

# 《遥感概论》课程电子讲义

丁建丽

新疆大学资源与环境科学学院

# 《遥感概论》课程讲义

## 第一章 遥感概述

本章从整体上简单介绍了遥感技术的全貌，目的是让同学们对遥感有一个大致的认识。遥感技术的根本目的在于获取目标地物的信息，为了获取这种信息，遥感采用了与传统技术不同的手段、角度、媒介，由此产生了与传统观察方法不同的效果和特点，从而遥感技术得到了广泛的应用。

本章重点是掌握遥感基本概念与遥感技术系统。

### 第一节 遥感基本概念

#### 1.1.1 遥感概念

遥感 (Remote Sensing) 泛指对地表事物的遥远感知。狭义的遥感特指通过遥感器这类对电磁波敏感的仪器，在远离目标和非接触目标物体条件下探测目标地物，获取其反射、辐射或散射的电磁波信息，进行处理、分析与应用的一门科学和技术。遥感通常是指通过某种遥感器从空中或太空获取地表各类地物信息，并对这些信息进行提取、分析，以此来测量与判定地表目标地物的性质或特性。

#### 1.1.2 观测对象及其特征

遥感的观测对象主要是地球表层的各类地物，也包括大气、海洋和地下矿藏中不同成分。地球表层各类地物都具有两种特征，一是空间几何特征，一是物理、化学、生物的属性特征。

#### 1.1.3 特点与优势

遥感技术是 20 世纪 70 年代起迅速发展起来的一门综合性探测技术。遥感技术发展速度之快与应用广度之宽是始料不及的。仅经过短短 30 多年的发展，遥感技术已广泛应用于资源与环境调查与监测、军事应用、城市规划等多个领域。究其原因，在于遥感具有客观性、时效性、宏观性与综合性、经济性的特点。

### 第二节 遥感技术系统

#### 1.2.1 空间信息获取系统

地球表面地物目标空间信息获取主要由遥感平台、遥感器等协同完成。

遥感平台 (Platform for Remote Sensing) 是安放遥感仪器的载体，包括气球、飞机、人造卫星、航天飞机以及遥感铁塔等。

遥感器 (Remote Sensor) 是接收与记录地表物体辐射、反射与散射信息的仪器。目前常用的遥感器包括遥感摄影机、光机扫描仪、推帚式扫描仪、成像光谱仪和成像雷达。按其特点，遥感器分为摄影、扫描、雷达等几种类型。

#### 1.2.2 遥感数据传输与接收

空间数据传输与接收是空间信息获取和空间数据应用中必不可少的中间环节。

遥感器接收到地物目标的电磁波信息，被记录在胶片或数字磁带上。从遥感卫星向地面接收站传输的空间数据中，除了卫星获取的图像数据以外，还包括卫星轨道参数、遥感器等辅助数据。这些数据通常用数字信号传送。遥感图像的模拟信号变换为数字信号时，经常采用二进制脉冲编码的 PCM 式 (pulse code modulation: 脉冲编码调制)。由于传送的数据量非常庞大，需要采用数据压缩技术。

卫星地面接收站的主要任务是接收、处理、存档和分发各类地球资源卫星数据。地面站接收的卫星数据通常被实时记录到 HDDT (high density digital tape, 高密度磁带) 上, 然后根据需要拷贝到 CCT (computer compatible tape, 计算机兼容磁带)、光盘、盒式磁带等其他载体上。CCT、光盘、盒式磁带等是记录、保存、分发卫星数据等最常用的载体。

### 1.2.3 遥感图像处理

遥感图像处理是在计算机系统支持下对遥感图像加工的各种技术方法的统称。遥感图像处理依赖于一定的图像处理设备。对于数字图像处理系统来说, 它包括计算机硬件和软件系统两部分。硬件部分包括: 计算机 (完成图像数据处理任务)、显示设备 (高分辨率真彩色图像显示)、大容量存贮设备、图像输入输出设备等。软件部分包括: 由数据输入、图像校正、图像变换、滤波和增强、图像融合、图像分类、图像分析以及计算、图像输出等功能模块。

### 1.2.4 遥感信息提取与分析

遥感信息提取是从遥感图像 (包括数字遥感图像) 等遥感信息中有针对性地提取感兴趣的专题信息, 以便在具体领域应用或辅助用户决策。遥感信息分析指通过一定的方法或模型对遥感信息进行研究, 判定目标物的性质和特征或深入认识目标物的属性和环境之间的内在关系。

## 第三节 遥感主要应用领域

### 1.3.1 外层空间遥感

利用探空火箭、人造卫星、人造行星和宇宙飞船等航天运载工具, 对外层空间进行的遥感探测。在不久的将来外层空间遥感将会取得丰硕的成果。

### 1.3.2 大气遥感

探测仪器不和大气介质直接接触, 在一定距离之外, 感知大气的物理状态、化学成分及其随时空的变化, 这样的探测技术与方法称大气遥感。

### 1.3.3 海洋遥感

海洋遥感以海洋和海岸带作为研究与监测对象, 其内容涉及到海洋学多个领域, 如利用遥感技术监测海洋的环流、表面温度、风系统、波浪、生物活动等。卫星海洋遥感已成为海洋科学的新兴分支。在未来几年, 中国将发射一系列海洋卫星, 实现对中国及周边海域甚至全球海洋的遥感动态监测。

### 1.3.4 陆地遥感

陆地遥感是遥感技术应用最早、应用范围最为广阔深入的一个方面。陆地遥感主要为资源与环境遥感。

### 1.3.5 军事遥感

遥感技术是现代战争“制高点”。侦察卫星从太空轨道上对目标实施侦察、监视或跟踪, 以搜集地面、海洋或空中目标军事情报。

## 第四节 遥感技术与展望

### 1.4.1 遥感技术发展简史

1957 年 10 月 4 日, 苏联第一颗人造地球卫星的发射成功, 标志着人类从空间观测地球和探索宇宙奥秘进入了新的纪元;

1960 年开始, 美国发射了 Television Infrared Observation Satellite (TIROS-1) 和 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA-1) 太阳同步气象卫星, 开始利用航天器对地球进行长期观测;

1960 年美国人 Evelyn Pruitt 提出遥感一词；

1972 年 ERTS-1 发射（后改名为 Landsat-1），装有 MSS 传感器，分辨率 79 米，标志着遥感进入新阶段；

1982 年 Landsat-4 发射，装有 TM 传感器，分辨率提高到 30 米；

1986 年法国发射 SPOT-1，装有 PAN 和 XS 传感器，分辨率提高到 10 米；

1988 年 9 月 7 日中国发射的第一颗“风云 1 号”气象卫星，其主要任务是获取全球的昼夜云图资料及进行空间海洋水色遥感试验；

1999 年美国发射 IKONOS，空间分辨率提高到 1 米；

1999 年 10 月 14 日中国成功发射资源卫星 1 号；

#### 1.4.2 遥感技术发展趋势

随着人类对遥感技术的逐渐认识，观测技术的进步和社会需求的增加，遥感正经历着技术不断完善、能力不断增强、应用领域不断扩大的发展过程。社会需求成为遥感技术发展的动力和目标。在 21 世纪前叶，人类将进入一个多层、立体、多角度、全方位和全天候对地观测的新时代。

