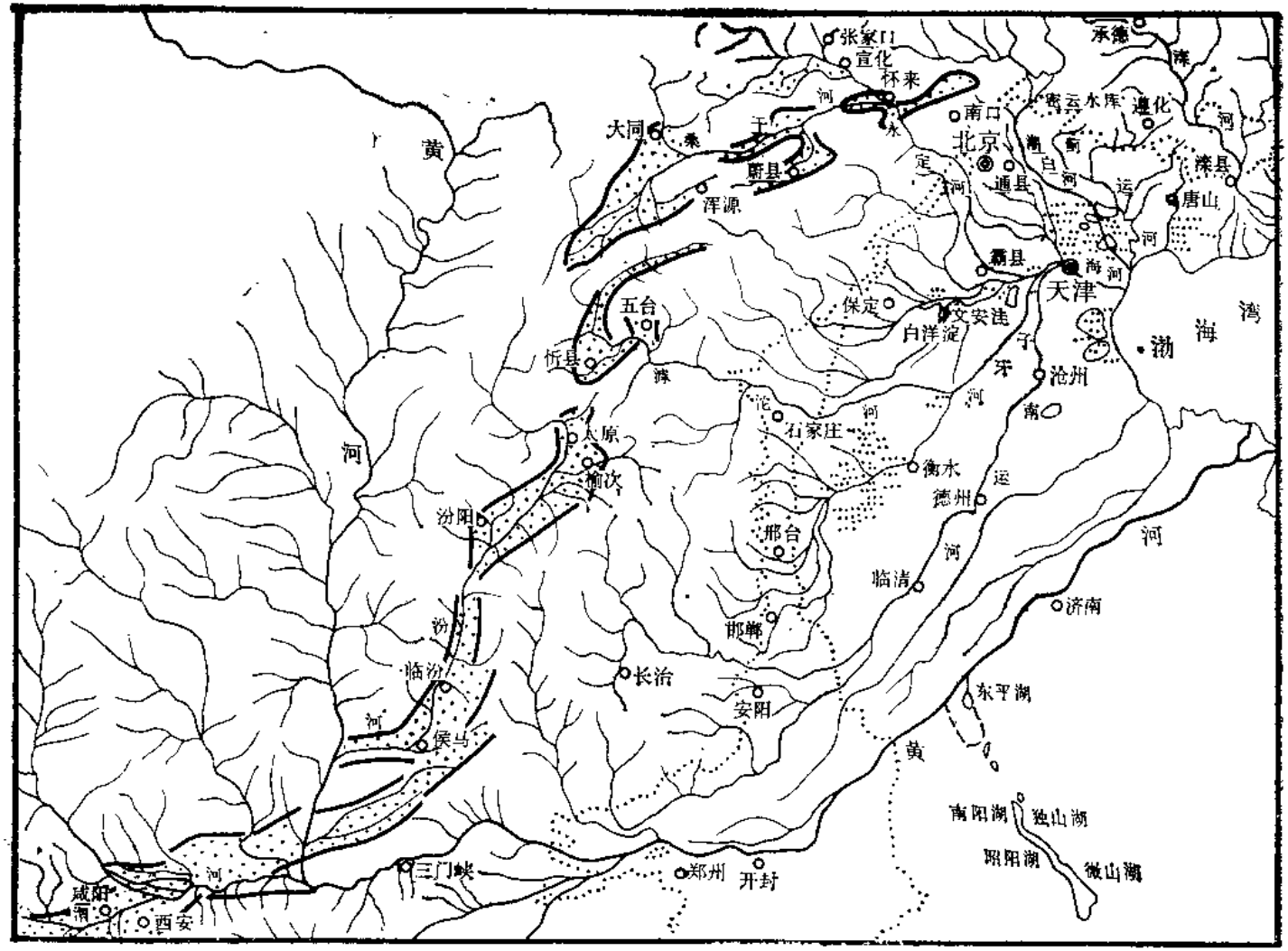


图 8-13　多字型断陷盆地

和扇状水系极为发育，河流的会流点是流水集中圆形凹陷的一种表现。

总之，利用卫星图像可直接解译和识别出许多巨大的新构造，如地壳的变形、地壳的缩短和增厚、新褶皱和逆掩断层等，它们在天山山麓一带的卫星图像上展示得极其清楚。此外，新的隆起、凹陷、正断层、逆断层，特别是很大的扭性和压扭性断层等显示也很清楚。值得注意的是我国大陆构造的新变形，变形的主要原因之一很可能就是这些规模巨大的压扭性断层的新活动。

四、几类地质体的航空遥感特征——以腾冲为例

腾冲处于印度洋板块与欧亚板块构造的结合带附近，地质构造复杂，各类岩浆岩、

表 8-2　腾冲地区主要岩类解译标志

岩类		色调	形态	水系
岩浆岩	玄武岩	色调最深，受风化后色调渐浅	时代最新的中心式火山喷发熔岩，呈不规则的圆形或椭圆形，中心有火山锥，锥顶为凹形火山口。熔岩褶内有波状、舌状、绳状流动构造及同心弧状微细流纹结构。时代较老的火山岩由于风化剥蚀在表面呈现不规则的凹坑，有花生壳状斑纹，熔岩形同垄丘或成盾形。古老海底喷发玄武岩成条带状，带中有零星小圆疙瘩	最新火山岩水系不发育，成稀疏放射状。时代较老的火山岩水系成不规则树枝状、环状，冲沟弯曲，延伸不长，切割不深
	安山岩	较玄武岩色调浅	呈独立锥状或穹丘状圆形及椭圆形高大山体，或成盾形熔岩台地。熔岩层层叠置，似一系列叶片簇成花瓣状，切割较深，鱼背状岭脊延伸平直	放射状水系，主沟平直，支沟发育成羽状。还有环状水系，冲沟短而弯曲，切割较浅，支沟不发育
	花岗岩	明亮浅色调	呈面状分布，山体细碎深切，山岭柔和，山脊断续延伸构成环形，网纹形及脑纹形图案	呈密集树枝状、叶脉状、网状水系，源头略成钳形
	花岗斑岩	浅色调	带状分布，山脊浑圆，山体高大，表面有细碎坑丘之斑状花纹	密集弯曲叶脉状水系
变质岩	片麻岩、粗粒岩、石英片岩	浅灰色调	带状分布，山体高大宽厚，山脊尖棱或成板状，延伸长。切割深，“V”形峡谷发育	平行水系成不规则网格状，主干水系延伸长而平直
	微晶片岩、千枚岩、板岩	色调较深	呈深浅色调相间的条带状分布，山势较片麻岩低，细碎平行沟纹较发育	梳状或“非”字形水系
	白云岩、大理岩	反光的白色	山形高大，山岭浑圆，常孤峰突起于层层小峰环抱中，表面有圆形溶洞影像	水系稀疏，成树枝状，源头常成漏斗形
沉积岩	现代冲积、洪积、坡积、残积砂砾岩及泥岩	色调浅而涩	分布在高山坡脚，沿平坦低坝之河流两岸，呈不规则带状，多数为农田及村庄所据。	平行网纹水系，主河道宽坦，支沟短浅
	第三纪砂砾岩与粘土岩	较花岗岩色调浅	呈低山，山形和缓，切割浅，山岭平而宽坦	支沟较短的树枝状水系
	古生代～中生代砂页岩	深浅相间	呈中高山之带状分布，层状结构于沟谷中有时能见到	主干水系延伸长，支沟成树枝或叶脉状
	碳酸盐岩	明亮浅色调	呈浑圆的孤峰山，表面具光滑细腻感，有圆形溶洞	水系不发育，呈稀疏向心状

沉积岩、变质岩出露齐全。试验区范围为东经 98°～99°，北纬 24°40′～25°20′，面积 7 000 多平方公里。

1．岩石类型的解译分析

(1) 解译结果

岩浆岩、沉积岩、变质岩类的各种岩石在腾冲地区均有分布。这些岩类多数均能通过对遥感图像的分析而得以识别。

利用遥感图像解译岩石类型，主要通过色调和形态结构两方面的标志。前者是不同岩类对太阳入射辐射的反射或本身辐射强弱的直接反映。如在可见光图像上，白云岩和大理岩色调最为明亮，花岗岩和安山岩依次加深。后者则通过地貌形态，水系特征以及岩石本身的结构来反映岩类。腾冲地区主要岩类的解译标志见表 8-2。

(2) 不同遥感资料对比

通过对红外扫描图像的分析，利用 2～14 微米单波段磁带进行数字彩色增强后可以区别龙川江断陷盆地的大多数岩类，若与不同波段的比值图像分析相结合，则区别岩类的效果更好。在小区域试验中，上述红外图像分析的结果（图 8-14）与 1:1 万地质图相比，各类岩石的界线基本相符。

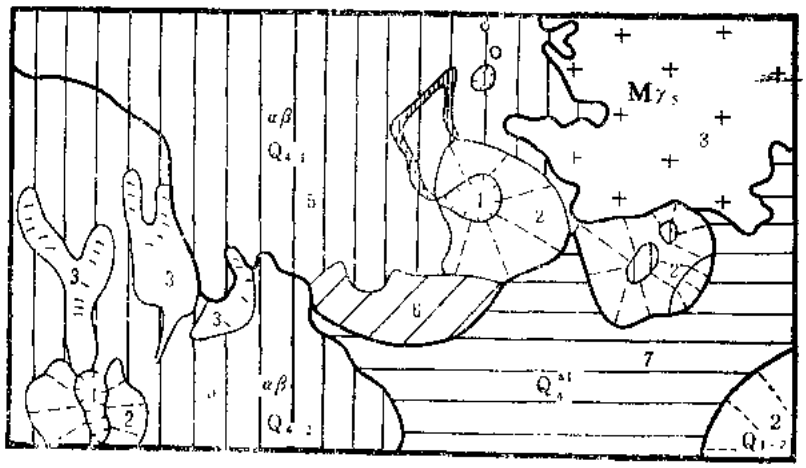


图 8-14　腾冲地区地质地貌解译图

上图符号说明见表 8-3。

表 8-3　腾冲地区地质地貌解译图注记

地貌				地质		
代号	地貌类型	代号	地貌类型	代号	岩性	时代
1	火山口	5	熔岩台地	a_1	冲积物	Q_4
2	火山锥	6	熔岩碎屑堆积坡	$\alpha\beta$	安山玄武岩	Q_{4-2} Q_{4-1}
3	熔岩流	7	冲积平原	ζ	英安岩	Q_{1-2}
4	岩墙	8	花岗岩山地	γ_5	花岗岩	M

2．地质构造分析

遥感图像上的大量线性形迹，或是反映断裂线，或是线性褶皱。对腾冲地区来说，各期火山活动和它的空间分布规律也是构造分析的一个重要对象。通过遥感图像的分析，

可以明显地划分出南北走向的怒山复向斜褶断带、高黎贡复背斜褶断带、腾冲花岗岩块断带及照壁山褶断带，它们以狭长断陷谷为界。同时，在上述构造带的南段也明显地划出了一条最新的清凉山纬向构造带，它是新生代形成的隆起带，重叠在南北走向构造带上，使后者弯转，因而形同弧形构造，在东西向与南北向隆起带重叠的范围内发生了一系列上叠陷落盆地。新生代断陷盆地有两类，褶断带间的狭长断陷盆地，走向南北，形成较早，上叠陷落盆地形成较晚。遥感图像表明，腾冲地区新生代断陷盆地延伸较短。构造断裂的遥感解译标志如表 8-4。

表 8-4 构造断裂解译标志

断　　裂	形　　态
第四纪正断层	第四纪火山岩形成延伸很长的直线形陡崖，如刀切一般平直，阴影明显，沿线有泉眼排布，地下水丰富，使异常茂密生长的植物也成直线状分布
最新活动的地壳断裂	第四纪玄武岩穿透较早形成的花岗岩层在地表喷出，形成火山，火山口沿断裂线排布
近代活动的地壳断裂	在不同岩类的分界上形成窄而深的线形谷地，谷地边界平直，形成陡崖，谷地内堆满新生代玄武岩及河湖相沉积
多期活动的走向断裂	在不同岩类的分界处形成高大三角面陡崖，三角面沿直线整齐排布，延长数十公里，细看之又似波形曲线。在三角面下降一侧，在三角面与相邻三角面衔接处形成大型洪积扇，洪积扇裙边相连，形成与断层三角面平行分布的线状群体。沿此线断续分布大滑坡体
较早形成的大断裂	沿断裂线有明显的沟谷及河道，偶尔还有与其平行的狭长沟系和山脉，断裂线两侧显示出岩性与结构的强烈差异

除线性构造外，在遥感图像上还显示出一些环状构造，如南箐河、勐连街两个环状构造均在花岗岩与火山岩体内，它们与环状断裂及沿断裂的陷落有关。在以腾冲为中心的直径约 60 公里的范围内，玄武岩和安山岩构成的环状构造在遥感图像上也有清晰的显示，这可能与火山和岩浆岩的活动有关。

3．火山活动的解译

著名的腾冲火山群，从上新世至全新世的七百多万年间，经历了两大岩浆的喷发旋回和四个主要喷发期。火山岩遍及全区，出露面积达 668 平方公里。火山活动的次序及各类火山岩的区域分布，在遥感图像上都有很好的反映，并为地面调查所证实。

第三节　地质灾害的遥感分析

在遥感图像上灾害性地质现象的解译效果是较佳的。对一些有明显地貌及色调反映的地质灾害，如滑坡、崩塌、岩堆、泥石流等均可直接按影像确定类型及其范围，还可进一步研究其成因和分布规律。

在卫星图像上，虽然对灾害性地质现象的解译效果较好，但是当灾害性地质现象在卫星图像上所反映的影像过小时，则容易漏划或误判。同样性质的灾害性地质现象，在卫星图像上由于它本身的色调与其周围的背景色调构成的反差不同，因此可解译程度也有很大差别。如地表为均匀的浅色调时，泉眼易于解译，但在深色调或地表景观复杂时则较难解译。

由于灾害性质地现象的发展过程比较快，因此，利用不同时间成像的图像进行对比解译，往往可对灾害性地质现象的发展趋势、特点及其危害程度作出理想的评价。

一、滑坡解译标志概述

各类滑坡在航空像片上常用灰阶（色调）、平面形态与滑坡表面特征进行识别和分类，确定其规模大小、发育阶段等。解译标志可分4大类。

1．平面形态

平面形态标志是利用航空像片直观地迅速判断一个地区有无滑坡存在的重要标志之一，大体可归纳为以下6种类型：①弧形滑坡。包括人们常称的弧形、椅形、马蹄形、新月形等各种弧形形态的滑坡；②匙形滑坡；③梨形、漏斗形和葫芦形滑坡；④舌形滑坡；⑤不规则状滑坡。包括锯齿状、花瓣状、近多边形、方形等各种不规则形态的滑坡；⑥界线不明显的滑坡。在残积层中发育的滑坡具有前4种平面形态；而第三系地层及其它岩层中发生的基岩滑坡和第四系河湖相沉积物组成的阶地上的滑坡常具不规则形态；形成时间很久的老滑坡周界，常因剥蚀而变得较浑圆，有的呈围椅状、漏斗状外形。当滑体移动距离不大，错壁高于5米时，常呈不明显的平面形态。

2．灰　阶

滑坡形成后，沿其周界总是具有高度不等的后壁与侧壁。而滑体部分总是相对于四周稳定山坡的高度要低，只有当滑体进入较平坦地带或河床时才较周围地势高，形成隆起的小丘。这一特征使滑坡的灰阶总是与稳定山体之间有着一定的色差，尤其沿滑坡周界总是有一个与滑坡平面形态特征相似的深色色环，从而较好地显示出了滑坡的存在。形成时间很长、并已处于稳定状态的老滑坡，一般为较均一深色调；近期形成的新滑坡，具有灰色、浅灰色色调，如滑体色调较四周略深（常表明滑体富水），而又具明显粗糙感时，表示该滑体仍在活动中；刚发生不久的活动滑坡，最常见的色调为灰白色、白色色调，一般表示滑坡发生时间不超过5年。白色、灰白色常显示滑床、滑坡裂缝。

3．水系特征

绝大多数滑坡总是分布在河流两侧，而且多数滑体的舌部都伸入河床与沟谷之中，并迫使水流沿滑体舌部发生弯曲进而改变其原有河道形态，因此，河流突然发生大转变的地段，间接显示有滑坡存在的可能。而泥石流沟的源头总是显示有滑坡存在的。

4．滑坡表面特征

在立体镜下观察和判断航空像片上的滑坡，多数情况下可见具有同平面形态特征大致相类似的不同类型的滑坡陡坎，规模大的滑坡有时可见弧形裂缝和滑坡后缘洼地。多数滑坡可见1～3级滑坡平台和鼓丘。由于滑坡形成时间的先后不同，侵蚀破坏程度也不相同，所以滑体表面形态也是多样的，大致可归纳为以下6种类型：①平坦的；②平缓起伏的；③块状的；④阶梯状的；⑤崎岖不平的；⑥揉皱状的。只有在滑坡表面为平直的斜坡并顺层面产生滑动时，可出现平面形的表面形态。