## 第二章 电磁波谱与地物波谱特征

遥感技术是建立在物体电磁波辐射理论基础上的。由于不同物体具有各自的电磁波反射或辐射特性，才可能应用遥感技术探测和研究远距离的物体。理解并掌握地物的电磁波发射、反射、散射特性，电磁波的传输特性，大气层对电磁波传播的影响是正确解释遥感数据的基础。

本章重点是掌握可见光近红外、热红外和微波遥感机理，以及地物波谱特征。

### 第一节 电磁波与电磁波谱

#### 2.1.1 电磁波与电磁波谱

##### 1. 电磁波

一个简单的偶极振子的电路，电流在导线中往复震荡，两端出现正负交替的等量异种电荷，类似电视台的天线，不断向外辐射能量，同时在电路中不断的补充能量，以维持偶极振子的稳定振荡。当电磁振荡进入空间，变化的磁场激发了涡旋电场，变化的电场又激发了涡旋磁场，使电磁振荡在空间传播，这就是电磁波。

##### 2. 电磁辐射

电磁场在空间的直接传播称为电磁辐射。1887 年德国物理学家赫兹由两个带电小球的火花放电实验，证实了电磁场在空间的直接传播，验证了电磁辐射的存在。装载在遥感平台上的遥感器系统，接收来自地表、地球大气物质的电磁辐射，经过成像仪器，形成遥感影像。

##### 3. 电磁波谱

$\gamma$  射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线和无线电波（微波、短波、中波、长波和超长波等）在真空中按照波长或频率递增或递减顺序排列，构成了电磁波谱。

目前遥感技术中通常采用的电磁波位于可见光、红外和微波波谱区间。可见光区间辐射源于原子、分子中的外层电子跃迁。红外辐射则产生于分子的振动和转动能级跃迁。无线电波是由电容、电感组成的振荡回路产生电磁辐射，通过偶极子天线向空间发射。微波由于振荡频率较高，用谐振腔及波导管激励与传输，通过微波天线向空间发射。由于它们的波长或频率不同，不同电磁波又表现出各自的特性和特点。可见光、红外和微波遥感，就是利用不同电磁波的特性。电磁波与地物相互作用特点与过程，是遥感成像机理探讨的主要内容。

#### 4 . 电磁辐射的性质

电磁辐射在传播过程中具有波动性和量子性两重特性。

##### 2.1.2 电磁辐射的传播

电磁辐射通过不同的介质时，其强度、波长、相位、传播方向和偏振面等将发生变化，这些变化可能是单一的，也可能是复合的。电磁波可以采用频率、相位、能量、极化等物理参数来描述。电磁波在传播中遵循波的反射，折射，衍射，干涉，吸收，散射等传播规律。

##### 2.1.3 电磁辐射的测量与度量单位

遥感信息是从遥感器定量记录的地表物体电磁辐射数据中提取的。为了测量从目标地物反射或辐射的电磁波的能量，这里介绍两种电磁辐射的测量方式和度量单位：

1 . 辐射测量 ( radiometry )，以伽玛射线到电磁波的整个波段范围为对象的物理辐射量的测定。

| 物理量              | 文字描述                     | 度量单位                      | 计算公式                            | 备注                                         |
|------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 辐射能Q             | 以辐射形式发射、传输或接受的能量         | 焦耳 ( J )                  |                                 |                                            |
| 辐射通量 $\Phi$      | 单位时间内通过一个任意面的辐射能量        | 瓦特 ( J / s )              | $\Phi = dQ / dt$                | 辐射通量是波长的函数，总辐射通量应该是各波段辐射通量之和或辐射通量的积分值      |
| 辐射通量密度 $w$       | 通过单位面积的辐射通量              | $W \cdot m^{-2}$          | $w = \frac{d\Phi}{dS}$          | 辐射通量密度又分别用辐射出射度和辐照度来表示                     |
| 辐射强度 $I$         | 点辐射源在单位立体角内发出的辐射通量称为辐射强度 | $W / sr$                  | $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$     |                                            |
| 辐射度 ( 辐射亮度 ) $L$ | 扩展源表面法线方向单位面积、单位立体角的辐射通量 | $W / s \cdot r \cdot m^2$ | $L = \frac{d\Phi}{d\omega' dS}$ | 一个立方角的含义是：用来描述辐射能向空间发射、传输或被某一表面接受时的发射或会聚角度 |

2 . 光度测量 ( photometry )，由人眼的视觉特性 ( 标准光度观察 ) 评价的物理辐射量的测定。

| 物理量     | 定义                             | 计算公式                                                      | 度量单位                                | 备注 |
|---------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|----|
| 光谱辐射能   | 相对于某特定波长的辐射能                   | $Q_{\lambda} = \frac{\partial Q}{\partial \lambda}$       | 流明秒 lms                             |    |
| 光谱辐射通量  | 由人眼的视觉特性来评价的辐射通量               | $\Phi_{\lambda} = \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}$ | 流明 ( lm )                           |    |
| 光谱辐射出射度 | 离开某单色光源表面时单位面积的辐射通量            | $M_{\lambda} = \frac{\partial M}{\partial \lambda}$       | 流明 每 平 米<br>( lm / m <sup>2</sup> ) |    |
| 光谱辐照度   | 投射在单位面积上的光通量。                  | $E_{\lambda} = \frac{\partial E}{\partial \lambda}$       | 勒克斯 ( lx )                          |    |
| 光谱辐射强度  | 某单色光源在某方向范围内发出的可见光辐射强弱的物理量。    | $I_{\lambda} = \frac{\partial I}{\partial \lambda}$       | 坎[德拉]<br>( cd )                     |    |
| 光谱辐射亮度  | 某单色光源在给定方向上单位面积、单位立体角内所发出的光通量。 | $L = \frac{\partial L}{\partial \lambda}$                 | Cd / m <sup>2</sup>                 |    |

## 第二节 大气对电磁辐射的影响

### 3.1 大气的吸收与散射

太阳辐射有时习惯称作太阳光，太阳光通过地球大气照射到地面，经过地面物体反射又返回，再经过大气到达航空或航天遥感平台，被安装在平台上的传感器接收。这时传感器探测到的地表辐射强度与太阳辐射到达地球大气上空时的辐射强度相比，已有了很大的变化，这种变化主要受到大气主要成分影响。大气主要成分可分为二类：气体分子和其它微粒。它们对电磁辐射具有吸收与散射作用。