二、滑坡解译

1．航空像片上的滑坡特征[31]

滑坡发生在具有一定滑动条件的斜坡上。它具有明显的地貌特征（图8-15），在航

空像片上一般较易发现。其解译特征为：①滑坡周界一般呈簸箕形，并显得较清楚；②滑坡壁（环岩）多呈围椅状并较陡立；③滑坡体下方由于土体挤压，往往可见到高低不平的地貌，低洼处形成封闭洼地，往往积水，呈现较深色调；④在滑坡前缘可见到滑坡体呈舌状，有时表层有翻滚现象而出现反向坡；⑤滑坡阶台，位于滑体上方，往往形成反向坡，低洼处常为积水洼地；⑥滑坡裂缝，包括拉张裂缝、剪切裂缝、鼓张裂缝、扇形张裂缝。拉张裂缝位于滑坡体上部，多呈弧形，和滑壁的方向大致吻合或平行，均为张开裂缝；剪切裂缝分布在滑坡中部的两侧；在此裂缝的两侧常伴有羽毛状裂缝；鼓张裂缝分布在滑坡体下部、形成张开裂缝，其方向垂直于滑体方向；扇形裂缝，分布于滑体中下部，尤其以滑坡舌部分为多，此裂缝在滑体中部近于平行活动方向，在滑坡舌部分成放射状，称为扇形张裂缝；⑦滑坡体上的树木有时呈醉林或马刀树，甚至有枯死现象；⑧滑坡舌、洼地和环形沟谷有泉水出露；⑨滑坡体迫使河流向外凸出。

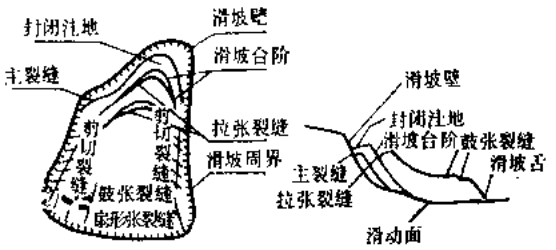


图 8-15　滑坡要素平面及断面示意图

上述列举的是发育完全的典型滑坡的解译标志，在实际工作中可能只遇到其中的某几项。

2．新老滑坡影像解译

至于滑坡发育阶段的划分，目前有关部门尚无一较确切的时间衡量尺度，通常根据滑坡体被侵蚀和剥蚀的程度、植被发育程度，航空像片的灰阶等综合因素分为古滑坡、老滑坡和新滑坡三种类型。

老滑坡一般具有较均匀的深色色调，当滑坡体上植被被破坏、垦为耕地时，则呈灰色，甚至灰白色色调。滑坡周界多为弧形浑圆平面形态。沿滑坡周界发育冲沟，有时呈双沟同源特殊水系，滑坡舌部较浑圆，河流绕舌部而过。多数滑体上有居民点，一般讲，有居民点的滑坡表明属稳定的老滑坡。

新滑坡，包括刚发生的和发生时间不太长、植被尚未大量生长的滑坡。一般具有灰白色、白色色调。当滑坡体上残留有植被时，滑体呈浅灰色、灰色，滑床与裂缝呈灰白色、白色，组成斑块状结构的灰阶。新滑坡的周界具较清晰的棱角，常可见后缘有裂缝（多呈白色细纹形）。新滑体的表面多呈揉皱状、参差状并有粗糙感，富水时滑体色较深。滑体前缘不规则，河流也随之弯曲。

3．古滑坡的解译

古滑坡有如下解译特征：①后壁一般较高，有时生长树木；②滑坡体外表平整、无明显裂缝，滑坡台阶宽大且夷平；③滑坡两侧的自然沟切割很深，有时出现双沟同源；④滑坡舌已远离河水，有些舌部外已有不大的漫滩阶地；⑤滑坡前缘斜坡较缓，长满树木，无松散坍塌现象，前缘迎河部分可见到大弧石；⑥滑坡体上垦为耕田，甚至有居民点分布。

4．活动滑坡的影像特征

活动滑坡的影像特征有：①滑坡体地形破碎，起伏不平，滑坡表面有不均匀陷落的局部平台；②滑坡前缘有小坍塌，并受河水冲刷；③山坡上无巨大直立树木，且有新生冲

沟；④滑坡地表湿地的水泉发育；⑤斜坡较陡且长，虽有滑坡平台，但面积不大，有向下缓倾的现象；⑥有时可见到滑坡体上的裂缝。

5．滑坡的运动特征

不同成因、不同类型的滑坡，其运动方式是不一样的，它们在航空像片上显示的平面形态和滑体表面特征也是不一样的。如同样是发生在堆积层中的滑坡，当滑体保持原有结构和构造等特征时，滑体表面多呈平缓起伏或阶梯状，长、宽比较近一致或为横长式时，滑坡的运动方式以推动式或牵引式向前缓慢运动。但是，当滑体中富含水而呈半流塑状或流塑状时，其运动形式表现为滑动或者快速向前流动。当蠕动或向前运动时，此时滑体长度往往大于宽度，平面形态多呈舌状、长条状、匙状等，滑体表面多呈揉皱状，即如前所述的小型蠕动式半流塑状滑体。至于崩塌式滑坡，其表面形态多为不规则状，滑体远离滑床，表现为大片白色色调。地形上多处边坡大于45°的山体的上部位置，滑体表面崎岖不平。

因此，按滑坡运动性质可把滑坡分为：①流动式滑坡，包括蠕动式滑坡；②缓慢运动的滑坡，包括推动式滑坡和牵引式滑坡；③崩塌性滑坡。

6．滑坡实例分析

腾冲地区龙川江西岸、城子山以南，以页岩、湖相沉积为基底的第三级阶地面上有两个向龙川江方向滑动的大滑坡（图8-16）：大崩垄滑坡和三甲街滑坡（图版XVI-2）。前者范围为1.7×1.5平方公里，滑坡体上滑走裂纹呈弧形，有向圆心方向汇聚的趋势，即向流经滑坡体的河流滑动；后者范围较小，1.7×1.0平方公里，滑坡体的裂纹呈平行排列，向龙川江滑动。在下午的红外图像上，这些形态十分清楚，滑坡体的各台阶面呈灰色，面滑走裂纹为黑色（热阴影）。说明滑坡是在地表水渗入地下并补给龙川江的小河的水力运动条件下，以页岩层面和湖相粘土为滑动面，自西向东即向龙川江滑动的。

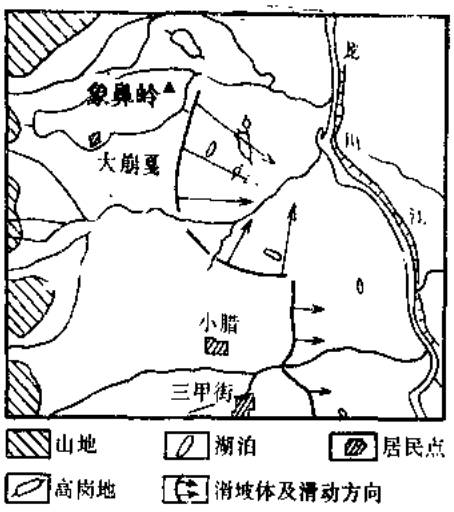


图8-16　大崩垄和三甲街的大滑坡

三、泥石流解译

泥石流是持续时间短、突然发生、夹有泥沙与块状等大量固体物质的一种特殊水流。泥石流的形成必须同时具备三个条件：汇水区有丰富的松散固体物质；有陡峻的地形和较大的纵坡；流域中上游有强大的暴雨、急骤的融雪或融冰等。上述三要素中前二者可通过航空像片直接解译，后者可借航空像片间接标志解译。

泥石流的形态在航空像片上极为醒目，泥石流沟的类型通过影像相关分析也比较容易解决。一般标准型的泥石流流域能看到三个区：形成区、流通区和堆积区。形成区一般山坡陡峻，影像杂乱，色调极不均匀，岩石风化严重，松散固体物质丰富，滑塌标志明显；流通区沟床较短直，纵坡比形成段缓，但比堆积段陡，沟谷较窄；堆积区位于沟谷出口处，纵坡平缓，常形成冲积扇，冲积扇轮廓明显，色调浅，扇面无固定沟槽。

一般活动性泥石流沟，流域内断层影像明显，岩层破碎、崩塌、滑坡影像极多，冲沟发育，水土流失严重。水源区森林覆盖率高，上游沟谷横断面呈“V”型，中下游为直线状宽谷，冲积扇轮廓较明显，但不固定，色调浅、未见明显沟槽。沟床纵坡陡，沟道不稳定，中上游多滑坡体；中下游地区满布新沉积物，无植被生长，呈浅色调。

泥石流的主要影像特征见表8-5

表 8-5 泥石流沟谷类型解译表[3]

	泥石流沟	间歇性泥石流沟	清水沟
地质地貌标志	流域内断层影像明显，岩层破碎，节理发育 崩坍、滑坡和沟岸崩塌影像极多。呈浅色 崩方面积率高 坍塌区坡面上的侵蚀细沟十分发育、大小冲沟众多。沟壑密度大，水土流失严重	断层影像明显。滑坡、崩坍影像较少 坍塌方面积率低 冲沟甚少、坡面覆有植被 水土流失较少	流域内无明显的断层破坏。很少滑坡、崩塌影像。呈深色调。地表侵蚀不显著，水土不流失
沟谷形态标志	上游沟谷横断面呈V型， 中下游为直线状宽谷 冲积扇具不规则扇形影像，向下游延伸，白色调，细腻感。有时具有多次泥石流龙头停积的影像	除汇流区外，流通区也覆有稀疏林木 以稳定的宽沟为主 冲积扇形态较大而完整，相互连成裙状 其上有耕地与村庄，呈灰色调	全流域植被良好，呈深色调。流域上下均为V型窄谷 冲积扇小或不明显。上有森林、耕地等，呈深色调
沟床稳定性标志	沟床纵坡陡，河道不稳定。中上游多崩塌体，下游沟床具阶梯状横断面。水道摆动改道频繁	沟床纵坡较缓，水道稳定少动	沟床有陡有缓，河道固定
沉积物标志	中下游地区满布新沉积物，无植被，具白色调 呈宽带状影像，宽带向沟内渐变窄	以老泥石流沉积物为主，上布耕地与森林，色调深	沉积物无明显分布的表现

目前，关于泥石流的影像特征研究，已进入定量分析阶段。在新疆阿拉沟地区进行的泥石流沟形态特征定量研究，证明了用航空像片和由电子计算机控制的立体分析仪进行泥石流灾区流域形态调查研究非常有利，不仅解译准确，而且易获得大量沟谷定量数据，并能快速进行泥石流类型特征、运动程度的定量划分，为泥石流防治提供科学资料，做好预测预报工作。

四、火山和地震监测

利用卫星资料预报火山、地震，主要在于它能够持续地进行观测和及时发送资料。

1. 火 山

新老火山及其各类岩体的构造是一种圆形构造，不论其规模大小，在卫星图像上都是醒目的。平面形式为暗色突起的圆丘，其顶部有圆形火山口凹陷，当火山口中有风化碎屑时则呈浅色色斑，新老火山往往成群出现。如内蒙达里诺尔附近的第四纪火山群，浙江会稽一带的中生代火山群，在卫星图像上都很直观。基性熔岩除其形态外，还表现

为色调较深，水系稀疏等特点。

古火山在航空像片上常呈现为周缘由山脊环抱，当中是马蹄形洼地的地貌，受裂隙控制发育有放射状水系，并可找到次火山岩。

一座火山喷发，就会形成一系列火山地貌，一次火山活动，就会造成一次火山堆积。以腾冲地区为例，它是一个地壳特别活跃的区域，燕山末期形成的龙川江、腾冲、梁河等断裂带在新生代仍有强烈活动，腾冲火山群就分布在这些断裂带上，这些断裂带还控制了腾冲地区的火山和热泉。从影像上可以看出，火山群带状分布是基底构造在地貌上的反映，水系有规律的呈直线状排列是构造带的地面显示。

长白山也是一座多次活动的火山（图版XV-2）。火山锥体位于熔岩高原中心偏南，火山锥顶有一个巨大的钟状火山口，集水成湖，名为“天池”，天池东西长3.5公里，南北宽4.5公里，水面海拔2 190米，池心水深达300米以上，是全国湖泊中最深的一个。

2. 地　震

地震的孕育和发生与活动构造密切相关。许多资料表明：多组（不是二三组）主干断裂或群断裂的复合部位，横跨断陷盆地或断陷盆地间有横向构造穿越的部位以及垂直差异运动和水平错动的强烈部位（如在山区表现为构造地貌对照性强烈，在山麓带表现为凹陷向隆起转变的急剧，在平原表现为水系演变的活跃）等，是多数破坏性强震发生的有利部位，即发生破坏性强震特定的构造背景，因为此处既有利于应力积累，又有利于应力释放。例如1976年7月28日发生的7.8级唐山大地震，就是在五组主干断裂交汇的构造背景上发生的。对于这一特定的构造背景，震前却很少了解，而在卫星图像上却表现得十分清晰。因此，为了预报地震，特别要深入揭示和监测活动构造带中有利于孕育和发生破坏性强震的特定的构造背景。

我国大陆受欧亚板块与印度板块的挤压，主应力为南北向压应力。同时，在地球自转（北半球）顺时针扭动和大陆飘移、海底扩张、太平洋板块的俯冲作用的共同影响下，形成扭动剪切面，主要表现为我国大陆被分割成三个大的基本地块，即西域地块、西藏地块、华夏地块。各地块之间接合部位，多为深大断裂带、缝合线或强烈褶皱带。这里是地壳薄弱地带，新构造运动及地震活动最为强烈。大量事实说明，任何破坏性强震都发生在特定的构造背景。对于我国这样一个多震的国家，利用卫星图像进行地震地质研究，尽快尽早地揭示出可能发生破坏性强震的构造背景，合理布置观测台站，有针对性地确定重点监视地区，是一件刻不容缓的任务。

参 考 文 献

[1] 北京大学地理系地貌专业遥感研究组编，地球资源卫星像片的地质解译，地质出版社，1978年。

[2] 陈慧华主编，遥感地质学，地质出版社，1984年。

[3] 马鸿良、顾恒岳、奚敏敏等编著，国土资源遥感技术，四川科学技术出版社，1989年。

第九章　土地利用现状遥感

土地利用信息，对于国家和地方的计划管理活动是十分重要的。遥感在土地利用调查中的应用，是提出最早、研究最多的一个领域。与人工调查相比较，遥感所得的结果精度高，可以减少人为因素所造成的误差，调查成本和调查速度也远远胜过人工调查。随着航空、航天遥感技术的迅速发展，我国的土地利用遥感方法和技术研究已具相当的规模和水平。

我国所进行的土地利用分类，其目的是为分县查清全国各种土地利用分类面积、分布和利用状况，为制订国民经济计划和有关政策，进行农业区划和规划，因地制宜地指导农业生产，建立土地统计和登记制度及全面管理土地等项工作服务。其分类的主要依据是土地的用途、经营特点、利用方式、开发程度和覆盖特征等因素。

第一节　土地利用现状分类

一、土地利用概念

土地就是依地理学的观点所划分出来的地域单元，它是由气候、土壤、地貌、水文、植物和动物群体等自然要素组成的自然综合体和人类过去与现在生产劳动的产物。土地利用是建立在自然资源基础上的社会和经济的相互统一体。

土地利用和土地覆盖有时是一致的。例如，在种植业用地中，二者基本上是一致的。但是，仍有细微的差异。例如，从空中看拦河坝很清楚，而土地利用中所说的拦河坝，则通常包括拦河坝周围作为拦河坝用地一类登记的全部土地。又如铁路用地，不仅仅指线路、车站，而且还包括线路两侧不可利用土地及站前广场。土地利用和土地覆盖二者有时是不一致的。例如，地面有某个物理目标是钢筋混凝土建筑物，是用来生产制造工业用品的，则该建筑物属工业用地；如利用来贩卖商品，则属商业用地等，即在不同的情况下，其土地利用是不同的。但遥感只能判断出它是建筑物，而不能判断出它的用途。

由此可见，土地利用和土地覆盖是明显不同的。遥感信息直接反映的是土地覆盖。有时根据土地覆盖结合非遥感信息可以推断出土地利用，但并非经常如此。所以应用遥感技术进行土地利用调查时，首先必须划分好用地类型。只有在用地分类与土地覆盖较接近时分类才较为理想，分类精度也才会高。

二、土地利用现状分类的主要依据和原则

土地各部分由于本身的组成、所处位置和环境的不同，相互间存在着一定的差别，这种相互间的差别，往往导致土地生产能力和利用方式上的差异。根据土地的差异性，依土地利用特点和从属关系，划分若干类型，建立规则的排列顺序，就是土地利用分类。目前我国应用的土地利用分类系统是1984年全国农业区划委员会制定的《土地利用现状调查技术规程》（简称《规程》）。该《规程》的分类项目与土地覆盖接近，使用较方便。