#### 1) 大气吸收作用

太阳辐射穿过大气层时，大气分子对电磁波的某些波段有吸收作用，吸收作用使辐射能量变成分子的内能，引起这些波段的太阳辐射强度衰减。

2) 大气散射作用。大气中的粒子与细小微粒如烟、尘埃、雾霾、小水滴及气溶胶等对大气具有散射作用。散射的作用使在原传播方向上的辐射强度减弱，增加了向其他各个方向的辐射。我们把辐射在传播过程中遇到小微粒而使传播方向改变，并向各个方向散开的物理现象，称为散射。散射现象的实质是电磁波传输中遇到大气微粒产生的一种衍射现象，大气散射有以下三种情况：

- (1) 瑞利散射。当大气中粒子的直径小于波长  $1/10$  或更小时发生的散射。
- (2) 米氏散射。当大气中粒子的直径大于波长  $1/10$  到与辐射的波长相当时发生的散射。
- (3) 无选择性散射。当大气中粒子的直径大于波长时发生的散射。这种散射的特点是散射强度与波长无关，任何波长的散射强度相同，因此称为无选择性散射。

#### 2.3.2 大气折射和透射

大气折射现象 电磁波穿过大气层时，除了吸收和散射两种影响以外，还会产生传播方向的改变，产生折射现象。大气的折射率与大气圈层的大气密度直接相关。

大气透射现象 太阳电磁辐射经过大气到达地面时，可见光和近红外波段电磁辐射被云层或其它粒子反射的比例约占 30%，散射约占 22%，大气吸收约占 17%，透过大气到达地面的能量仅占入射总能量的 31%。反射、散射和吸收作用共同衰减了辐射强度，剩余部分即为透过的部分。剩余强度越高，透过率越高。对遥感传感器而言，透过率高的波段，才对遥感有意义。

#### 2.3.3 辐射传输

辐射传输是电磁辐射与不同介质相互作用的复杂过程。遥感器，无论是航空器或航天器所载，所接收的电磁辐射都包括来自地面的辐射和来自大气的辐射。在可见光与近红外波段，遥感器观测方向的目标反射辐射经大气散射和吸收之后进入遥感器视场，这一部分经过大气衰减的能量中含有目标信息。但由于太阳入射辐射中，有一部分能量在未达到地面之前就被大气散射和吸收了，其中有一部分散射能量进入了遥感器视场，这一部分能量（通常称之为程辐射）中不含有任何目标信息。另外，由于周围环境的存在，入射到环境表面的辐射被其反射后有一部分经过大气散射后而进入遥感器视场，另一部分又被大气反射到目标表面，再被目标表面反射和大气透过进入遥感器视场。这样，遥感器对地观测获取的信息中，既包括了目标地物信息，也包括了部分大气信息和地物周围环境的信息，这直接影响到遥感图象解译和定量分析。为此，多年来研究者一直对辐射传输过程进行研究，建立了辐射传输理论。辐射传输理论是描述电磁辐射传播通过介质时与介质发生相互作用（如吸收、散射、发射等）而使辐射能按照一定规律传输的规律性知识。这一规律集中体现在辐射传输方程（表征电磁辐射在介质中传播过程的方程）上。电磁辐射在地 — 气系统中传输的过程受到多种因素影响，因此辐射传输方程的求解非常复杂。为了求得方程解，一般需要对辐射传输方程进行简化。

### 第三节 地物波谱特征

地物的电磁波响应特性随电磁波长改变而变化的规律，称为地物波谱。地物波谱是电磁辐射与地物相互作用的结果。不同的物质反射、透射、吸收、散射和发射电磁波的能量是不同的，它们都具有本身特有的变化规律，表现为地物波谱随波长而变的特性，这些特性叫做地物波谱特性。地物的波谱特征是遥感识别地物的基础。

#### 2.2.1 太阳辐射与地物反射波谱

被动遥感的辐射源主要来自与我们人类最密切相关的两个星球，即太阳和地球。其中太阳是最主要的辐射源。

##### 1. 太阳辐射

指太阳发出的电磁波辐射，习惯上称为太阳光。太阳辐射在从近紫外到中红外这一波段区间内能量最集中而且相对来说最稳定，太阳强度变化最小。太阳辐射接近于温度为 6150K 的黑体辐射太阳的电磁辐射主要集中在波长较短的部分，即从紫外、可见光到近红外区段。太阳最大辐射的对应波长  $\lambda_{\max} \text{ 日} = 0.47 \mu\text{m}$ 。就遥感而言，被动遥感主要利用可见光、红外波段等稳定辐射，而主动遥感则利用微波，使太阳活动对遥感的影响减至最小。

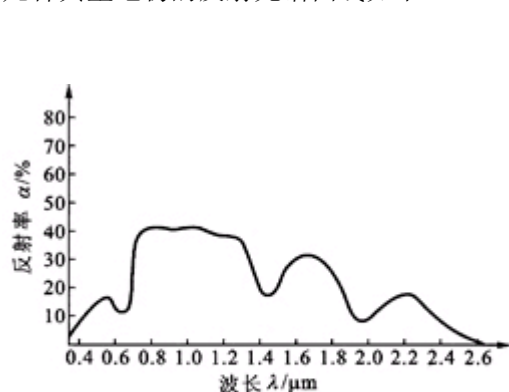
##### 2. 地物反射

太阳光通过大气层射到地球表面，地物会发生反射作用。物体对电磁波谱的反射能力用反射率表示。

##### 3. 地物反射波谱

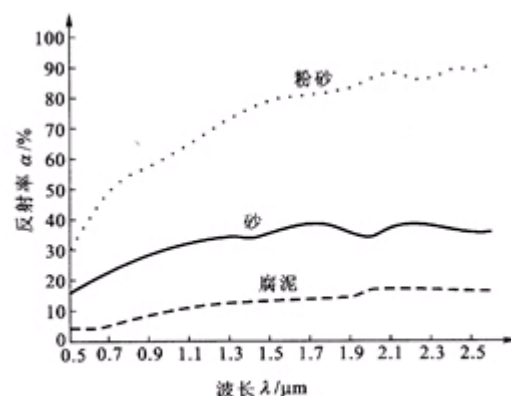
从紫外、可见光至近红外，遥感器接受的主要是来自地物反射太阳辐射的能量，因此，在这一波长范围内的地物波谱研究，主要是研究地物的反射波谱。地物的反射波谱是研究地面物体反射率随波长的变化规律。地物波谱曲线的形态很不相同。除了不同地物反射率不同外，同种地物在不同的内部和外部条件下反射率也不同。一般说来，反射率随波长的变化，有规律可循，从而为遥感影像的判读提供依据。

几种典型地物的反射光谱曲线如下：



绿色植物反射波谱曲线

资料来源：梅安新，彭望琚，秦其明等。《遥感导论》p39



三种土壤的反射波谱曲线

资料来源：梅安新，彭望琚，秦其明等。《遥感导论》p40

研究发现，在自然界中，大部分地物的波谱值，具有一定的变化范围，同一地物在同一谱段上具有不同的波谱值，多波段地物波谱测量数据分布在一定宽度的条带内。当一类地物波谱变化范围与另一类地物波谱变化范围部分重叠时，地物波谱具有重叠性。

#### 2.2.2 地物的热辐射

##### 1. 热辐射物理基础

大量观测事实证明，宇宙中的各种物体，如太阳、各种星体、一定厚度的大气层、人造飞行器、地球及地球上各种生物、非生物都是热辐射源，它们一刻不停的辐射电磁波。电磁辐射能的强弱及其按波长的分布，决定于物体的性质与温度，这种电磁辐射，称为热辐射，也称为温度辐射。

热辐射中的几个概念：

绝对黑体：在任何温度下，对任何波长的入射辐射的吸收系数（率）恒等于 1 的物体，即 1。显然，绝对黑体的反射率 = 0，透射率 = 0。自然界不存在绝对黑体，试验中的黑体是人工方法制成的。

维恩位移定律（Wien's Displacement Law）：是指黑体的光谱出射度极值对应的波长与温度  $T$  成反比的规律。

斯忒藩 - 玻耳兹曼定律（Stefan-Boltzmann's Law）：该定律揭示了绝对黑体总辐射出射度随温度变化的定量关系。从普朗克公式也可得出黑体出射度与温度的关系。

基尔霍夫定律（Kirchhoff's Law）：该定律揭示了物体的光谱辐射出射度与吸收系数（率）的比值，是波长、温度的普适函数，它与物体的性质无关。

## 2. 地表物体自身热辐射

观测表明，地球辐射接近于温度为 300K 的黑体辐射。地球最大辐射的对应波长  $\lambda_{\max}$  地 =  $9.66 \mu\text{m}$ ，地球自身的辐射主要集中在波长较长的部分即  $6 \mu\text{m}$  以上的热红外区段。在这一区段太阳辐射的影响几乎可以忽略不计，因此可以只考虑地表物体自身的热辐射。

### （1）黑体或绝对黑体

发射率 = 1，即对所有波长黑体发射率都是一个常数 1（反射率 = 0，透射率 = 0）。

### （2）灰体

发射率 = 常数  $< 1$ ，即灰体的发射率始终小于 1 且不随波长变化（反过来说，物体对各种波长的吸收率小于 1，又近似地为一常数）。

### （3）选择性辐射体

其发射率随波长而变化（具有选择性吸收），而且  $< 1$ 。

自然界中，绝大多数物体为灰体。

## 2.2.3 微波辐射与雷达遥感

微波遥感具有特有的全天候、全天时对地观测能力及一些地物穿透能力。成像雷达主动发射电磁辐射，对地表粗糙度，介电性质地敏感性，多波段，多极化特性使之成为最重要地对地观测前沿领域之一。成像雷达所提供的信息是地物对于雷达信号的后向散射。影响地物对雷达信号的后向散射能力的因素有：表面状况（如：地形，粗糙程度）、电学性质（介电常数）及含水量等。

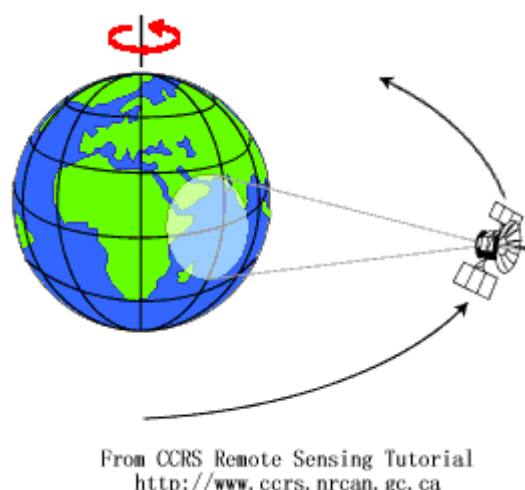
## 2.2.4 地物波谱特性的测量

地物波谱是遥感研究的基础。在电磁波中只有可见光和近红外波段（ $0.3 - 2.5 \mu\text{m}$ ）是以地球表面反射为主的区间，多数传感器使用这一区间，作为目前和今后研究地球表面特性的主要波段。可见光和近红外地物光谱的测试可以有三方面作用：传感器波段的选择、验证、评价；建立地面、航空和航天遥感数据的定量关系；建立地物相关和应用模式。反射光谱特性的测量主要通过样品的实验室测量和野外测量两种方法。

# 第三章 遥感成像与影像特征

遥感影像即遥感平台上的传感器远距离对地表扫描或者摄影获得的影像，根据一定的标准可分为不同类型。不同的遥感技术系统既保证了遥感影像的获取又决定了遥感影像的特征。了解遥感影像的获取过程及遥感影像的特征，对于影像解译、应用具有重要的意义。本章将从遥感平台、传感器等技术系统出发，介绍遥感影像的获取过程和遥感影像的特征。

本章重点是掌握遥感器与遥感影像特征的关系，了解常见的遥感信息获取系统。



## 第一节 遥感平台与遥感影像特征

### 3.1.1 遥感平台

遥感平台指放置遥感传感器的运载工具，是遥感中“遥”字的体现者。遥感平台按高度及载体的不同可分为地面平台、航空平台、航天平台三种。

(1) 近地平台指遥感器搭载的遥感平台距离地面高度在 800m 以下，包括系留气球（500-800m）、50m 至 500m 的牵引滑翔机和无线遥控飞机遥感、遥感铁塔（30m-400m）、遥感吊车（5-50m）、地面遥感测量车等遥感平台。

(2) 航空平台指遥感器搭载的遥感平台为航空器。它包括距离地面高度小于 1000 米的航空摄影测量，2000~20000 米中空飞机遥感、20000 米以上的高空飞机遥感。

(3) 航天平台，其遥感器搭载的遥感平台为航天器。其中：航天飞机和天空实验室轨道高度在 240-350 千米，军事侦察卫星在 150~300km，陆地卫星或地球观测卫星轨道高度在 700-900 千米，其获取的地面图像的地面分辨率为 1-80 米不等，地球静止卫星的轨道高度在 36000 千米左右，其获取的卫星影像的地面分辨率偏低。

选择遥感平台的主要依据是遥感图像空间分辨率。一般说来，近地遥感地面分辨率高，但观测范围小；航空遥感地面分辨率中等，其观测范围较广。航天遥感地面分辨率低，但覆盖范围广。