系统、全面和准确地占有尽可能多的数据是分类的目标，是进行土地规划、管理和

决策的基础。为此，一个较好的数据分类体系，是保证土地利用遥感数据的精度及不同系统间信息共享与交流的桥梁。分类原则可以概括为下述五条 。

1．科学性原则

土地利用分类体系必须客观而充分地反映土地规划与管理所研究和描述的对象及其内部各部分之间的相互联系、相互作用的状态、过程与规律。

2．现实性原则

在建立土地利用分类体系时，各级分类的确定还要充分考虑其数据来源、数据可获得性及像片的可解能力，这是系统数据分类的现实性原则。根据这一原则，不仅各级分类应尽可能和已有的数据来源及相应的常规分类体系取得一致，而且还应该在“够用”的前提下，尽可能减少数据分类的级别和数量。

3．规范化原则

考虑到分类系统的适用性，因而系统的类型要简明，标准易判别，含义要准确，命名要通俗，层次要清楚。在《规程》中，对土地利用现状的分类做了明确的规定，一级类型主要以土地用途为划分的基本依据，二级类型以利用方式为主要标准。另外，土地利用现状分类应尽可能与计划统计部门和生产业务部门通常使用的名称、概念和含义一致，以便于其它部门使用。

4．地域性原则

我国幅员辽阔，南北差异大，全国的统一分类不可能完全反映各地的特殊地类。具体区域的土地利用现状分类，在保持统一性的前提下，可以有所增减，以反映本区域开发的特色，但不能打乱全国统一的编码顺序及其代表的地类。

5．系统性原则

土地利用分类既然是一个体系，就应该有一个科学的编码系统，以利于建立数据库，实现数据和信息的交流与共享。

三、土地利用现状分类及其含义[1]

全国土地利用现状采用两级分类，统一编码排列。一级类型根据土地主要开发用途分为8大类：耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地。二级类型分为46类。各地根据实际需要还可细化，进行三四级分类(表9-1)。

四、调查实例

下面以唐山市为例，介绍进行土地利用现状调查的工作步骤。

(1) 将1986年5月25日的SPOT多波段影像进行彩色合成(图版III-6)，并放大成1:5万的图像，作为工作基础资料。

(2) 收集研究区包括地理位置、地质、地貌、土壤、植被、水系等自然环境背景材料和历史沿革记载，以了解研究区的自然地理状况和社会经济发展的趋势。

(3) 土地利用涉及土地覆盖状况，由区域作物的农事历可以了解遥感图像成像时地面各种作物所处的生长期和光谱特征，并由此推断它们的影像特征(表9-2)。

(4) 按照《规程》的分类系统，结合唐山市的实际情况和图像可解能力，唐山市土地利用现状采用三级分类。一二级类型编码同《规程》，三级类型则是在二级类型编码后添

表 9-1 土地利用现状分类及其含义

编码	一级类型	二级类型	含义
1	耕地		种植农作物的土地，包括新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地；以种植农作物为主间有零星果树、桑树或其它树木的土地；耕种三年以上的滩地和海涂。耕地中包括南方宽<1.0米，北方宽<2.0米的沟、渠、路、田埂
11		灌溉水田	有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉，用以种植水稻、莲藕、茭草等水生作物的耕地，包括灌溉的水旱轮作地
12		望天田	无灌溉工程设施，主要依靠天然降雨，用以种植水稻、莲藕、茭草等水生作物的耕地，包括无灌溉设施的水旱轮作地
13		水浇地	指水田、菜地以外，有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉的耕地
14		旱地	无灌溉设施，靠天然降水生长作物的耕地，包括没有固定灌溉设施，仅靠引洪漫灌的耕地
15		菜地	种植蔬菜为主的耕地、包括温室、塑料大棚用地
2	园地		种植以采集果、叶、根、茎等为主的集约经营的多年生木本和草本作物，覆盖度>50%，或每亩株数大于合理株数70%的土地，包括果树、苗圃等用地
21		果园	种植果树的园地
22		桑园	种植桑树的园地
23		茶园	种植茶树的园地
24		橡胶园	种植橡胶树的园地
25		其它园地	种植可可、咖啡、油棕、胡椒等其它多年生作物的园地
3	林地		生长乔木、竹类、灌木、沿海红树林等林木的土地。不包括居民绿化用地，以及铁路、公路、河流、沟渠的护路、护岸林
31		有林地	树木郁闭度大于30%的天然、人工林
32		灌木林	郁闭度大于 40%的灌木林地
33		疏林地	树木郁闭度 10～30%的林地
34		未成林造林地	指造林成活率大于或等于合理造林株数的 41%，尚未郁闭但有成林希望的新造林地（一般指造林后不满 3～5 年或飞机播种后不满5～7年的造林地）
35		迹 地	森林采伐、火烧后，五年内未更新的土地
36		苗 圃	固定的林木育苗地
4	牧草地		生长草本植物为主，用于畜牧业的土地
41		天然草地	以天然草本植物为主，用于畜牧业的土地
42		改良草地	采用灌溉、排水、施肥、松耙、补植等措施进行过改良的草地
43		人工草地	人工种植牧草的草地，包括人工培植用于牧业的灌木
5	居民点及工矿用地		城乡居民点，独立居民点以及居民点以外的工矿、国防、名胜古迹等企事业单位用地，包括其内部交通、绿化用地
51		城 镇	市、镇建制的居民点，不包括市、镇范围内用于农、林、牧、渔业生产的土地
52		农村居民点	镇以下的居民点用地
53		独立工矿用地	居民点以外独立的各种工矿企业、采石场、砖瓦窑、仓库及其它企事业单位的建设用地，不包括附属于工矿企事业单位的农副业生产基地

续表

编码	一级类型	二级类型	含义
54		盐田	以经营盐业为目的，包括盐场及附属设施用地
55		特殊用地	居民点以外的国防、名胜古迹、风景旅游、墓地、陵园等用地。
6	交通用地		居民点以外的各种道路及其附属设施和民用机场用地，包括护路林
61		铁路	铁道线路及站场用地，包括路堤、路堑、道沟、取土坑及护路林
62		公路	指国家和地方公路、包括路堤、路堑、道沟和护路林
63		农村道路	指农村南方宽≥1米，北方宽>2米的道路
64		民用机场	民用机场及其附属设施
65		港口、码头	专供客、货运船舶停靠的场所，包括海运、河运及其附属建筑物，不包括常水位以下部分
7	水域		指陆地水域和水利设施用地，不包括滞洪区和垦殖三年以上的滩地、海涂中的耕地、林地、居民点、道路等
71		河流水面	天然形成或人工开挖河流常水位岸线以下的面积
72		湖泊水面	天然形成的积水区常水位岸线以下的面积
73		水库水面	人工修建总库容≥10万立方米，正常蓄水位岸线以下的面积
74		坑塘水面	天然形成或人工开挖蓄水量<10万立方米常水位岸线以下的蓄水面积
75		苇地	生长芦苇的土地，包括滩涂上的苇地
76		滩涂	包括沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮侵地带，河流、湖泊常水位至洪水位间的滩地，时令湖、河洪水位以下的滩地；水库、坑塘的正常蓄水位与最大洪水位间的面积。常水位线一般按地形图、不另行调绘
77		沟渠	人工修建，用于排灌的沟渠，包括渠槽、渠堤、取土坑、护堤林。指南方宽≥1米，北方宽≥2米的沟渠
78		水工建筑物	人工修建，用于除害兴利的闸、坝，堤路林、水电厂房、扬水站等常水位岸线以上的建筑物
79		冰川及永久积雪	表层被冰雪常年覆盖的土地
8	未利用土地		目前还未利用的土地，包括难利用的土地
81		荒草地	树木郁闭度<10%，表层为土质，生长杂草，不包括盐碱地、沼泽地和裸土地
82		盐碱地	表层盐碱聚集，只生长天然耐盐植物的土地
83		沼泽地	经常积水或渍水，一般生长湿生植物的土地
84		沙地	表层为沙覆盖，基本无植被的土地，包括沙漠，不包括水系中的沙滩
85		裸土地	表层为土质、基本无植被覆盖的土地
86		裸岩、石砾地	表层为岩石或石砾，其覆盖面积>50%的土地
87		田坎	主要指耕地中南方宽≥1米，北方宽≥2米的地坎或堤坝
88		其它	指其它未利用土地，包括高寒荒漠苔原等

表 9-2 SPOT 彩色合成图像的植物分类

作物		作物生长期	解译标志
大作田物	春小麦	扬花	鲜红
	冬小麦	抽穗	鲜红
	早稻	未插秧裸土地	浅青色
		浇水泡田	暗青一黑色
	春玉米	拔节	浅红
	春高粱	拔节	浅红
	花生	出苗	黄绿
林地	苹果树	展叶盛期	鲜红
	桃树	新栽的树	黄绿
	柳树	展叶盛期	酱红
	杨树	展叶盛期	鲜红

表 9-3 唐山市土地利用现状 SPOT 彩色合成图像解译标志与三级类型含义[2]

编码	一级类型	二级类型	三级类型	解译标志	含义
1	耕地			一般具有规则的几何形态，位于城市外围	
11		灌溉水田		通常分布在较低的洼地区。未插秧的裸土地为淡青色，浇水泡田呈暗青色一墨色，笔直的田埂渠系隐约可见	
14		旱地		成像时没有种植作物的耕地，包括村庄周围的空地，有一定的规则形态，成垅成畦	
141			麦地	扬花期，呈鲜红色长方形图斑，大面积分布，其内零星嵌有青色村庄	常年种植麦子或小麦间种春玉米、春高粱
142			大田作物	拔节期，呈浅红色和黄色相间图斑，行垅清晰	种植一季高粱、玉米、杂粮的旱地
143			花生地	沙地，正值花生出苗期，黄绿色斑点	种植经济作物花生
15		菜地		红黄色矩形小斑块，呈栅栏状图案，分布在城镇附近	
21		果园		常有规则的行距和株距，周边清晰，红色调	
211			苹果园	展叶盛期红鲜，色，树冠形态清晰，纹理有一定粗糙度	种植苹果树的果园
212			桃园	新栽树，呈黄绿色斑点	栽培桃树的园地
213			葡萄园	鲜红色，绒状纹理	
31		有林地		鲜红色为主，通常树冠连片，周边可见树冠阴影	
32		灌木林		鲜红一暗红色，周边不规则，树冠形态和背景色调交错，针叶林为暗红色，阔叶林为鲜红色	
36		苗圃		树冠小，呈鲜红色散点状，周边规则、行距、株距清晰	
51		城镇		房屋密集，道路纵横交错，青色为主，规模大	
511			城市居民点	市区内道路布局清楚，建筑类型由其平面配置和建筑材料等识别，大面积	市区和郊区范围内实际建设用地
512			县、镇居民点	占地面积比城区小的居民点	县、镇行政范围内实际建设用地
52		农村居民点		农村居民点，通常有1～2个水坑塘、晒场，宅旁绿化好	
521			新建农村居民点	房屋排列较规则	
531			砖厂	有一场地（淡青色上有矩形黄斑规则排列）烟囱（白点状）和砖窑	厂区用地，不包括取土坑
532			灰窑	一般靠近石灰岩低山丘陵分布，建有窑，冒白烟	烧石灰的窑

续表

编码	一级类型	二级类型	三级类型	解 译 标 志	含 义
551			国防用地	机场，由飞机跑道、机窝等布局识别	军营、军用机场用地
553			风景区	由红色树木、小丘、蓝色观赏水池构成，树木用地占40～50%	公园、花园等地
554			陵园	建筑布局较特殊，容易识别	纪念革命先烈而建的陵园
555			墓地	往往是大土包	坟墓占地
61		铁路		等宽，弧形、光滑条带，暗青色，在一定部位呈梭状，为多条线型组合体，是车站，曲率半径较公路大	
62		公路		等宽，有一定曲率半径的条带，沥青路面呈蓝色，沙石路面为灰白色，水泥路面为亮白色，路两侧有红色护路林，一般位于市区外围	
7	水域			均以特有的蓝色和自然形态加以区别	
71		河流水面		呈深蓝一蓝黑色流线型条带，弯曲自然，两岸依河有绿化带，河上有桥梁	
72		湖泊		本区因挖煤造成地面塌陷，常积水成湖，此类湖位于主要采矿点附近，呈深蓝色不规则斑块，纹理均匀	
74		坑塘		深蓝一黑色斑块，纹理均匀，边界圆滑闭合，规模较小	
75		苇地		有特殊暗红紫色，分布在水域附近	
81		荒草地		呈淡黄色（较稀疏）	
84		沙地		植被稀疏，种花生	
85		裸土地		按其颜色和所处地貌部位圈定	
86		裸岩，石砾地		同上	
88		其它		同上	

加1位数字，例如果园(21)是二级类型，其进一步划分在唐山市有苹果园、桃园和葡萄园，分别用211，212和213表示。三级类型的编码、名称及含义见表9-3。

(5) 根据其它地物实测光谱特征及其在SPOT彩色合成图像上的影像，建立解译标志(表9-3)。

(6) 根据分类系统和解译标志，在室内对1:5万SPOT彩色合成图像逐块进行解译，并标注分类编码，完成解译草图。

(7) 野外实地核对解译界线，修正草图，正式清绘成图(图9-1)和编写报告，并进行各种指标统计。

由于经过几何精纠正的SPOT图像空间分辨率和平面几何精度较高，影像的波谱和空间特征显示甚好，因而对土地利用现状调查与制图十分有利。从图像上可分出7个一级地类，27个二级地类和36个三级地类。从1:5万SPOT彩色合成图像上，最小可识别的两旁栽有树木的街道和道路宽度为7～8米，最小线性水体宽度为10米。将SPOT彩色合成图像土地利用现状解译结果与1980年航测编制的1:5万地形图进行对比可以发现，唐山市地震后发展迅速，城区以北向扩展为主，工业呈组团式布置，城市用地为东工西宿结构，郊区以大田作物为主。

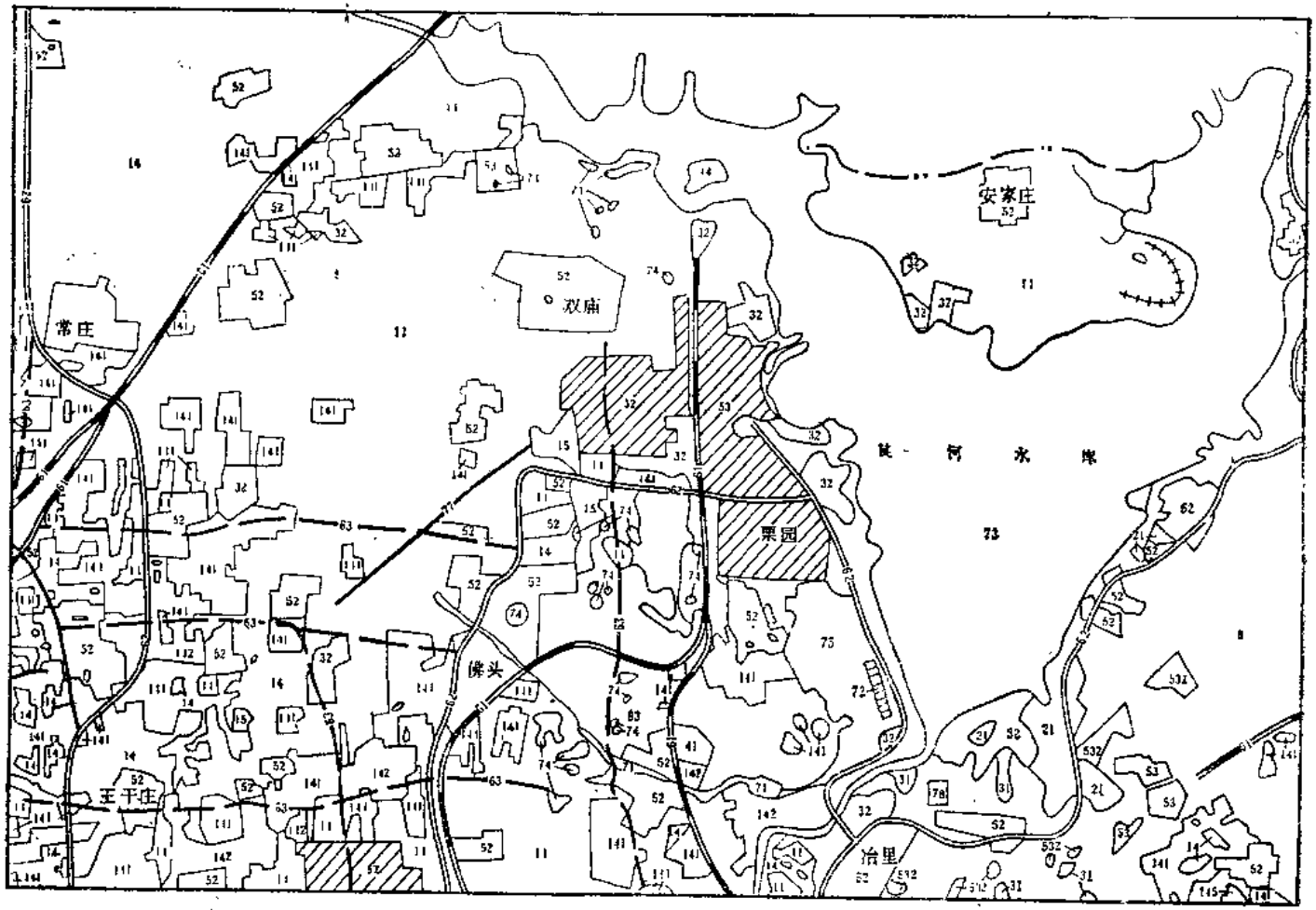


图 9-1　唐山市北部土地利用现状调查图

第二节　土地利用现状指标含义及计算方法

一、土地开发程度

遥感信息和非遥感信息相结合，定量计算土地开发利用程度，一般有以下几个指标供因地制宜地选择。

1．垦殖系数

垦殖系数系指耕地面积与土地总面积的比重，用以表明某地区的土地开发程度及其种植业发达程度。

$$垦殖系数 = S_1/S \times 100\%$$

式中：S——土地总面积；

S_1——耕地面积。

2．森林覆盖率

森林覆盖率系指森林面积(按成林郁闭面积计）占土地总面积的比重，说明某地区拥有森林资源的丰富程度。

$$森林覆盖率 = S_2/S \times 100\%$$

式中：S_2——森林面积。

3．森林覆殖率比

森林覆盖率比，用以分析比较某地区的森林覆盖率水平。

$$森林覆盖率比 = B_1/B$$

式中：B——全国森林覆盖率；

B_1——该地区森林覆盖率。

4．载畜量

载畜量系指每平方公里草原上的牲畜头数，用以说明牧区草原利用程度。

$$载畜量 = D/S_3$$

式中：S_3——草原面积；

D——各种牲畜总头数。

5．人地比例指标

人地比例指标是指按人口、劳动力平均占有的土地、耕地和农用地面积，用以表示人地比例关系。

$$人均土地(或耕区、农用地) = S(或\ S_1\ 或\ S_4)\ /M$$

$$劳动力均土地(或耕地、农用地) = S(或\ S_1\ 或\ S_4)\ /M_1$$

式中：M——人口总数，M_1——劳动力总数，S_4——农、林、牧、副、渔用地。

6．土地人口“负荷量”指标

土地人口“负荷量”指标，指某国和某地区的人口平均密度与世界人口平均密度之比，用以表示人地比例水平。

$$土地人口“负荷量”指标 = M_3/M_2$$

式中：M_3——国家或地区人口平均密度、M_2——世界人口平均密度。

二、土地利用结构[3]

1．土地农业利用率

土地农业利用率，不同于垦殖系数，后者反映了种植业的发展程度，土地农业利用率则反映了包括种植业在内的“大农业”发展程度。

$$\text{土地利用率} = S_4/S \times 100\%$$

2．土地非农业利用率

土地非农业利用率，系指非农业用地在土地总面积中所占的比重。

$$\text{土地非农业利用率} = S_5/S \times 100\%$$

式中：S_5——非农业用地总面积。

3．沟、林、路、渠占地比率

沟、林、路、渠占地比率，系指沟、林、路、渠面积占耕地面积的比重，表明耕地利用率和土地规划的合理程度。

$$\text{沟、林、路、渠占地比率} = S_6/S_1 \times 100\%$$

式中：S_6——沟、林、路、渠占地面积。

4．复种指数

复种指数，系指全国农作物总播种面积与耕地面积的比例关系，用以表明耕地的利用程度。

$$\text{复种指数} = S_7/S_1$$

式中：S_7——全年农作物总播种面积。

5．农林牧用地结构比例

农、林、牧用地结构比例，系指农、林、牧三者之间的比例关系，说明用地结构的合理程度。

$$\text{农：林：牧} = S_1 : S_2 : S_3$$

三、土地集约经营程度

1．每亩耕地拥有马力数

每亩耕地拥有马力数是说明耕地的机械装备量，亦即农业机械化程度的指标。

$$\text{每亩耕地拥有马力数} = C_1/S_1$$

式中：C_1——拖拉机年平均在册马力数(马力)。

2．有效灌溉面积比率

有效灌溉面积比率，用以说明耕地中人工灌溉程度和农田水利化程度。

$$\text{有效灌溉面积比率} = S_8/S_1 \times 100\%$$

式中：S_8——有效灌溉面积

3．平均每亩耕地化肥施用量

平均每亩耕地化肥施用量，用以说明农业化学化的程度。

$$\text{平均每亩耕地化肥施用量} = C_2/S_1$$

式中：C_2——化肥施用量。

4．每亩耕地耗电数

每亩耕地耗电数，用以表明电气化程度。

$$每亩耕地耗电数 = C_3 / S_1$$

式中：C_3——农业生产用电总度数。

5．亩耕地用工量

亩耕地用工量，用以表明和分析农业劳动力投放程度。

$$亩耕地用工量 = C_4 / S_1$$

式中：C_4——年用工总量。

四、土地利用效果

1．单位播种面积产量或产值

它反映农业技术与精耕细作水平。

$$单位播种面积产量 = C_5 / S_8$$

式中：C_5——某作物产量；

S_8——某作物播种面积。

2．单位耕地面积产量

用以综合反映耕地的农业技术或利用水平。

$$单位耕地面积产量 = C_6 / S_1$$

式中：C_6——总产量。

3．单位农业用地总产值

单位农业用地总产值，用以反映农业技术措施的效果和土地利用状况。

$$单位农业用地总产值 = C_7 / S_4$$

式中：C_7——农、林、牧、副、渔总产值。

4．单位土地面积净产值

单位土地面积净产值，用以表明单位面积土地上劳动创造的价值水平。

$$单位土地面积净产值 = \frac{C_8 - C_9}{S_1}$$

式中：C_8——农产品产值；

C_9——消耗的生产资料价值。

5．单位土地面积纯收入

$$单位土地面积纯收入 = \frac{C_8 - C_{10}}{S}$$

式中：C_{10}——生产成本。

五、城市土地利用现状

1．城市园林绿地面积

城市园林绿地面积，是指公共绿地、专用绿地、生产绿地和风景名胜区的全部面积。

$$城市园林绿地面积 = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

式中：U_1——公共绿地；

U_2——专用绿地；

U_3——生产绿地；

U_4——风景名胜区。

2.建成区土地面积

建成区土地面积，是指城市建筑基本连片，公用设施达到的地区，区域内的水域面积(包括河流、湖泊）均计算在内。用以反映城市建设用地的发展规模。

$$建成区土地面积 = U_5 + U_6 + U_7 + U_8 + U_9 + U_{10} + U_{11} + U_{12}$$

式中：U_5——工业用地；

U_6——居住用地；

U_7——交通用地；

U_8——绿化用地；

U_9——仓库；

U_{10}——公共建筑用地；

U_{11}——市政设施用地。

U_{12}——水面用地（公园内水面归绿化用地）

3．城市用地结构

城市用地结构，是指建成区范围内工业、居住、交通、绿化、仓库、公共建筑、市政设施各项用地的比例关系。用以反映城市建设中土地利用开发的合理程度。

$$城市用地结构 = U_5 : U_6 : U_7 : U_8 : U_9 : U_{10} : U_{11}$$

4．绿化率

绿化率，是城市调查区绿地与该区土地面积的比例。反映城市绿化程度。

$$绿化率 = \frac{(U_1 + U_2 + U_3 + U_4)}{U}$$

式中：U——城市一定行政区内的全部土地面积。

5．路网密度

路网密度，是指城市主干道、次干道、工业区道路和住宅区道路长度之和与城市建成区面积的比例关系，不包括土路和街坊内的胡同和里弄。用以反映城市市内交通的发达程度。

$$路网密度 = U_{12}/U$$

式中：U_{12}——建城区内干道与住宅区及工业区道路长度之和。

六、城市人口的遥感估算

人是城市生态系统的主体，人口是城市规划中必须考虑的主要因素。世界上从60年代开始应用遥感方法估算人口，在我国则刚刚起步。现行遥感估算人口的方法大致有如下几种。

1．以耗能量估算

考证多地区、多片种热红外影像，展示了这样一个规律：城市人工热源与人口分布存在着一定的相互关系。例如：武汉地区的NOAA卫星热红外图像所显示的热异常区与其11个工业密集区及人口密集区一一对应。在美国东部8～13微米通道图像上，如星座般明亮分布的点状居民地与美国统计局1977年编制的人口分布图有着惊人的相似之处。

Welch及Zoupko(1980）将居民地的耗能量用一个底面朝下的半球体来模拟，由x，

y 轴决定的底面积则为建成区面积，z 轴则为耗能量，它与人口数相关。这样，就建立了这个以半球体体积表示的耗能量与人口数的相关关系，即：

$$Y = ax^b$$

式中：Y ——人口数；x ——“半球”体积。

半球体体积可用辛卜生公式

$$\int_a^b f(x)\,dx = \frac{b-a}{b}\,[f(a) + 4f(c) + f(b)]$$

插值节点 $x = a$，b，$c = \frac{a+b}{2}$ 求取；半球底面积可直接在图像上勾绘，z 轴的能量可用图像灰度表示，用密度计沿半球底面 x, y 方向以一定间隔逐点测量其密度即为 z 值。这样，便得到一个三维的能耗透视图。

2．用建成区面积估算

据学者研究，在我国每增加一个城市人口，则需增加 1.5 亩的城镇用地，城市土地面积与城市人口存在相关性。

罗楚鹏与 Welch 1977 年用我国 1953 年人口统计数据及同期 1:25 万地形图上取的 124 个城市面积，建立了如下人口估算方程式：

$$P = aA^b \text{ 或 } \log P = \log a + b\log A$$

式中，P ——估算人口数；A ——建成区面积（由遥感图像直接量取）。

经过运算得出模型相关系数为 + 0.75，则上式可具体表达如下：

$$\log P = 4.8733 + 0.7246\log A$$

$$\text{或 } P = 74696A^{0.7246}$$

3．以住宅估算

用统计住宅数量来估算人口是常用的方法，求算方法为：

$$P = N_1A_1 + N_2A_2 + \cdots + N_nA_n$$

式中：$N(N_1, N_2, \cdots, N_n)$ ——每户平均人数；

$A(A_1, A_2, \cdots A_n)$ ——户数；

1，2，…，n ——不同的住宅类型。

因为要进行住宅计算，故本算法适用于大比例尺航空像片。住宅的户数可在航空像片上直接解译或抽样调查解决，一般通过阳台数统计获得。楼房的层数可借助影像阴影长度求算出的楼房高度推算，并根据楼间距与楼高关系校正。建筑设计规定楼间距与楼高的比值为 1.3 至 1.5 。不同住宅类型，容纳人口的量各异，形成不同的人口密度，故像片解译时应区分平房、低层低密度楼房、高层住宅、有规划住房、未经规划的民房、集体宿舍及工棚等。平均每户人数是决定人口估算精度的关键数据，可以从最近一次人口普查资料中获取。精度要求较高的估算，则要用出生率、死亡率等数据予以订正。

像片解译的最小统计单元是街道办事处。

4．以土地利用类型估算

城市中，不同的土地利用类型具有不同的人口容量，因而人口密度也不同，利用这一原理估算人口，可以摆脱对大比例尺航空像片的依赖，求算模型为：

$$P = \sum_{i=1}^{n} (AiDi)$$

式中：A_1，A_2，…，A_n——土地利用类型面积；

D_1，D_2，…，D_n——相应的人口密度。

利用本法估算时，土地利用类型的划分是以居住区人口密度差异为依据的，可以分为旧城区居住地、新建居住小区用地，高层居住区用地、平房住宅用地、别墅式住宅用地(例如：高干楼)、商业-居住混合用地等等，其面积可从土地利用的三四级分类中获得，具体分类单元可在图像上圈定，相应的人口密度可用人口统计资料求得。当统计口径与地类界线有异时，可采用网格法划分，然后再求算人口密度。

目前，遥感估算人口的精度不高，随着传感器空间分辨率及光谱分辨率的提高，及航天、航空、地面三层次数据的结合应用，提高遥感人口估算精度是完全可能的，前景光明。

七、土地利用现状调查中的面积量算

面积量算遵循“图幅为基本控制、分幅进行量算、按面积比例平差、自下而上逐级汇总”的原则和图幅理论面积控制地类面积的两级平差法，分别量算各种土地利用类型面积。土地利用面积量算精度，是土地利用评价和土地规划好坏的关键。在图斑面积量算工作中，设备的选择、严格的技术规定和精度要求，对于保证面积量算的质量是非常重要的。量算面积的方法很多，它们的适用范围和优缺点见表 9-4。

表 9-4　面积量算方法对比[3]

名　称	适用范围	限制条件	优缺点
解析法	①各级控制面积及碎部面积的量算 ②用于其它量算方法精度的检验	要有边长及角度的精确测量或转角点的坐标资料。它不适用于外围界线呈曲线状的图形	不受图纸条件影响，精度高，但计算繁杂，速度较慢
图解法	①各级控制面积及碎部面积的量算，或者与求积仪、方格法等其它量测面积方法综合使用 ②量测图幅面积 ③量测线形地物面积	被量测图形必须是简单几何图形，或者可以划为若干个三角形以及其它几何图形的多边形；但不能用于外围界线呈曲线状的图形	精度比解析法低，但方法简便，易于掌握和推广
方格法	各级控制面积及碎部面积的量算，或者与其它量算方法综合使用	要用图幅或公里方格网作控制	方法简单易行，适用范围广，比网点板精度高，量测较小图斑比求积仪法精度高，但费工
网点板法	碎部面积的量测	量测的图斑面积应少于网点板	比方格法速度快，但量测精度不如方格法，不能作控制面积的量测
平行线法求积圆盘法	①较小图斑面积的量测 ②方格法中破格部分面积的量测	①量算较小图斑面积 ②间距应为毫米	简单易行，精度比网点板高。但不能作控制面积及大图斑面积的量算
求积仪法	①外形不规则的图斑面积的量测 ②控制面积和碎部面积的量测	少于 1 平方厘米或外形狭长的图斑避免使用	简便，速度快，对不规则图形的量测最为有利。图斑大，精度高；图斑小，精度低

续表

名　称	适用范围	限制条件	优缺点
沙维奇法	①各级控制面积的量算 ②大于4平方厘米图形面积的量测	适用于有控制网格的图幅	精度高，但对于小图斑不适用
现代光电测积仪	各级控制面积及碎部面积的量测	量测的图斑大小要受仪器幅面的限制	精度高，速度快，量算杂图斑较费工，设备投资大
图形数字转换仪-电子计算机（跟踪与扫描方式两种）	大范围的复杂图形	仪器昂贵	①比方格法快5～6倍 ②计算精度可达到十进制数几位

第三节　城市土地利用遥感

城市是人类文明的标志，是一定地域的政治、经济、文化中心，它强烈地吸引着周围的郊区农业人口和资源。随着世界城市化步伐的加快和我国改革开放的深入发展，科学家们预测，在今后的60年间，中国将出现举世瞩目的城镇化进程，因此，寻求最先进的城市现状调查和动态研究技术，已是刻不容缓的任务。

一、城市土地利用分类依据及分类系统

城市是人类改造自然最强烈、最集中的地域。城市经济体制改革以后，城市发展很快，经济结构、产业结构和就业结构的变化，以及其它改革措施，均会带来城市用地结构的变化。常规的城市调查方法已不能满足社会发展的需要，高分辨率的遥感图像则可为城市土地利用现状调查提供直观、准确、同步的材料，提高城市规划的科学性。

城乡建设委员会编写的中华人民共和国国家标准——《城市用地分类与标准》规范（建议草案，1988年7月）是目前国内比较系统的城市土地利用分类系统，可为城市规划和管理部门及上层决策服务。然而它与全国农业区划委员会1984年9月制定的《土地利用现状调查技术规程》中的分类系统不一致。因此，我们在建立城市用地分类系统时，在充分考虑土地利用分类的统一性和通用性的前提下，对《规程》中的居民点及工矿用地类型中有关城市土地利用的内容做了扩充。分类系统建立的主要原则是：(1) 协调：与相关的规范协调一致。(2) 有利于技术进步：对于传统的用地分类要依规划工作的深化，作必要的改革，提高它的科学性。(3) 可推广性：由于城市受人类活动或文化等要素的影响很大，因而在分类上更加复杂，为了使之具有可推广性，用地要依据人们的基本活动进行划分，尽可能做到每一类别概念清楚，统计口径一致。(4) 突出重点：工业、交通、居住、公共建筑（包括行政、文化、商业贸易、卫生福利、体育娱乐、公用事业等）和绿化是城市土地利用的主要内容，也是城市土地利用调查的重点，因此在分类上应尽量地详细。(5) 分布在城市周围的农业用地，不作为城市土地利用调查的重点，按《规程》划分。