### 3.1.2 卫星轨道

随着遥感技术的发展，各种地球资源卫星提供了越来越多的卫星遥感图像（简称卫星图像）。卫星图像有几个优点：宏观性好，成本低，周期性好。卫星运行轨道对卫星图像具有多种影响，有必要加以了解。根据开普勒定律，人造地球卫星在空间的位置可以用几个特定数据来确定，这些数据称为轨道参数，如图 (3-3)。对地观测卫星轨道一般为椭圆形，轨道有 6 个参数：① 半长轴  $a$ ，即卫星离地面的最大高度，它用来确定卫星轨道的大小；② 偏心率  $e$ ，决定卫星轨道的形状；③ 轨道面倾角  $i$ ，地球赤道平面与卫星轨道平面间的夹角；④ 升交点赤经  $W$ ，卫星轨道与地球赤道面有两个交点，卫星由南向北飞行时与地球赤道面的交点称为升交点，卫星由北向南飞行时与地球赤道面的交点称为降交点；⑤ 近地点角距  $w$ ，升交点向径与轨道近地点向径之间的夹角；⑥ 卫星过近地点的时刻  $T$ ，对于卫星的跟踪和预报来说，上述参数中最重要的轨道参数是轨道倾角  $i$  和升交点赤经  $\Omega$ ，它们确定了卫星的轨道相对于地球的方位，但还必须知道椭圆轨道半长轴的方向。

### 3.1.3 遥感平台与遥感影像的关系

1 遥感平台与遥感影像的关系主要表现在以下方面：

- 1.1 平台的运行高度影响着遥感影像的空间分辨率。
- 1.2 获取同一地区影像的周期称为遥感影像的时间分辨率。平台的运行周期决定着遥感影像的时间分辨率。
- 1.3 平台的运行时刻（或卫星星下点的地方时）决定着探测区域的太阳高度，从而间接决定着遥感影像的色调及阴影。
- 1.4 平台运行稳定状况决定着所获取遥感影像的质量。
- 1.5 特殊的遥感任务对遥感平台有特殊的要求。

## 2 平台轨道面倾角与覆盖范围

一般遥感卫星  $i$  约为  $90^\circ$ ，为近极轨卫星。轨道面倾角的大小决定了卫星可能飞越地面的覆盖范围，例如 Landsat 的轨道面倾角为  $99^\circ$ ，地面覆盖范围为  $81^\circ\text{S}\sim 81^\circ\text{N}$ （南纬  $81^\circ$  到北纬  $81^\circ$ ）。

## 3 平台轨道与对地观测时间

遥感卫星通常都采用太阳同步轨道。所谓太阳同步轨道指卫星轨道面与太阳地球连线之间的夹角不随地球绕太阳公转而改变。太阳同步轨道可以使卫星通过任意纬度的平均地方时保持不变。从而使卫星能够在太阳光照角基本相同的条件下对地观测，这样给遥感资料的处理带来很大的方便，比如能够方便遥感图象的色调对比等。

## 第二节 遥感器与遥感影像特征

### 3.2.1 遥感器的一般组成与特征

遥感器一般由采集单元、分光单元、探测与信号转化单元、记录或通信单元组成。

1. 采集单元：把来自地面的电磁波采集起来的功能单元。不同的遥感器有不同的采集元件。基本的采集元件是透镜、反射镜和天线。
2. 分光单元：把混合光分解为不同波段光谱的功能单元。
3. 探测与信号转化单元：探测分光后的电磁波并把它们转换成其他形式信号的功能单元。
4. 记录或通信单元：遥感器的记录单元是将探测到的电磁波信息用适当的介质记录下来。记录的介质有：胶片、磁带、和磁盘等。通信单元是将探测到的电磁波信息传输到异地的接收装置。

### 3.2.2 遥感器特性与遥感构像参数

本节以扫描成像类型的遥感器为例，讨论遥感器的特性与遥感构像的关系。遥感器特性决定着遥感构像的特征。遥感器收集与记录地球表面观测目标的反射、辐射能量，遥感器的以下特性影响着遥感构像：

1. 遥感器探测阵列单元的尺寸决定了遥感构像的空间分辨率。在使用扫描仪探测地面目标时，载着地物分布信息和属性信息的电磁波，通过大气层进入遥感器，遥感器内部的探测单元阵列对地物分布进行成像。此时的图像空间分辨率是指遥感器中探测阵列能把两个目标作为两个清晰的实体记录下来的两目标间的最小距离，它可以采用图像视觉清晰度来衡量。
2. 遥感器探测元件的辐射灵敏度和有效量化级决定了遥感构像的辐射分辨率。辐射分辨率是指遥感器探测元件在接收电磁辐射信号时能分辨的最小辐射度差。探测分光后的电磁波并把它转换成电信号的元件称为探测元件，其作用是光电变换并在实现这种变换的过程中完成信息的传递。
3. 在遥感器设计中，波谱分辨率设计必然要考虑的因素是：
  - 1). 使用多少波谱波段；
  - 2). 如何确定所用波段在总光谱范围中的位置。
  - 3). 如何确定所用的各个波段的波谱带宽度；

上述三个问题，都与遥感器设计目的和制造遥感器的工艺技术水平有关。遥感器设计

目的和制造遥感器的工艺技术水平（分光及滤光系统能力、探测器阵列和不同波段间配准）决定了遥感构像的波谱分辨率。波谱分辨率是指遥感器在接收目标辐射的波谱时能分辨的最小波长间隔。间隔愈小，波谱分辨率愈高，反之则低。

随着制造遥感器的工艺技术水平进步，遥感器使用的波谱波段正在迅速增加。成像光谱仪在可见光 - 红外波段范围内，被分割成几百个窄波段，具有很高的光谱分辨率，从其近乎连续的光谱曲线上，可以分辨出不同物体光谱特征的微小差异，有利于识别更多的目标。对于高光谱遥感来说，不同波段之间的相关系数将随着波长间隔距离的增加而单调地减少。

确定一个波段在总光谱范围中的位置，需要考虑使用该波段对地观测的特点，根据地物反射或辐射特性来选择最佳位置。如探测地物自身热辐射，应在  $8-12\mu\text{m}$  波长范围选择最佳位置，而探测森林火灾等则应在  $3-5\mu\text{m}$  波长范围选择最佳位置，才能取得好效果。此外，确定一个波段位置，还要考虑波段与波段之间的平衡分布，作为一个通用遥感器，还需要考虑与已有遥感器兼容。

### 第三节 常见的遥感信息获取系统

#### 3.3.1 光学成像类型

光学照相机是最早的一种遥感器，也是今天常见的一种遥感器。它的工作波段在近紫外到近红外（ $0.32 \sim 1.3$  微米）之间，对不同波段的感应决定于相机的分光单元和胶片类型。空间分辨率决定于光学系统的空间分辨率和胶片里所含银盐颗粒的大小。空间分辨率高是光学相机获取的遥感影像的普遍特性。用于遥感的光学相机有以下几种类型：分幅式摄影机、全景摄影机、多光谱摄影机等。

#### 3.3.2 扫描成像类型

##### 1. 光学—机械扫描仪

光学—机械扫描（简称光机扫描）成像系统，一般在扫描仪的前方安装可转动的光学镜头，并依靠机械传动装置使镜头摆动，形成对地面目标的逐点逐行扫描。遥感器光谱分辨率依赖于不同分光器和探测元件，其辐射分辨率取决于探测元件的灵敏度。在光机扫描所获得的影像中，每条扫描带上影像宽度与图像地面分辨率分别受到总视场和瞬时视场的影响。总视场（FOV）是遥感器能够受光的范围，决定成像宽度。瞬时视场角（IFOV）决定了每个像元的视场。一般说来，瞬间视场角对应的地面分辨单元是一个正方形，该正方形是瞬间视场角对应的地表面积。严格说来，光机扫描中瞬间视场角对应的每个像元是个矩形。光机扫描成像时每一条扫描带都有一个投影中心，一幅图象由多条扫描带构成，因此遥感影像为多中心投影。每条扫描带上影像的几何特征服从中心投影规律，在航向上影像服从垂直投影规律。

##### 2. 推帚式扫描仪

推帚式扫描采用线列（或面阵）探测器作为敏感元件，线列探测器在垂直于飞行方向上做 X 向排列，当飞行器向前飞行完成 Y 向扫描时，线列探测器就向刷子扫地一样实现带状扫描，推帚式扫描由此而得名。与光学—机械扫描相比，推帚式扫描代表了更为先进的遥感器扫描方式。它具有感受波谱范围宽、元件接受光照时间长，无机械运动部件，系统可靠性高、噪声低、畸变小、体积小、重量轻、功耗小、寿命长等一系列优点。SPOT 卫星上搭载的高分辨率传感器（HRV）采用就是推帚式扫描系统。SPOT 图像上空间分辨率由相邻光敏元件中心点间距确定（像素分辨率），卫星在标准轨道高度上飞行时，SPOT 图像上像素分辨率在全色波段为 13 微米，多光谱波段为 26 微米，对应地面分辨率分别为  $10 \times 10$  和  $20 \times 20$  平方米，其空间分辨率高于陆地卫星上的 TM 图像。SPOT-5 卫星于 2002 年 5 月 3 日晚上由阿里亚娜 4 型火箭送入太空。它与前 4 颗 SPOT 卫星相比，SPOT-5 卫星有较大改进，并携带有新的仪器设备。其中包括：① 高分辨率立体成像仪，这是新增加的最重要的仪器设备，它能同时获取两幅图像，因此可用于制作更为精确的地形图和高程图；

② 两台高分辨率几何成像仪，通过把 2 张 5 米 分辨力图像相叠加的技术，可把全色图像分辨力提高到 2.5 米 分辨率；③ 植被相机，几乎每天可实现全球覆盖，图像的分辨率为 1 千米 。

### 3.3.3 成像光谱仪

成像光谱仪是遥感领域中的新型遥感器，它把可见光、红外波谱分割成几十个到几百个波段，每个波段都可以取得目标图像，同时对多个目标图像进行同名地物点取样，取样点的波谱特征值随着波段数愈多愈接近于连续波谱曲线。这种既能成像又能获取目标光谱曲线的“谱像合一”的技术称为成像光谱技术，按该原理制成的遥感器称为成像光谱仪。

这类成像光谱仪的特点是，探测器积分时间长，像元的凝视时间增加，可以提高系统灵敏度或空间分辨率；在可见光波段，由于目前器件成熟，集成程度高，光谱维的分辨率也可以提高到 1—2nm 的水平；成像部件无需机械运动，仪器体积比较小。目前在可见光、近红外波段，此类成像光谱仪很多，有的已经达到商品化的水平。其主要不足之处是，受器件限制，短波红外灵敏度还不理想，热红外暂时不可能。具有代表性的面阵推帚型机载成像光谱仪是加拿大的 CASI 系统，中国研制的成像光谱仪 PHI 也属于这种类型。成像光谱仪影像的光谱分辨率高，每个成像波段的宽度可以精确到 0.01nm，有的甚至到 0.001nm。成像光谱仪获得的数据不是传统意义上某个多光谱波段内辐射量的总和，它可以看成是对地物连续光谱中抽样点的测量值如图 3-11。一些在宽度波段遥感中不可探测的物质，在高光谱遥感中有可能被探测出来。

### 3.3.4 微波成像系统

在电磁波谱中，波长在 1mm 到 1m 的波段范围称为微波。微波遥感是研究微波与地物相互作用机理以及利用微波遥感器获取来自目标地物发射或反射的微波辐射，并进行处理分析与应用的技术。微波遥感分为主动微波遥感与被动微波遥感。微波成像系统主要以成像雷达为代表，它属于主动微波遥感。

（1）真实孔径侧视雷达（Real Aperture Radar，RAR）孔径（aperture）的原意是光学相机中打开快门的直径。在成像雷达中沿用这个术语，含义变成了雷达天线的尺寸。真实孔径侧视雷达，是按雷达具有的特征来命名的，它表明雷达采用真实长度的天线接收地物后向散射并通过侧视成像。

RAR 工作原理 在最简单的实现方法中，距离分辨率是利用发射的脉冲宽度或持续时间来测定的，最窄的脉冲能产生最优的分辨率。在典型的二维微波图像中，距离是沿雷达平台的航迹测量的，雷达通过天线发射微波波束，微波波束的方向是垂直于航线方向，投在一侧形成窄长的一条辐射带。波束遇到地物后发生后向散射，雷达上的接收机通过雷达天线按时间顺序先后接收到后向散射信号，并按次序记录下后向能量的强度，在此基础上计算机算出距离分辨率。方位与距离保持垂直，方位分辨率与波束锐度成正比关系。正如光学系统需要大的透镜或镜像来获得较优分辨率一样，工作在它们极低频率上的雷达也需要较大的天线或孔径来产生高分辨率的微波图像。

（2）合成孔径侧视雷达（Synthetic Aperture Radar，SAR）合成孔径雷达就是利用雷达与目标的相对运动把尺寸较小的真实天线孔径用数据处理的方法合成一个较大的等效天线孔径的雷达。合成孔径雷达是对真实孔径侧视雷达（RAR）的技术创新的产物。

利用合成孔径替代真实孔径，提高雷达的方位向分辨率。合成孔径的设计思想就是通过一定的信号处理方法，使得合成孔径雷达的等效孔径长度相当于一个很长的真实孔径雷达的天线。由于合成孔径等于目标处于同波束内雷达所行进的距离，因此它是一个虚拟的天线长度，合成孔径雷达提高了方位分辨率。

通过合成孔径技术可以提高方位分辨率，但无法解决距离分辨率提高的问题。距离分辨率是根据区分相邻两点之间的回波延时和多普勒频移来实现的。于是 RAR 和 SAR 利用线性