表 9-5　城市土地利用分类

分类编码 I	分类编码 II	分类编码 III	分类编码 IV	名　称	含　义	解译标志
1				耕　地	与《规程》相同	
	11			灌溉水田		
	14			旱　地		
	15			菜　地		
2				园　地		
	21			果　园		
3				林　地		
	31			有林地		
	32			灌木林		
	36			苗　圃		
5				居民点及工矿用地		
	51			居住用地	指居住区、居住小区、居住街坊和单位生活区等各种类型的成片或零星的居住用地	
		511		一类居住用地	指布局完整，市政设施齐全，建筑质量好，低层低密度的居住建筑基地及周围间距用地	居民楼排列整齐，在同一建筑群内大小统一，平面形式以矩形为多，间有阶梯状建筑和塔楼，均为平顶，呈暗青色，纹理均匀。楼南侧可见黄白色阳台，格局完整，绿化较好，2～6层楼，大部分位于市中心
		512		二类居住用地	指布局完整、市政设施齐全，建筑质量较好，多层、高层住宅建筑基地及周围间距用地	高层楼房，均为塔楼，平面为凸字形，平顶，呈暗青色，临街布置，阴影较长，可见黄白色阳台，楼间常有1～2层低楼建筑，供服务业用。位于市中心
		513		三类居住用地	指布局不完整，建筑质量一般，与工业用地相混杂的居住建筑用地和建筑质量较好的平房	零星居民楼与工厂交错分布，平顶，呈暗青矩形，楼南可见黄白色阳台，位于工业区内。平房为两坡屋面，平面呈矩形，迎光面为黄白色，逆光面为青色，平行排列，房间距较小，房前有绿化，位于市区
		514		四类居住用地	指棚户简屋为主，需拆除重建的居住建筑用地	房屋平面呈矩形，两坡屋面，一侧为黄白色，一侧为青色，排列无序，多位于城南市区边缘
		515		辅助居住用地	指居住小区及小区级以下的服务设施用地、道路用地	居住区内1～2层的建筑及小区内的道路
	52			公共设施用地	指城市管理、生产和生活所需的市级、区级，居住区级公共设施用地	
		521		行政办公用地	指行政、党派和团体等办公用地	建筑较居民楼宽大，无阳台，平面一般为U形、L形、E形或其组合，呈青色，纹理均匀，前院常设有花坛或停车场，大的行政机关多位于干道旁，大门临街。多个行政机关集中布置时，一般位于市或区的几何中心、广播、电视部门有专用发射塔
		522		金融贸易用地	指金融、保险，贸易、咨询、信息和商社用地	建筑物呈青色一暗青色，纹理均匀。小银行、贸易中心多沿街分布，平面为矩形或正方形；大型金融企业建筑造型独特，一般

续表

分类编码				名　称	含　义	解 译 标 志
I	II	III	IV			
		522				1～2层，门前有停车场，位于商业中心或主干道上
		523		商、服业用地	指商业、服务业和市场等用地	商业、服务业常位于繁华街道两侧，临街分布，平面形状各异，呈青色。大型商业大楼位于干道交叉口，楼前有广场、停车场，一般1～2层。大宾馆、大饭店超过7层，有专用停车场和花坛，平面布局以Y形、折线形为多
		524		文化、娱乐用地	指文化、娱乐设施用地	文化艺术机构大多布置在市区和居住区的公共中心，交通方便，大型文化机构常位于多种交通线路可通达之处，且有停车场，一般为2层建筑
		525		体育用地	指体育场、馆和体育训练基地等用地，不包括学校等单位内的体育用地	一般体育场都有椭圆形白色400米跑道、足球场、沙坑、浅蓝色矩形游泳池、看台及周围空旷场地和附属建筑物。体育馆则为造型独特的建筑物，设有停车场，常与俱乐部组织在一起
		526		医疗卫生用地	指医疗、卫生、防疫、保健、康复和急救设施等用地	较大的医院一般距干道50～100米，门诊大楼平面形式为十字形、丁字形或倒山字形，有走廊将主体建筑连成一体。主体建筑前较开阔，常设有花坛、雕塑，主体建筑后面和侧面有化验室、病房等建筑物。福利院、康复中心对周围环境要求高，绿化好，多位于市郊
		527		科研设计用地	指科学研究和勘测设计机构等用地	办公楼平面形式为U形、L形，绿化较好，与居住区相邻或参差布置，一般位于次干道上。科研所布局整齐，办公楼排列有序，实验在室内进行。农业科学院则在市郊，有大片规则的试验田，附属建筑物少
		528		教育用地	指高等院校、中等专业学校等用地	
			5281	高等教育用地	指大学、学院、专科学校、独立地段的研究生院和成人学校等用地	建筑物的长、宽均大于居民楼，呈青色。楼周围有长方形的操场，是一个明显的标志。占地范围大，有院墙与其它建筑隔开，一般位于市郊，绿化程度高，环境幽静地区
			5282	中小学、幼托用地	普通中学、中专、技校、职业学校和幼托等用地	一般位于居住区内，有操场，占地面积较小，建筑物呈工字形，青色，大门临街。幼托机构平面结构为品字形，回字形，楼高1～2层，有一定的游戏空地，用地紧凑
	53			工业用地	指厂矿企业的生产车间、库房及其附属设施用地，包括其专用的铁路、码头和道路等，不包括露天矿区（归入其它用地）	
		531		一类工业用地	指对居住和公共设施的环境基本无干扰污染的工业	企业规模小，与居住区相邻或参差布置，以精密机械厂、食品厂居多，需结合城市行政区现状图确定具体类型
		532		二类工业用地	指对居住和公共设施	企业以噪声污染为主，空气和水污染小，

续表

分类编码				名称	含义	解译标志
I	II	III	IV			
		532			的环境有一定干扰污染的工业	厂房建筑色调一致，呈青色，平面形式为矩形。长、宽均比居民楼大，两坡屋面，若干个建筑连接成L形或E形，位于市中心区外缘
		533		三类工业用地	指对居住和公共设施的环境有严重干扰污染的工业	企业的气、水、渣污染严重。流经企业的河水呈黑色；空气污染为主的工厂，常有白色烟囱，黄白色烟带；产渣量大的单位在厂房附近有黑色的圆锥体渣堆，位于城市的下风向，易识别
			5331	钢厂		工厂规模大，有多条铁路专用线，厂房平面为矩形，呈青色—暗青色，生产时散发大量热的车间有烟雾存在，周围有蓝色水池；厂区总的平面配置有串联式、平行串联式、并联式、串并结合式，人字形五种，位于城市下风向、近河流处
			5332	水泥厂		厂房附近有多组黑色圆罐及多个圆柱体水泥仓，沿铁路专用线有多个长条形成品库，其长宽比在3～4，工厂一般位于城市石灰石产地，具有良好的运输条件
			5333	电厂		厂房宽大，周围有数个冷却塔（圆形、黑色），多个高大、亮白色烟囱，黄白色烟带，位于河边
			5334	纺织厂		主厂房平面形式为正方形，采用锯齿形天窗，有铁路专用线，靠近水源
	54			仓储用地	指仓储企业的库房、堆场和包装加工车间及其附属设施等用地	
		541		普通仓库用地	指库房建筑为主的供地方、中转、储备为主的仓库用地	围墙内以库房建筑为主，两坡屋面，呈多个矩形规则排列，位于生活居住区外，与工业区隔离，有路直通
		542		危险品仓库用地	指存放易燃、易爆和剧毒等危险品的专用仓库用地	油库由多个黑色油罐占主导用地，位于市郊、远离村落的地方，有次干道级道路直通
		543		堆场用地	指露天堆放为主的仓库用地	围墙内建筑物少，空旷地多，有铁路专用线进入，其中煤场：堆物平面形状不规则，呈黑色；木材场：堆物形状规则，呈土黄色
	55			道路广场用地	指道路、广场、停车场用地	
		551		道路用地	指干道、支路和其它道路用地	
			5511	干道用地	指快速干道、主干道和次干道用地，包括立体交叉路口用地	干道为淡青色，直线型等宽条带，相互连接成网，两侧有红色行道树，反差较大，担负市内交通，交叉路中心设有花坛和雕塑
			5512	支路用地	指支路用地，不包括小路、街巷的用地	支路的路面色彩各异，水泥路面为灰白色，沥青路面为暗青色，沙石路面为黄白色，呈直线型条带，位于居住区内
		552		广场用地	指公共活动场所用地，不包括单位内的广场	平面为亮白色矩形或正方形，其内常有花坛、人工草坪、纪念碑等

续表

分类编码 I	II	III	IV	名称	含义	解译标志
	56			市政设施用地	指市级、区级和居住区级的市政公用设施用地，包括建筑物、构筑物及其管理维修设施等用地	该类用地大多数影像特征无一定规律，主要依靠非遥感资料来确定类型。消防站用地以训练场为主，占50%用地，办公用房少，绿地少；器材库房平面为长方形，两坡屋面，呈青色，位于市区边缘次干道路口处；罐装站有1～2个黑色球体圆罐，其占地大于60%，位于市区边缘
	57			绿地	指市级、区级和居住区级的公共绿地及生产防护绿地，不包括专用绿地和自然风景区绿地	
		571		公共绿地	指向公众开放，有一定游憩设施的绿地，包括绿地范围内的水面	公园绿化面积占总用地的60～70%，呈鲜红一深红色，有蓝色的水面、假山，观赏塔及亭等装点园内景色，园内道路蜿蜒曲折。沿河绿化带：以不规则宽度分布在河两岸，为红色条带影像。街心花坛：平面为规则的几何形状，呈红色，绒毯状纹理
		572		生产防护绿地	指用于隔离、卫生和安全的防护林带及绿地	位于工厂内部的花坛周边规则，呈红色绒毯状纹理；绿化带为红色条带，粒状纹理；防风林带则位于农田周边
		573		居住绿地	指居住区、居住小区及小区以下的居住绿地	居住区内呈块状或片状分布的绿化地
	58			特殊用地	指特殊性质的用地	
		581		军事用地	指军事用地，包括部队机关营房、军用工厂，仓库和其它军事设施等，不包括部队家属生活区和部队所属民用或军民两用的院校、工厂等	军事机构用地规整，占地面积大，建筑物平面形式为矩形，呈青色，营房呈平行排列。位于市区边缘
		582		保安用地	指监狱、拘留所、劳改场所和安全保卫部门等用地，不包括公安局、分局（归入公共设施用地）	建筑空间分隔明显，多位于市郊，其周围有农场或工厂相邻，供劳改人员耕作劳动，交通较为方便
6				交通用地	指城市对外交通运输用地包括铁路、公路、管道运输、港埠和机场及其附属设施用地	
	61			铁路用地	指铁路站场和线路等用地，不包括设于站外的行政办公楼、售票处和服务员公寓（归入公共设施用地）	已建铁路呈黑色一暗青色，未铺轨的呈灰黄色，为等宽平滑条带，在站台和编组处铁路排成梭形，位于市区边缘
	62			公路用地	指高速公路1、2、3级公路，站场线路等用地，不包括4级和4级以下公路（归入其它用地）	公路路面因建筑材料不同，色彩各异。水泥路面为灰白色，沥青路面呈青色，为等宽、光滑、线型条带。两侧有行道树，道路曲率半径可以比较小，位于市区外围，与于道，

续表

分类编码 I	II	III	IV	名　称	含　义	解 译 标 志
						铁路组成网络
	63			机场用地	指军民合用、民用机场的飞行区、航站区和服务区等用地	机场有黄白色停机坪、白色跑道，有公路直通，周围绿化好
7				水　域	同《规程》	
8				其它用地	同《规程》	
	89			采石场	开采石料和矿石的露天工作的掌子面	在石灰岩丘陵的坡上采石，往往具有陡的坎壁与平坦的工作面，由于开采的是新鲜的灰岩，呈黄白色

表 9-5 是根据上述原则，利用 1988 年 11 月 8 日摄制的唐山市 1:5 万并放大至 1:1 万的彩色红外航空像片建立的城市土地利用分类系统。

二、城市土地利用解译

城市土地利用调查可以采用与一般土地利用现状调查类似的方法开展工作，调查的精度更多地取决于解译中生物地学规律的应用水平。

1．预研究

一般情况下，图像的地理位置在下达任务时就被告知。如果不清楚，可被遥感图像图廓注记获得经、纬度，然后与地形图（同比例尺）核实，确定研究区的地理位置。随即收集该区域的自然地理等背景资料，或调用区域地理信息库中的有关资料，熟悉区域地貌。

由遥感图像成像日期，可了解到成像时该区域气候的大致状况：江河湖海处于何种水位，水路航运旺衰程度，主导风向；根据日期查找当地种植作物的农事历，作物轮作倒茬规律，确定成像时覆盖地面的作物种类、生长期，然后根据以往测定的各种作物的反射光谱曲线和地区作物分布报告及图件，确定每种作物在图像上反映的色调。例如：1987 年 9 月 17 日荆州地区由 1，4，5 波段合成的 1:20 万 TM 彩色图像，地面主要的农田覆盖物是双季晚稻（拔节～抽穗期）、棉花（吐絮期）、黄红麻（成熟期）、单季中稻（稻茬地），各自在图像上呈现为棕红、橙、亮黄和蓝绿色调，有明显的差异。

2．影像特征分析

关于城市用地解译与制图，主要是依据航空像片的色调、形状特征、图斑纹理、分布部位等影像的直接或间接标志进行的。城市区域以人工建筑为主体，利用遥感图像研究城市土地利用时，首先是通过对屋顶类型及其组合形式来识别目标。所谓屋顶类型，主要是指建筑物顶部反映在图像上的形状、大小、颜色、排列方式和组合关系，即平面形态。不同的建筑物，由于功能不同，设计要求不同，建筑时代不同，屋顶类型均有差异，从而构成了识别建筑物类型的依据。

一般来讲，厂房的平面形式以宽大的长方形为多，有时也将若干个长方形建筑连接在一起组成“工”形或“E”形厂房。办公楼、居民楼的宽度均小于厂房。居民楼多数

是排列整齐的窄长方形，楼与楼之间有一定的间距，多数居民楼有阳台。办公楼一般没有阳台，平面形状多为长方形，“U”形，“工”形等。较大的医院主体建筑平面形式主要是“T”形或倒山字形。

屋顶在彩色红外图像上的颜色，主要取决于建筑物顶所用的材料及其受污染状况。例如，预制板屋顶（平板式）的居民楼或办公楼在图像上呈浅蓝色。砖木结构的平房呈灰蓝色。工厂的厂房多为水泥预制板，上铺沥青，因长期受污染，在图像上呈深蓝色或黑绿色。

建筑物的排列密度和组合形式，不仅能反映出它们的建筑年代，同时也是其功能要求在平面上的体现。例如幼托机构，需寓教于乐，均建有游戏空场和娱乐设施。另外，唐山市路南区大多是震后临时搭建的棚户简屋，没有统一规划，密集而简陋，反映在图像上，屋顶排列紧密，组合形式无章可循，呈杂乱不等的小矩形集群。而新建的工房在图像上呈阵列式，由排列整齐、式样一致、大小相同、间隔相等的长方形组成。根据建筑物高度与间距的正相关关系，能粗略地判断或比较建筑物的高低。

在城区内，建筑物所处的位置及其与周围环境的关系，能帮助我们更准确地判定它的类型。例如，同样一幢楼房，若处在繁华街道，便可能是商业性质，若不临街，则可能是科研大楼或行政机关；大学、中学一般都有操场；工厂常常是厂房、烟囱、仓库、水池、渣堆等成组配置；重污染工业企业一般分布在城市下风向，这些特征在图像上均有清晰反映。

对于无屋顶的地物，如铁路、露天货栈、油库、建筑工地、采矿场、体育场、渣堆等等，也可由这些地物的平面形式在图像上的形状、颜色、结构、密度、弯曲程度及其组合构成的“屋顶类型”来识别。如等宽光滑条带，在一定部位呈梭形，往往可以断定为铁路及其站场。

总之，建筑物、构筑物的屋顶类型、组合、区位是解译的重要依据。

3．解译步骤

城市空间景观要素以人工建筑为重，地面的本来面目适应人的需要而强烈变化，其解译总体上遵循第五章所述法则，先易后难，逐级识别，其本身也存在着一些固有的规律。

(1) 建立最佳逻辑决策树

图 5-3 表示了城市影像分级的结构和解译优先级，通过这种总体结构可以看到不同类别之间的相互关系，数字 1 至 5 是解译级序，数字小解译容易，首先识别。如植被、水体等在遥感图像中较易抽取出来，应先把它们抽取出来，即图中的一级解译。

(2) 路网结构分析

交通网络，将城市划分为若干个功能区，同时又将各功能区紧密联结，因此在建立信息树和完成一级解译后，可再按道路等级划分为不同的斑块，然后逐一进行解译。

路网结构分析可从两个方面入手，一是城市对外交通，包括铁路、公路、管道运输、航运、空运五个方面。对外交通线路及其站场和建筑物的间距，是判别建筑物性质的一个方面。二是街道类型，道路的曲率半径、宽度、路面材料决定了道路的等级，不同等级的道路在城市运转过程中实现不同的功能。主干道与城市对外交通线路成网布置，又与次干道、支路相连，承上启下，路面好，道路宽。次干道次之。市内道路等级的确定，

对建筑物性质和环境研究有重要的作用。

(3) 标志性地物寻找

在解译的具体斑块中，首先寻找标志性地物，即某些建筑物特有的建筑要素，据此可以很快确定建筑物的性质、用地类型。例如学校，一般都有操场。

(4) 依据表 9-5 的解译标志绘制解译草图，经野外核实、修改，认为解译结果确实无误，再行清绘成图（图 9-2）。

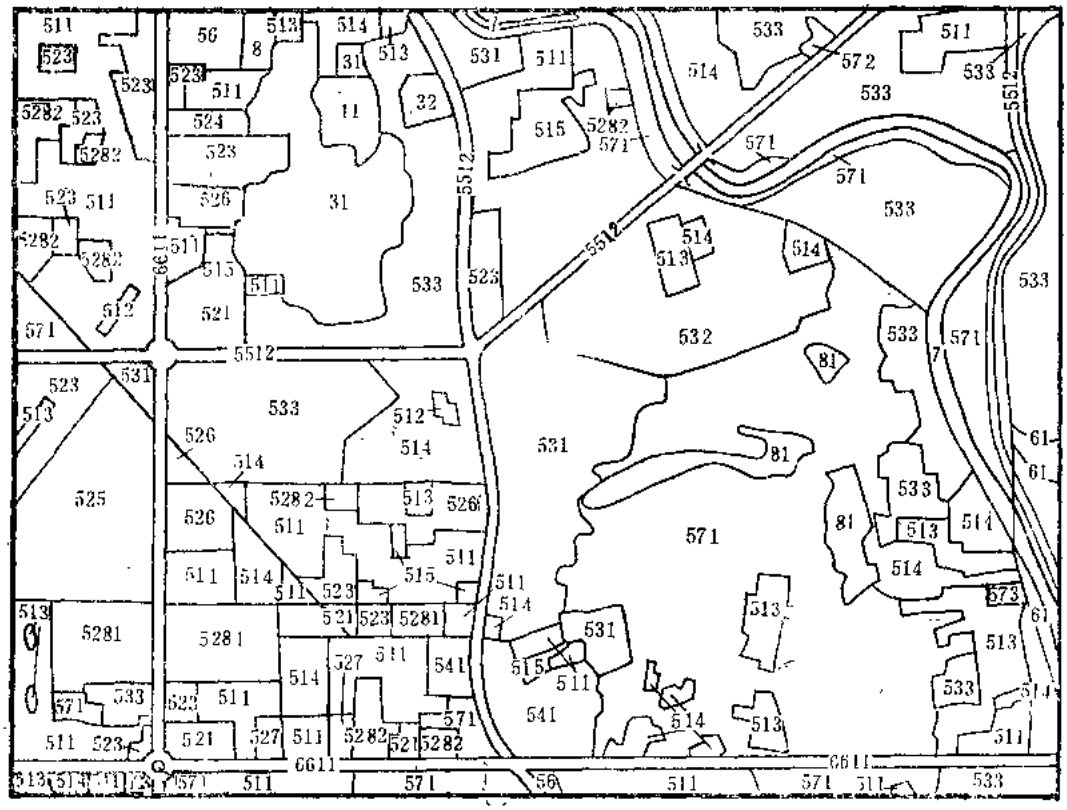


图 9-2 唐山市市区土地利用现状图

三、城市遥感解译模型研究

以城市为对象，从城市形成和发展的基本规律出发，系统地总结遥感图像目视解译的经验，使之上升为具有普遍意义，并能为计算机接受的解译模型，是遥感应用发展的方向之一。

1. 模型研究的思路

以城市作为建立遥感图像解译模型的起点，其因有二：一是因为城市是经济网络的结点，作为人类社会空间结构的一种基本形式，在社会经济和历史发展中占据越来越重要的地位。特别是这里人口密集，经济发达，各种因素与过程错综复杂，变化强烈而迅速，对于遥感图像解译的要求紧迫，一些先进技术的应用有较好的条件和基础；一是城市里人类活动起主导作用，它们的过程和产物有一定规律可循，特别是构成不同城市的基本实体的类型、特征、分布以及相互之间的关系有较大的相似性。它们和相应的遥感图像特征之间也有比较简单、明确的对应关系，研究起来比较方便，所得结果也有较大的

推广应用价值。

在城市遥感图像解译模型的实现中，首先把城市看成是一个以人为主体的生态系统，深入研究其中人类社会和自然环境之间的关系以及人类各种活动的过程、规律及其产物，作为遥感图像解译推理过程及建立解译模型的依据；然后对城市的遥感影像进行细致的分析研究。城市可以分出不同的功能区；每个功能区由相应的用地类型组成；不同的用地类型又包含着不同的地理实体；不同的地理实体则由相应的一些基本的实体要素组成。它们就好象一篇文章里的段落、句子、字词及笔划一样。因此，建立解译模型的任务，就是要建立上述不同层次的城市组成部分与遥感影像特征之间的关系，并寻求根据相应的遥感影像特征，确定其地学含义的过程与方法。表 9-6 是一个多层次的模型，一般来说城市实体要素和各种实体与遥感影像有着直接和紧密的关系，是研究工作的重点和关键所在。

表 9-6　多级多层次解译模型一览

名　称	级别	主要参数	说　　明
实体要素	初级模型	阴影、色调、形状、大小、纹理、图案	实体要素，是指从城市的三维实体出发，提取的构成城市工业企业、旅游景点、购物中心、学校等地物的建筑单体和自然地物，它们是研究中最小的描述单位，每个各体不能独立完成某项功能，它们的不同组成，形成不同的组合体，其组合体可以独立完成一定的功能，得以满足人类需求
地理实体		阴影、色调、形状、大小、纹理、图案、位置、实体要素组合	地理实体，是指为完成工业产品生产、作物种植、人民日常生活需要而建立的经营单位和生活设施，由不同的实体要素组成，每个实体具有一定功能
用地类型	高级模型	地理实体组合、地理实体区位分析	用地类型，是城市信息分类中的第三级单位，是自然条件、利用现状，利用方式、环境要求、污染程度基本一致的不同地理实体的总称，这一级划分可以为制定产业配置、调整产业结构措施以及今后城市土地合理利用方向，途径提供重要依据
城市结构		地理实体类别、比例、道路网结构	从一个城市着眼，看城市内部的功能区的组织

在这些模型建立之后，利用这些模型编制各种城市专题图，并根据这些解译结果分析城市结构、性质和变化等特点，指导城市规划、建设和管理。我们选用唐山市 1988 年 11 月 8 日航摄并放大成 1:1 万的彩色红外像片，开展了此项研究，试图从大比例尺像片开始建立城市影像解译模型，进而简化、概括并用于高分辨率的卫星图像，如 TM 和 SPOT 图像等，是一条比较合理的途径。它符合人类对客观世界从具体、直观到抽象、概括的认识过程。

2．影像空间特性与城市运转机制的关系

在城市用地遥感调查中，除色彩、阴影、纹理、图型、高度、大小、形状等直接解译标志外，区位分析、相关关系是解译人文景观，提高解译精度的关键。

城市是一个规模庞大、结构复杂、功能综合、影响因素众多、具有高度自适性和强大组织能力的主动式、开放型的生态系统。人是城市环境空间的主体，因此，城市系统虽

然也受自然生态学规律的影响，但更主要的是受人们的目的和愿望的控制。为此，我们把城市分为城市环境和人类活动两大部分。一般来说，前者更多地遵循技术经济规律进行，这种活动不但改变着城市环境本身，也和外界不断进行物质、能量和信息的交换；后者更多地体现了来自城市本身和上级部门决策者的意志和干预。

在城市中，人类的基本活动如图 9-3 所示。它们主要包括物质生产、生活保证、财贸金融、科研教育、文娱体育以及交通运输和邮电，都分别遵循着一定的规律进行。而在这些活动中，物质生产、生活保证及交通运输、邮电等居主要地位，它们维系着人类生存、城市发展、内部运动以及与外界的联系。它们的物化结果，如工厂、矿山、住房、道路等在遥感影像中得以良好反映，是遥感影像解译的主要内容。

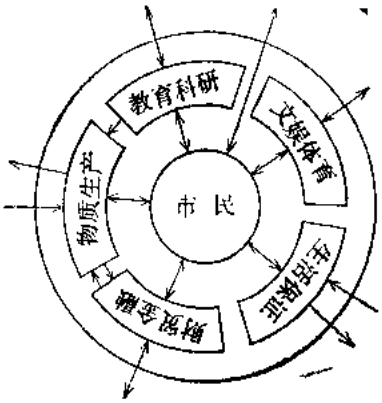


图 9-3 城市内部市民活动示意图

在城市遥感影像解译推理过程中，支配城市生态系统发生和发展的基本规律或原则具有重要的意义，归纳起来有以下四点。

(1) 与自然环境协调的一致性原则

城市是存在于地球表面并具有一定地理空间的一种物质形态，城市的地理位置和邻近区域的自然资源状况，在很大程度上决定了城市的性质和类型以及它们的布局形式、城市景观、甚至企业平面配置。例如，处在河流入海位置的城市，往往属港口城市，具有港口城市的一系列特征。平原盆地多形成集中式、方格式（石家庄、北京）城市结构，而在山区、丘陵、狭谷则形成分散多点式（渡口）、自由式（青岛）、带形（兰州）布局。城市盛行风向对城市布局的影响最为明显。图 9-4 给出了不同数量盛行风向下，居住用地与工业用地的相对位置。由此可见，自然环境对城市用地的影响是至关重要的，是人文景观解译精度提高的关键。

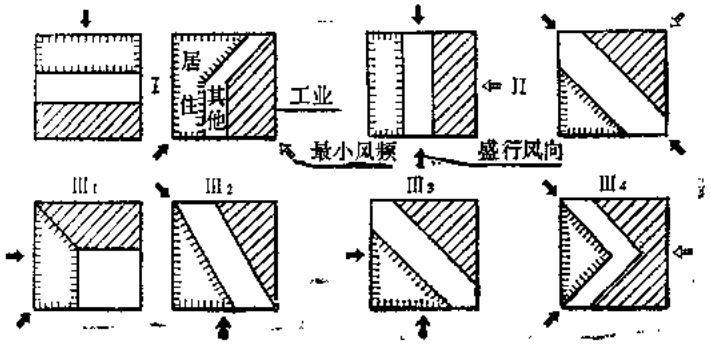


图 9-4 风向与城镇用地布置的典型图式

(2) 社会、经济、技术过程的合理性原则

在城市，人类的基本活动千差万别，总的可概括为社会、经济和技术过程。这些过程都遵循着一定的客观规律，推动着城市的发展，其物化结果表现为对自然的利用和改造、人工环境的专业化划分以及和外界的联系与交换。值得注意的是，在这三种过程中，技术过程是最基础的，它建设了工厂、房屋、桥梁和商社，形成了各种人工环境，水平

高低反映在影像上，以色和形的组合特征表现。例如，各不同类型的工厂都有与其生产工艺流程相适应的布局，即建筑体空间组合形式，图 9-5 至 9-7 是钢铁厂的几种常见的平面布局。因此，当我们熟悉各种工厂的工艺流程及各环节所需建筑体特征时，就很容易从大比例尺的航空像片上，把它们区别开来。

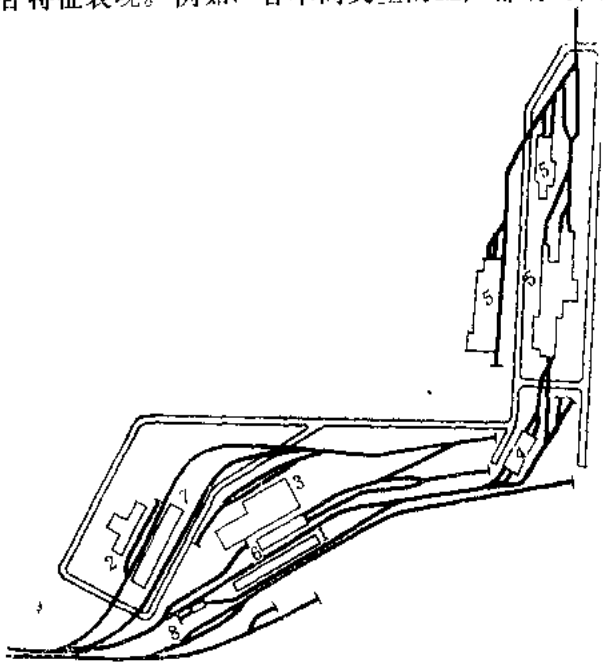


图 9-5　总平面串联布置图

1—炼铁车间；2—焦化车间；3—烧结车间；4—原料堆场；5—轧钢车间；6—贮矿槽；7—煤场；8—铸铁机

(3) 城市历史变迁的继承性原则

城市是随着历史的发展而产生的，我国已有 4 000 多年的历史，在相应的历史时期里各具不同的特点。因此，了解城市的沿革和各时期开发利用的特点，有助于城市土地利用现状的解译。

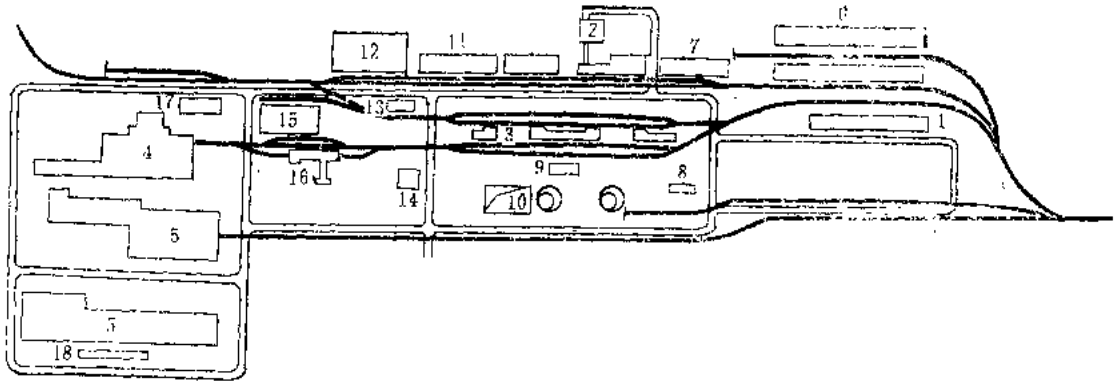


图 9-6　总平面平行串并联布置图

1—焦化车间，2—烧结车间；3—炼铁车间；4—炼钢车间；5—轧钢车间；6—煤场；7—原料堆场；8—锅炉房；9—鼓风机室；10—冷却池；11—石灰石堆场；12—石灰焙烧车间；13—煤气加压站；14—变电所；15—焦油白云石车间；16—铸铁厂；17—炼钢原料间；18—酸洗车间

(4) 政策、规划实施的强制性原则

在一定政策指导下的城市规划，是相应时期内城市发展的计划和各项建设的综合部署，是城市有秩序、协调发展的保证，对于土地合理利用起着很大的作用（干扰或促进）。对这种干预过程及其后果的认识，在城市遥感图像解译中要予以足够的重视。

3. 模型建立

城市遥感解译模型是一个多级多层次模型，由实体要素、地理实体、用地类型和城市结构解译模型四个子模型组成。每一个子模型的建立都涉及到分类、参数选取、知识表达和推理策略。实体要素的合理分类，是建立城市解译模型最基本、最关键的一项工

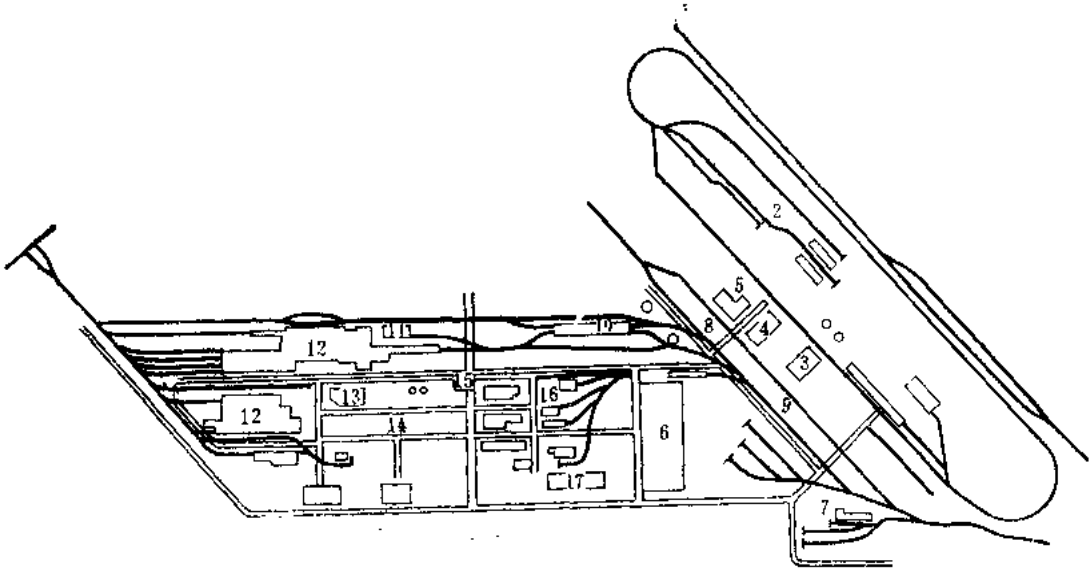


图 9-7　总平面人字形串联布置图

1—选矿车间；2—焦化车间；3—精矿车间；4—球团车间；5—烧结车间；6—热电站；7—耐火材料车间；8—炼铁车间；9—铸铁机；10—炼钢车间；11—钢锭车间；12—轧钢车间；13—变电所；14—仓库；15—中心试验室；16—机修区；17—氧气站