调频技术，解决时带的矛盾，进而提高距离分辨率。

目前，加拿大 Radarsat 卫星提供的 SAR 图象已经进入商业运营。Radarsat-1 卫星于 1995 年 11 月 4 日发射成功，设计寿命 5 年，至今仍在正常运行，Radarsat-2 计划在近期内发射。卫星高度 790 ~ 800km，倾角  $98.5^{\circ}$ ，太阳同步轨道，雷达采用 C 波段（波长 5.6cm），HH 极化，波束入射角在  $0 \sim 60^{\circ}$  范围内可调（表 4-），用户可根据应用要求和地形条件选择合适的角度来获取图像。宽束模式 Scan SAR 可以降低分辨率而得以频繁地获取同一地区的图像。不同成像模式为用户提供分辨率从 10m 到 100m 的图像数据，以便于用户将 Radarsat 数据与其他传感器数据进行复合。

#### 第四节 遥感构像的几何特征

##### 3.4.1 分幅式航空摄影仪构像的几何特征

分幅式航空摄影仪拍摄的航空照片是对于地面点的中心投影像片。所谓中心投影，就是平面上各点的投影光线均通过一个固定点（投影中心或透视中心），投射到一平面（投影平面）上形成的透视关系。

##### 3.4.2 全景摄影机构像的几何特征

在全景摄影机构像中，随着物镜筒的转动，地表物体在后方向弧形胶片上聚焦成像。对于每条狭缝的形成，其几何关系等效于一个画幅式航空摄影机沿旁向倾斜一个扫描角  $\theta$  后，以中心线（ $y=0$ ）成像的情况，同样，多光谱扫描仪获取的影像也存在投影变形。由于在动态扫描的情况下，其构像方程都是对应于一个扫描瞬间（相对于某一像素或某一条扫描线）而建立的，不同成像瞬间的传感器外方位元素可能各不相同，因而相应的变形误差方程式只能表达该扫描瞬间像幅上相应点、线所在位置的局部变形，整个图像的变形将是所有瞬间局部变形的综合结果。

##### 3.4.3 连续航带缝隙式摄影机构像的几何特征

连续航带缝隙摄影机垂直于航行方向，当飞行器以速度  $v$  向前运行时，感光底片也同时以速度  $v$  同向卷动，从而使底片被缝隙连续暴光形成航带影像。连续航带缝隙式摄影机摄影所用的狭窄缝隙与飞行器的飞行方向垂直，在每条缝隙曝光的瞬间，其构像的几何形态为中心投影，在垂直成像条件下，CCD 线列推帚式传感器与连续航带缝隙式摄影机成像方式相同，影像在旁向属于中心投影，在航向上属于以时间为参数的正射投影，因此，连续航带缝隙式摄影机构像共线方程和附加构像方程同样适用于 CCD 线列推帚式传感器，但此时，附加构像方程中的  $v_f$  代表扫描行间隔的电子采样记录速度，而不代表卷片速度。

##### 3.4.4 侧视成像雷达构像的几何特征

侧视雷达采用斜距投影，它与摄像机中心投影方式完全不同。其构像方程根据侧视雷达工作方式分为以下两种：平面扫描斜距构像方程和圆锥扫描斜距构像方程，由侧视雷达构像方程可知：侧视雷达在方位向和距离向用不同的方法记录影像。在方位向上，当地物目标通过照射波束时，雷达记录一个特征条带；在距离向，雷达测量从飞机到地形目标的距离。在侧视雷达构成的微波影像中，RAR 真实孔径雷达分辨率是由成像雷达的斜距分辨率和方位向分辨率决定的，它们分别由脉冲的延迟时间和波束宽度来控制。对于合成孔径雷达来说，微波影像方位向分辨率与波束宽度和多普勒频移的识别精度等有关。这点不同于摄影成像的分辨率与扫描影像的分辨率。

##### 3.4.5 立体观测构像

目前，在已发射和计划发射的一些遥感卫星具备立体观测功能（主要的立体观测卫星及观测参数见表 3-11），早期立体观测与航空立体摄影相似，用摄影机进行，如 Spacelab 上的 RMKA30/23 相机和 SIS-41G 次航天飞机上的 LFC 大像幅相机的立体摄影。后来在航天遥感使用的 CCD 相机上附加能左右步进旋转的平面镜，可以在相邻轨道间进行立体摄影

(旁向倾斜摄影)。由于邻轨在不同日期过境,时间、光照、姿态的差异及气象条件的制约,往往要求的时间内很难获得理想的立体像对。一些卫星开始利用二台或多台 CCD 相机进行同轨立体观测(前后向),将 CCD 相机设计成前视、下视和后视(或平面镜前后步进式旋转),卫星过境时获取三幅互相间能构成立体的影像。

除了以上立体卫星外,雷达卫星可以通过相同轨道的重复观测,或者在不同轨道的观测来获取同一地区影像也可以构成立体模型成像(注意:光学立体成像是视觉意义上的),这部分可以参阅第六章 InSAR 和 D-InSAR 有关内容。

## 第四章 遥感图像处理

遥感技术的目的是为了获得地物的几何属性和物理属性。原始的遥感图像并不能地提供实现这个目的所需的准确而完备的条件。为了实现这个目的,原始遥感影像需要经过图像处理,来消除成像过程中的误差,改善图像质量。

遥感图像处理包括以下几个阶段:图像的校正(预处理),图像的变换,图像的增强,图像的分类。所采用的手段有:光学图像处理和数字图像处理两种方法。

本章重点是掌握几何校正与图像变换方法。

### 第一节 遥感图像的校正

由于遥感成像过程中多种因素影响,致使遥感图像质量的衰减。遥感图像数据的校正处理就是消除遥感图像因辐射度失真、大气消光和几何畸变等造成的图像质量的衰减。遥感图像质量衰减产生的原因和作用结果都不相同,因此一般采用不同的校正处理方法。

#### 4.1.1 辐射校正

针对遥感图像辐射失真或辐射畸变进行的图像校正。由于这种校正正是通过纠正辐射亮度的办法来实现的,因此称作辐射校正。

##### 1、造成遥感图像辐射畸变的因素

- (1) 由遥感器的灵敏度特性引起的辐射失真
- (2) 太阳高度及地形引起的辐射失真

##### 2、辐射校正的方法

总的来说,辐射校正的方法有两种:一是分析辐射失真的过程,建立辐射失真的数学模型,然后对此数学模型求逆过程,用此逆过程求得遥感图像失真前的图像;二是利用实地测量的地物的真实辐射值,寻找实测值与失真之后的图像之间的经验函数关系,从而得到辐射校正的方法。显然,第一种校正方法是与失真过程有关的,第二种校正方法是与失真过程无关的。