作。下面就以实体要素解译模型为例说明一下模型建立的过程。

在人工目视解译中，通常是通过对有关物体的研究来识别目标，或者根据单个物体的组合来识别群体。一个有经验的解译人员，在观看一个群体（例如，一个工业设施）时，不一定马上就能认出这是一个群体区，而是在他发现和识别了物体的 x，y，z 之后才会得出结论。城市系统的 x，y，z，即表 9-7 中的所谓实体要素。按照尽可能分解信息的原则，将唐山市城市实体要素划分如下：房屋、烟囱、围墙、场地、堤坝、桥梁、塔、罐、碑、山地、植被、田块、路段、水体、阴影 烟流和堆物场，共 18 类。

表 9-7　城市实体要素划分

要素类型	要素名称	要素类型	要素名称
房屋	居住房、厂房、病房、教室、商业金融用房、办公房、体育馆	植物	人工草地、果树、针叶林、阔叶林、街心花坛
烟囱		田块	水田、旱地、菜地
围墙		路段	铁路、专用线、公路、主干道、次干道、支路、农村路
场地	广场、体育场、停车场、施工用地、停机坪		
堤坝		水体	河、坑塘、水池、人工鱼塘、水渠
桥梁	天桥、立交桥、河流桥、管道桥	山地	假山、山体
塔	工业用塔、观赏塔	阴影	
罐		烟流	
碑	纪念碑	堆物场	货堆、废渣堆

我们在建立实体要素模型时，选取了色调／彩色、大小、形状、纹理、图型、高度、阴影、位置、关系（相邻、相交、包含、相斥）、形状参数（$M = L / S$，L 为周长，S 为面积）、多边形边数、长宽比和地基承压力等特征参数。

专家系统（ES），就本质而论是一个智能程序系统。它利用知识库（KB）和推理机

(RE) 来解决专业范围内只有靠专家才能解决的问题。我们将遥感解译分层分级后，采用产生式系统 (PS) 表达。它将专家的知识由称作产生式表示的规则集合来表示，每一条产生式就是构成一个知识模块的一条规则，它的一般形式为：

IF<Condition>THEN<Action>

可以简记为如下形式：

$$a,\ b,\ c,\ \cdots\cdots \longrightarrow r$$

式中，a，b，c，……是前提，一般为基本事实，也可以是由其它规则推导出的结论；r 则是结论。用这种方式描述遥感解译的逻辑推理过程，具有良好的模块性和自然性。

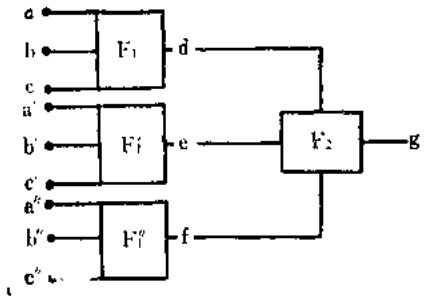


图 9-8 推理网络

就执行机制而言，其主要特征有二：一是匹配，二是回朔。即当一条扩充的产生式规则箭头右端的结论与另一条规则中的某个前提条件匹配时，便构成一次推理。否则返回上一节点，按从上到下、从左到右的顺序再进行匹配，直至找遍全部规则。如图 9-8 所示，只有当 d，e，f 均满足时才构成一次推理。把表达解译对象的全部扩充式的产生式规则（即每一次推理）都按图 9-8 所示方式连接起来，便构成了完整的描理网络。

四、城市遥感信息特性

城市环境包括自然环境和社会环境两部分，故而研究城市系统的信息源，主要是自然和社会经济数据，这两类信息大部分可从航天遥感信息中获取。

航空像片的比例尺多是大尺度的，例如，1:1 000，1:5 万等。其像对可进行立体观测、绘制地形图和城市平面图等。航空像片对城市的地理背景要素和城市人工建筑设施等，展示了直观、形象和丰富的内容，用作城市规划管理和调查分析制图都有很好的效果，其社会、经济和生态效益已经在北京市、承德市的航空遥感综合调查与制图中得以充分显示。但是，航空像片与航天遥感信息相比，不利于背景的宏观分析。从前面对航天遥感信息特征的分析可知，SPOT 和国土卫星图像对城市总体规划、城镇体系等宏观研究的应用都有较好的效果。此外，航空遥感在城市热岛效应的分析中，也具有显著的效果，特别是热红外图像效果更好。一般来说，城市中心商业闹市区，热岛强度大，热环境质量差；工厂区，热污染严重。所以，对于城市的发展，规模的扩大，都应进行城市热岛效应的分析，並列为城市规划和城市调查的重要内容。一个城市的变迁，则可从多期航空和航天图像上得到。

参 考 文 献

[1] 全国农业区划委员会，土地利用现状调查技术规程，测绘出版社，1984 年。
[2] 滕静娴等，用色度空间变换处理的组合 SPOT 图像进行城市土地利用现状调查，环境遥感，4 (2)，1989。
[3] 马鸿良、顾恒岳、吴敏敏等编著，国土资源遥感技术，四川科学技术出版社，1989年。

第十章　环境遥感

环境遥感是利用遥感技术揭示环境条件变化、环境污染性质及污染物扩散规律的一门新科学。环境条件如气温、湿度的改变和环境污染大多会引起地物波谱特征发生不同程度的变化，而地物波谱特性的差异正是遥感识别地物的最根本的依据，环境遥感便是在这一基础上发展起来的。

环境遥感中使用的遥感资料不仅有常用的航空遥感和陆地卫星资料，还有许多是由气象卫星和海洋卫星提供的；不仅以图像的形式提供，还有许多以物理参量数据或等值线图的形式提供。航空、航天遥感可从空中对地表环境进行大面积的准同步连续监测，突破了以往从地面研究环境的局限性，这主要表现在如下几个方面。

1．适时性

能迅速确定环境污染的范围。如1989年我国大兴安岭森林火灾范围的确定，1991年伊科之战中海上石油污染的圈定，都是借助卫星提供的适时遥感资料进行的。

2．连续性

遥感连续监测能预报污染的动态变化，便于人们掌握污染的发展趋势。如陆地卫星每18天可对全球南北纬81°地区观测一次，而静止气象卫星每半小时便可重复观测一次[1]。

3．区域性

能帮助人们从区域性和全球性的角度研究环境问题。一些环境污染的分布受大气环境、江河流水、洋流运动的控制，往往造成大范围、甚至国际性的影响；另一方面，生态环境变化，如全球气候变化、沙漠化、海平面涨落等问题也是国际社会瞩目的问题，需要建立共同的环境监测体系和全球性的环境数据库，才能真正认识和解决。

此外，利用遥感技术还可获得一些以往无法测得的环境数据，如大气中二氧化碳、臭氧的含量，海平面的微小涨落等。

第一节　环境遥感的目视解译特点

从各种受污染植物、水体、土壤的波谱特性来看，受污染地物与正常地物的波谱反射特征差异都集中在可见光、红外波段，因此环境遥感主要通过摄影与扫描两种方式获得环境污染的遥感图像。摄影方式有黑白全色摄影、黑白红外摄影、天然彩色摄影和彩色红外摄影。其中以彩色红外摄影应用最为广泛，影像上污染区边界清晰，还能鉴别农作物或其它植物受污染后的长势优劣。这是因为受污染地物与正常地物在红外部分的

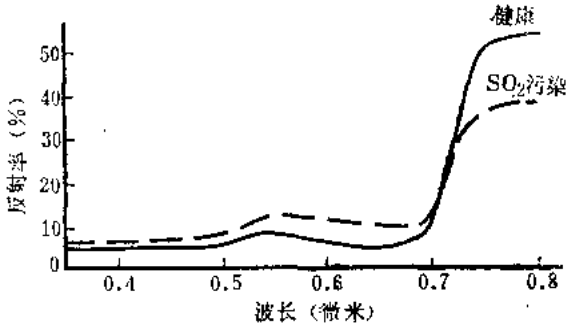


图10-1　被SO_2污染的杨树的光谱反射率曲线

波谱反射率有较大的差异(图 10-1)，相应地，在影像上，受污染地物的灰度值变化范围也宽，便于人们目视区别。

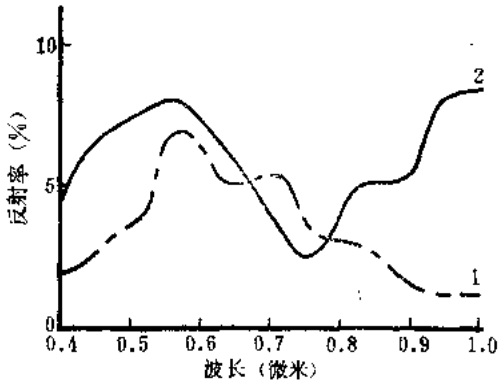


图 10-2 渤海湾某处的污染海水(1)与正常海水（2）的光谱反射率曲线

扫描方式主要有多波段扫描和红外扫描。多波段扫描常用于观测水体污染。污染水体与正常水体在不同光谱段的反射率有不同的差异，如图10-2实测南排污河口受污染的黑色、低含沙量的海水与渤海湾的海水反射波谱，从0.4～0.66微米污染海水比正常海水的反射率低，从 0.66 ～ 0.78 微米污染海水比正常海水的反射率高，0.78 微米以上污染海水的反射率又低于正常海水。对照分析用多波段扫描仪获得的不同波段的影像，就可把污染海水与正常海水区分开。红外扫描能获得地物的热影像，用于大气和水体的热污染监测。

通过摄影和扫描方式获得的遥感图像，在进行环境污染解译时同样遵从本书第五章所叙述的一般规律，此外，还有以下特殊规律。

1．生态相关规律的运用

由于环境污染大多不能在图像上直接显示出来，因此在解译时要更多地用到生态相关推理，特别是植物的指示作用。植物覆盖在地球最表层，分布广泛，季节变化显著，不论是大气、水体及土壤的污染，还是生态环境条件的变化，或多或少都能通过植物的异常或病变反映出来，从而使植物的波谱反射特性也发生变化，在图像上显示出来。图像上植物的异常或病变可根据如下的解译标志加以判别。

(1) 颜色标志

污染可能使树木枯黄而在彩色红外图像上表现为蓝灰色或黄色；或者导致树木不正常落叶，降低了树木的郁闭度，而使彩色红外图像上树冠的红色的纯度下降，色调变暗，甚至出现斑驳现象。

(2) 形态标志

污染可能使植物生长缓慢，导致树冠径围减小，因此相同树种的同龄树木，树冠的影像自污染源向远离污染源的方向逐渐增大，依此可衡量污染的严重程度。

(3) 纹理标志

树木颜色及形态异常和树木受污染致死的残缺现象的综合反映，即树群在空间上的展布形式，在图像上表现为纹理。这是一个复合标志，可作为污染源、污染范围和程度的解译标志。

(4) 动态标志

污染可能导致植物个体的物候异常和植物群落的演替异常，以树木颜色、形态和纹理标志在时序上的差异表现出来。

上述四种解译标志具有共同的生理基础和相似的环境成因，解译时可互相印证、互为补充。不但可借以鉴别污染的有无和严重性，还可借以圈定污染生态场的范围，揭示

污染的扩散趋势[12]。

2．光学或计算机处理技术的运用

污染物本身（如烟雾）或受污染地物（如水体）的光谱反射率随着污染程度的不同而存在差异，但是这种差异还不足以使其影像的灰度值产生适合于人眼判断的视觉差别时，通过彩色密度分割法分割影像灰度并对不同灰度赋予不同色彩，则可帮助区分不同程度的污染区，从而使目视解译变得更为简捷。常用的技术处理方法还有相关掩膜、不同波段的的比值处理等，至于在目视解译中广泛应用的彩色合成方法当然也是不可缺少的。

第二节　大气环境遥感

影响大气环境质量的主要因素是气溶胶含量和各种有害气体。对城市环境而言，城市热岛也是一种大气热污染现象。

一、大气气溶胶监测

气溶胶是指悬浮在大气中的各种液态或固态微粒，通常所指的烟、雾、尘等都是气溶胶。气溶胶本身是污染物，又是许多有毒、有害物质的携带者，它的分布在一定程度上反映了大气污染的状况。测定气溶胶含量有专门的仪器，叫做多通道粒子计数器，它能给出大气中气溶胶的水平分布和垂直分布。这里仅就遥感图像对分析大气气溶胶含量的效用作一分析。

在遥感图像上，工厂排放的烟雾、火山喷发产生的烟柱、森林或草场失火形成的浓烟以及大规模的尘暴都有清晰的影像，可直接圈定污染的大致范围。如火山正式喷发前会释放烟雾，据此可预报火山活动期的来临；利用周期性的气象卫星图像可监测尘暴的运动，估算其运动速度，预报尘暴的发生；森林或草场火灾也可通过卫星遥感资料及早发现，把灾害损失降低到最小。此外，大比例尺的航空遥感像片还可用来调查城市烟囱数量和分布情况，甚至可以通过烟囱阴影的长度计算其大致高度。

如用计算机进行辅助解译，还可测绘出烟雾浓度的分布状况，从而揭示污染物扩散的规律，为采取防护措施提供依据。烟雾浓度实际上是单位体积空气中所含微粒的数目。当微粒数目多、浓度大时、其散射和反射的电磁辐射能量多，像片灰度值大，呈白色调；当微粒数目少、浓度小时，则像片灰度值小，呈灰色调。建立烟雾浓度与影像灰度值的相关关系，然后用电子计算机对影像进行微密度分割，则可绘出烟雾浓度的等值线图。

二、有害气体监测

有害气体通常指人为或自然条件下产生的二氧化硫、氟化物、乙烯、光化学烟雾等对生物有机体有毒害的气体。有害气体不能在遥感图像上直接显示出来，只能利用间接解译标志——植物对有害气体的敏感性来推断某地区大气污染的程度和性质。

一般说来，在污染较轻的地区，植被受污染的情形并不容易被人察觉，但是其光谱反射率却会产生明显变化，在遥感图像上表现为灰度的差异。生长正常的植物叶片对红外线反射强，吸收少，因此在彩色红外像片上色泽鲜艳、明亮，如臭椿呈发亮的朱红色，

白杨为紫红色，柳树呈品红色。受到污染的叶子，其叶绿素遭到破坏，对红外线的反射能力下降，反映在彩色红外像片上颜色发暗，如白蜡树受污染后呈紫红色，柳树呈品红色夹带有蓝灰色。除植物的颜色以外，还可通过植物的形态、纹理和动态标志加以综合判断。天津市第一发电厂是天津的主要污染源之一，排出的烟尘占全市总排放量的2/5，二氧化硫占总排放量的1/10，烟云向东北方向绵延约5公里，致使下风向2公里范围内的树木大量落叶或叶片伤残。像片上显示的重度污染区内，树木稀少，树体小而颜色暗淡；中度污染区树木分散不成行，颜色橙黄；轻度污染区树木虽成行，但密度比外围低。三个等级区呈偏心环分布，表明二氧化硫主要向北、东北、西北方向扩散，这与树木生长季节的主导风向有关[2]。

三、城市热岛监测

城市热岛效应是现代城市由于人口密集、工业集中、形成市区温度高于郊区的小

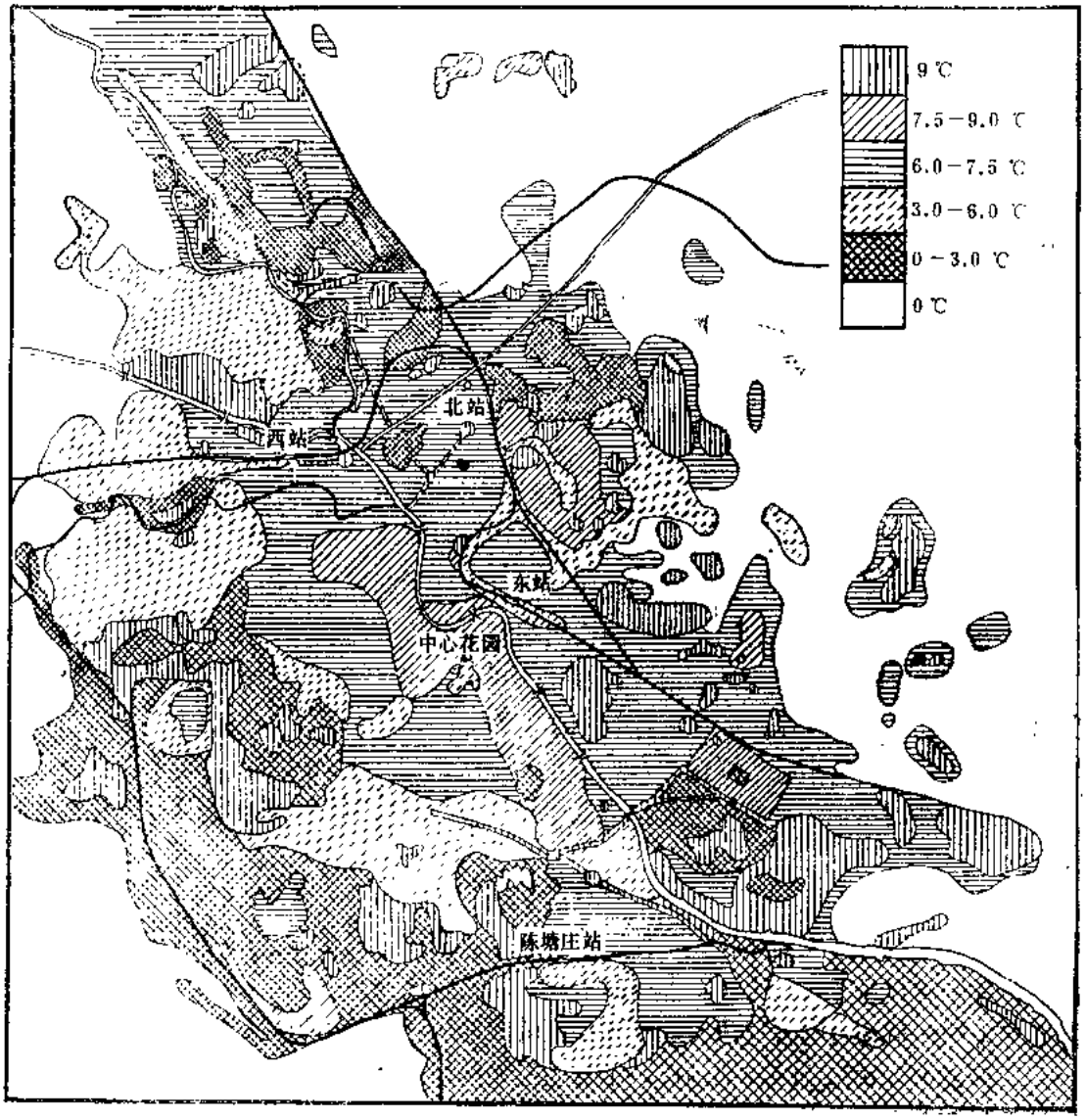


图 10-3　天津市瞬时热岛强度分布图
（1980 年 9 月 6 日 17:04～18:34）

气候现象。由于热岛的热动力作用，形成从郊区吹向市区的局地风，把从市区扩散到郊区的污染空气又送回市区，使有害气体和烟尘在市区滞留时间增长，加剧了市区的污染，因此城市热岛并不是单纯的热污染现象，是城市环境的一个不可缺少的重要组成部分。红外遥感图像反映了地物辐射温度的差异，能快速、直观而准确地显示出热环境信息，为研究城市热岛提供依据。

红外遥感得到的是地物的辐射温度，而城市热岛的定性是以气温为依据的。气温的高低取决于诸多因素，但大气低层的气温尤与地面辐射强弱紧密相关。一般认为，气温、辐射温度和地表温度是相辅相成的，都可作为研究热岛的依据。只要掌握了相对的温度情况，即可直接用遥感图像上的温度定标读取辐射温度；辐射温度经过订正，可换算出地表真实温度。图 10-3 是天津市瞬时热岛强度分布图。图中显示出的热岛形状与市区形状基本相似，热岛强度高，并有多个高峰区，最大温差可达9°C。根据不同时相的遥感资料，还可研究城市热岛的日变化和年变化规律。总结城市热岛与下垫面性质的相关关系，可以从城市规划入手，制约那些有利于形成城市热岛的因素，防止城市环境的进一步恶化。

第三节　水环境遥感

在江河湖海各种水体中，污染物种类繁多。为了便于用遥感方法研究各种水污染，习惯上将其分为泥沙污染、石油污染、废水污染、热污染和富营养化等几种类型，表 10-1 列举了各种污染水体在遥感影像上的特征。

表 10-1　水污染的遥感影像特征

污染类型	生态环境变化	遥感影像特征
泥沙污染	水体浑浊	在MSS5像片上呈浅色调，在彩色红外片上呈淡蓝、灰白色调，浑浊水流与清水交界处形成羽状水舌
石油污染	油膜覆盖水面	在紫外、可见光、近红外、微波图像上呈浅色调，在热红外图像上呈深色调，为不规则斑块状
废水污染	水色水质发生变化	单一性质的工业废水随所含物质的不同色调有差异，城市污水及各种混合废水在彩色红外像片上呈黑色
热污染	水温升高	在白天的热红外图像上呈白色或灰白色的羽毛状，也称羽状水流
富营养化	浮游生物含量高	在彩色红外图像上显红褐色或紫红色，在MSS7图像上呈浅色调
固体漂浮物		各种图像上均有漂浮物的形态

水体含沙量在遥感图像上的特征显示在本书第三章已有详细论述，这里不再重复。下面介绍其它几种污染的监测方法。

一、石油污染

海上或港口的石油污染是一种常见的水体污染（图版VIII-3）。遥感调查石油污染，不仅能发现已知污染区的范围和估算污染石油的含量，而且可追踪污染源。如果污染源是海上油轮，可根据遥感图像追究其法律责任；如果污染源不是来自人类活动，而是海底自然漏油，则可能发现新的油田。

石油与海水之间存在许多差别，在许多光谱段都能将二者分开，因此可用多种传感器进行监测。油膜在近紫外、蓝、绿、红、近红外波段均能成像，其中尤以紫外像片的效果最好，油膜呈白色调，在其它波段像片上油膜也呈浅色调。这是因为油膜表面致密平滑，反射率较水体高。但是油膜的发射率远低于水体，因此在热红外图像上呈深色调，而船航行时留下的航迹呈白色调，很容易区分。此外，根据油膜与海水在微波波段的发射率差异，还可利用微波辐射计测量二者亮度温度的差别。若建立油膜厚度与影像灰度之间的相关关系，则可以由遥感图像推求油膜厚度并估算污染水面的石油量。

二、废水污染

城市生活污水和各种混合型工业污水，往往都含有硫化物，混合后发生化学作用，常使水体呈黑褐色。在这种水体的光谱反射曲线上，没有明显的波峰和波谷，形状平直，反射率低，是消色体，在彩色红外像片上呈黑色。成分比较单一的工业污水在图像上有不同的显示。无色透明的工业污水，不管其浓度如何，基本上与纯水的反射特性一致，在图像上与纯水没有差别；有色透明的工业污水，其光谱曲线有与各自水色相对应的特征反射峰，污水色度越高，特征反射峰值越大，在图像上表现为深浅不同的颜色；无色浑浊的工业污水的反射率较纯水高，但没有明显的特征反射峰，在图像上色调较纯水浅；有色浑浊工业污水的反射率较纯水高，还存在与水色相对应的反射峰及与水中悬浮物质散射的某部分入射光相对应的特征峰区。由于水色与悬浮物性状千差万别，特征反射峰的位置和强度大不一样，故在影像上可能呈现多种色调。含有废油的水体，能显示油膜的光谱特性，在紫外或蓝波段图像上色调较浅。

污水不仅在色彩上与纯水存在差异，而且污水排放的控制点、扩散方式、稀释混合等特征也是识别污水的重要标志。污水的排放口一般与污染源（如工厂等）相距不远，或以渠道相通，且其周围污染水体的浓度相对较低。污水扩散特点有几种情形：(1) 在静止水体中，影像上显示的浅色污染区以排放口为中心，呈半圆形或喇叭形向外逐渐变暗，逐渐与周围水色一致；(2) 在流动的水体中，图像上显示的污染区位于排污口的下游，且面积不大，这是因为污水在流水作用下迅速扩散的缘故；(3) 在河口地区，由于潮水的周期性涨落，污水的展布形态也会发生变化，特别是当潮水上溯时，排污口的污水连成一片，一旦退潮，就会形成与排污口失去联系的离源浊流。

三、热污染

电力、钢铁、化学等工业中使用的冷却水，超过允许的热水排放标准而排入江河湖海时，使自然水体的温度上升，引起水体物理、化学和生物过程的变化，就构成了热污染。热污染常使水体中的龟虾蚌贝大量死亡；引用热污染的水灌溉农田，会影响农作物的生长。应用红外扫描仪记录地物的热辐射能量，能真实地反映地物的温度差异，所获取的遥感图像又称为热图像。在热图像上，热水温度高，发射的能量多，呈浅色调；冷水或冰发射的能量少，呈深色调。

在热图像上，热排水口排出的水流，通常呈白色或灰白色羽毛状，称热水羽流。羽流的影像，由羽根到羽尖，色调由浅逐渐变深，由羽流的中轴向外，色调也由浅变深；值得注意的是，有些污染水体也可能在热图像上呈浅色调，这时需要根据形状加以区别。

热水羽流的形状较明显，呈羽状或流线型絮状，色调最浅的中心区域即为排水口附近地区(图版 III-4，5)。浑浊水体中的悬浮物是良好的热载体，当水体流速极小时，水温不易扩散，使水面呈弥漫的雾状或黑白相间的絮状。混合污水是消色体，吸收太阳辐射的能力强，发射能力也强，呈均匀的浅色调。

利用光学技术或计算机对热图像作密度分割，根据少量的同步实测水温，可确切地绘出水体的等温线。例如湘潭钢铁厂向湘江排放的污水，在热红外图像上呈现为一白色条带——自排放口向下游延伸并向两侧扩展、温度逐渐降低的带状热污染区。热图像的密度分割结果表明：热污染水出口处温度最高，温度梯度大，温度由 19°C 很快降至 15°C，热交换作用强烈；当热污染水进入湘江后，由于温度已经比较低，温度梯度小，热交换作用微弱，在较长的距离内温度才由 15°C 逐渐降至 12°C。可见热红外图像基本上反映了热污染区温度场的特征，能达到定量解译的目的。

四、水体富营养化

生物体所需的磷、氮、钾等营养物质在湖泊、河口、海湾等缓流水体中大量富集，引起藻类及其它浮游生物迅速繁殖、水体溶解氧含量下降、水质恶化、鱼类及其它生物大量死亡的现象叫做水体富营养化。通常这种现象在江河湖泊中称为水华，在海中叫做赤潮。

当水体出现富营养化时，由于浮游植物中的叶绿素对近红外光具有明显的“陡坡效应”，因而这种水体兼有水体和植物的光谱特征。在可见光波段，反射率较低；在近红外波段，反射率明显升高，因此，在彩色红外图像下，富营养化水体呈红褐色或紫红色。

五、固体漂浮物污染

生活垃圾及洪水带来的各种动植物残骸漂浮在水体中，在回水区或静水区集聚，腐烂发酵使水体变质，就造成了污染。航空摄影能很快发现水体中漂浮聚集区，并估算其面积。

第四节　地面环境遥感

地面环境遥感包括两方面的内容，一是指对生态环境受到破坏的监测，如沙漠化、盐碱化、森林草场退化及自然灾害等，並通过遥感信息对其加以预报；另一是指对地面污染如垃圾堆放区，土壤受毒害等的监测。

一、生态环境的监测

森林或草场覆盖率是一个国家重要的国情指标，以往由于许多客观或主观上原因，人们的统计资料常与实际情况有较大的出入，而遥感图像则能相当精确地提供这一数据。

利用多时相遥感图像可以推测沙漠化的进程。沙漠地区几乎没有植被，但有沙丘或沙链等形态标志，能与周围地区明显区别开来。比较多年的沙漠区界线，就可得知沙漠的进退规律。

我国的黄土高原地区，沟壑纵横，在图像上，超过图像地面分辨率的冲沟都能辨认出

来。确定图像上的沟壑密度，就能对水土流失程度分区，从而为治理黄土高原提供依据。

盐碱化土地的分类，第六章已有论述，这里不再介绍。

二、植物病虫害的监测

健康植物在近红外波段有较高的反射率，受病虫害侵袭的植物在这个波段的反射率有所下降，在 MSS7 图像上色调由亮变暗。如用 MSS7 与 MSS5 的图像作比值处理，则更加夸大了健康植被与受病虫害侵袭的植被之间的灰度差异，可以取得较好的解译效果；此外，比值图像还能消除地形影响，也就是说解译山区植被时比值图像可取得比较好的效果。

值得注意的是大气污染、水体污染、土壤污染、病虫害及旱涝灾害都可使植物在近红外波段的反射率降低，因此在具体解译植被时，要综合地面情况加以具体分析，给予确定。

三、土壤污染的监测

土壤污染的监测也是通过植物的指示作用实现的。土壤酸碱度的变化和某些化学元素的富集会使某些植物的颜色、形态、空间组合特征出现异常，或者使一些植物种属消失，而出现另一些特有种属。据此规律反推，便可知土壤污染的类型和程度。例如钼的富集可导致树木死亡，非洲某地的钼矿体就是根据其在原始森林中形成的植被"天窗区"而被发现的。铀矿使植物发生白叶病和矮化症，而瓦斯则可使植物巨型化或开花异常。其它如锌、铜、硼、锰等矿体的指示植物也都是通过土壤作为媒介来相互指证的。

四、垃圾堆积区的监测

城市生活垃圾和工业垃圾常在规定的垃圾场堆积，在航空遥感像片上能显示出来。垃圾场一般呈圆锥形，在图像上有阴影伴随出现。如垃圾堆放时间过长，长满了植物，则不易与山丘区分，要根据实地调查情况加以确定。

参 考 文 献

[1] 陈述彭、赵英时，遥感地学分析，测绘出版社，1990年。

[2] 罗修岳、林树道、王长有，大气污染生物效应的遥感调查，天津-渤海湾地区环境遥感论文集，科学出版社，1985年。

图 版 说 明

图版 I　MSS 假彩色合成图像

1．黄河三角洲

2．渭河流域

3．长江口

4．滦河冲积扇、三角洲

5．琼州海峡(MSS7/MSS5 彩色编码)

6．琼州海峡(MSS5 彩色编码)

7．苏北海岸

8．闽北海岸

图版 II　MSS 假彩色合成图像

1．罗布泊(RBV)

2．新疆地区卫星影像镶嵌图

3．嘉峪关市幅

4．北京市幅

5．武汉市幅

6．肇源幅

图版III

1．NOAA-9　CH2，1，1，RGB(1985／4／11　5:35　G T) 渤海泥沙羽流

2．渤海湾泥沙羽流彩色密度分割图像

3．辽东湾海冰彩色密度分割图像

4．江苏某电厂排放的废水，白色温度最高，逐次降温分别呈红色，黄色，未经充分冷却就被取水道(青色) 抽取

5．涨潮时热电厂排出废热水的扩散模式影像

6．1986 年 5 月 15 日唐山地区 SPOT 图像(1，2，3波段，蓝、绿、红合成)

7．1987 年 9 月 17 日沙市荆江地区 TM 图像(TM1，4，5，蓝、绿、红合成)

8．唐山陡河水库瞬时温度场热红外图像密度分割图

图版 IV

1，2．云南腾冲地区彩色红外图像

3．经 RGB—IHS—PHS—RGB 图像处理的唐山市 SPOT 图像

4,5 唐山市区的彩色红外图像

6．加利福尼亚州、圣弗朗西斯科湾，4,7,8 波段合成的假彩色图像 (反映城市和植被)

7．加利福尼亚州、圣弗朗西斯科湾，3，1，7 波段合成为假彩色图像(反映海湾中泥沙羽流)

图版 V　MSS 图像注记

图版 VI　NOAA 7 气象卫星图像

1．渤海

2．中国东半部(CH4)

3．中国东半部(CH2)

图版 VII　NOAA 气象卫星图像

1．江苏、浙江沿海泥沙羽流

2．渤海湾、莱州湾泥沙羽流密度分割图像

3．苏北放射状潮流脊 MSS7图像

4．南黄海海流密度分割图像

图版 VIII　红外扫描图像

1．新疆帕尔岗地区

2．长春市(左：9 月 28 日 9 点 20 分图像；右：9 月 29 日 5 点图像)

3．城市热图像与排油污情况

图版 IX　腾冲地区红外扫描图像

1．上午 8:30 热阴影

2．下午 15:30 热阴影

3．晚 20:06 光晕效应

4．凌晨 5:45 地物自身发射辐射能量的状况

图版 X　机载合成孔径侧视雷达图像

1．石首市向家洲附近的荆江

2．荆南平原堤垸模式

图版 XI　MSS 图像

1．改道后的黄河三角洲　　2．改道前的黄河三角洲

3．巴丹吉林沙漠　　4．疏勒河冲积扇

图版 XII　MSS 图像

1．洞庭湖　　2．鄱阳湖(汛期)

3．鄱阳湖(枯水期)

图版 XIII　下荆江 MSS 图像

1．MSS7　　2．MSS6

3．MSS5

图版 XIV　渤海湾MSS6 图像

图版 XV　MSS 图像

1．长江下游河漫滩　　2．长白山火山

图版 XVI

1．广西宜山山字型构造(MSS7图像)

2．云南龙川江滑坡的红外扫描图像(8～8.9微米)

3．安徽宣城地区第四纪湖相堆积(MSS7图像)

4．云南腾冲地区黄瓜箐热泉的红外扫描图像(8～14微米)