#### 4.1.2 大气校正

为消除由大气的吸收、散射等引起失真的辐射校正,称作大气校正。

##### 1、影响遥感图像辐射失真的大气因素

- (1) 大气的消光(吸收和散射)
- (2) 天空光(大气散射)照射
- (3) 路径辐射

##### 2、大气校正方法

常用的大气校正方法有两类。一类为基于理论模型的方法,该方法必须建立大气辐射传递方程,在此基础上近似地求解。另一类方法为基于经验或统计的方法,如回归分析方法。

利用大气辐射传输方程来建立大气校正模型在理论上是可行的。实现精确的大气校正,必须找到每个波段像元亮度值和地物反射率的关系。这需要知道模型中成像时刻气溶胶的密

度、水汽的浓度等大气参数。在现实中，一般很难得到这些数据，需要专门的观测来准确地测量这些数据，因此其方法应用受到一定限制。

#### 4.1.3 几何校正

##### 1. 几何校正

校正遥感图像成像过程中所造成的各种几何畸变称为几何校正。影响图像几何畸变的因素主要包括：

- (1) 遥感器的内部畸变：由遥感器结构引起的畸变，如遥感器扫描运动中的非直线性等。
- (2) 遥感平台的运行状态：包括由于平台的高度变化、速度变化、轨道偏移及姿态变化引起的图像畸变。
- (3) 地球本身对遥感图像的影响：包括地球的自转、高程的变化、地球曲率等引起的图像畸变。

几何校正包括几何粗校正和几何精校正。几何校正的方法有两种：一是分析几何畸变的过程，建立几何畸变的数学模型，然后对此数学模型求逆函数（改为过程），用此逆函数（改为过程）求得遥感图像畸变前的图像。二是利用实地测量的地物的真实坐标值，寻找实测值与畸变之后的图像之间的函数关系，从而得到几何校正的方法。实际工作中常常将两种方法结合起来。

##### 2. 几何校正的方法

一般地面站提供的遥感图像数据都经过几何粗校正，因此这里主要介绍一种通用的精校正方法。该方法包括两个步骤：

第一步是构建一个模拟几何畸变的数学模型，以建立原始畸变图像空间与标准图像空间的某种对应关系，实现不同图像空间中像元位置的变换；

第二步是利用这种对应关系把原始畸变图像空间中全部像素变换到标准图像空间中的对应位置上，完成标准图像空间中每一像元亮度值的计算。

实现两个图像空间的转换通常有两种方法，即直接转换法与重采样法。

##### (1) 直接转换法

从原始畸变图像空间中的像元位置出发，建立空间转换关系，确定每个像元在标准图像空间中的正确位置。

##### (2) 重采样法

该方法的特点是用标准图像空间中的像元点  $G$  位置反求其在原始畸变图像空间的共轭点  $F(X, Y)$ ，然后再利用某种方法确定这一共轭点的灰度值，并把共轭点的灰度值赋给标准图像空间对应点  $g$ 。

重采样法能够保证校正空间中网格像元呈规则排列，因而是最常用的几何精校正方法之一。

双线性内插法比与最近邻法相比，计算量增加了，但提高了精度，改善了灰度不连续现象及线状特征的块状化现象。其缺点是这种方法对图像起到平滑作用，使图像变得模糊。由于这种方法计算量和精度适中，因而常常被采用。

##### (3) 双三次卷积内插法

该方法采用一元三次多项式来近似函数。从理论上讲，函数是最佳的插值函数，它考虑到原始畸变图像空间中共轭点周围其它像元对共轭点灰度值都有各自的贡献，并认为这种贡献随着距离增加而减少。为了提高内插精度，双三次卷积内插法采用共轭点周围相邻的十六个点来计算灰度值，这种一元三次多项式内插过程实际上是一种卷积运算，故称为双三次卷积内插。该方法的优点是内插获得好的图像质量，细节表现更为清楚。但位置校正要求更准确，对控制点选取的均匀性要求更高。其缺点是数据计算量大。

## 第二节 图像变换

遥感图像数据量很大，直接在空间域中进行处理，涉及计算量很大。因此，往往采用各种图像变换的方法对图像进行处理。在图像处理中，常常将图像从空间域转换到另一种域，利用这种域的特性来快速、方便地处理或分析图像（如傅立叶变换可在频域中进行数字滤波处理），将空间域的处理转换为变换域的处理，不仅可减少计算量，而且可获得更有效的处理，有时处理结果需要再转换到空间域。这种转换过程称为图像变换。遥感影像处理中的图像变换不仅是数值层面上的空间转换，每一种转换都有其物理层面上的特定的意义。遥感图像处理中的图像变换主要有：傅立叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换、小波变换、K-L 变换、KT 变换等。这里主要介绍傅立叶变换、K-L 变换和 KT 变换三种方法。

### 4.2.1 傅立叶变换

傅立叶变换是图像处理中最常用的变换。它是进行图像处理和分析的有力工具。

#### 1、傅立叶变换的数学定义

传统的傅立叶变换是一种纯频域分析，它可将一般函数  $f(x)$  表示为一簇标准函数的加权求和，而权函数亦即  $f$  的傅立叶变换。设  $f$  是  $R$  上的实值或复值函数，则  $f$  为一能量有限的模拟信号，具体定义如下：

一维傅立叶变换.

#### 2、图像傅立叶变换的物理意义

图像的频率是表征图像中灰度变化剧烈程度的指标，是灰度在平面空间上的梯度。如：大面积的沙漠在图像中是一片灰度变化缓慢的区域，对应的频率值很低；而对于地表属性变换剧烈的边缘区域在图像中是一片灰度变化剧烈的区域，对应的频率值较高。

傅立叶变换在实际中有非常明显的物理意义，设  $f$  是一个能量有限的模拟信号，则其傅立叶变换就表示  $f$  的谱。从纯粹的数学意义上看，傅立叶变换是将一个函数转换为一系列周期函数来处理的。从物理效果看，傅立叶变换是将图像从空间域转换到频率域，其逆变换是将图像从频率域转换到空间域。换句话说，傅立叶变换的物理意义是将图像的灰度分布函数变换为图像的频率分布函数，傅立叶逆变换是将图像的频率分布函数变换为灰度分布函数。

#### 3、傅立叶变换的实现方法

傅立叶变换的实现方法有两种：一是光学图像处理方式，一是数字图像处理方式。

##### (1) 光学傅立叶变换

##### (2) 数字图像处理中的傅立叶变换

由于运算过程中傅立叶变换的指数部分是周期重复的，充分利用这一特性可减少计算步骤，加快计算速度，由此发展出了一套快速傅立叶变换算法。现在的数字图像处理普遍采用这种算法。傅立叶变换在图像平滑、边缘增强、去噪声、纹理分析等图像处理和分析中有重要应用，这将在下一节图像增强中详细介绍。

### 4.2.2 K-L 变换

K-L 变换在遥感图像处理中又称作主成份分析或主分量分析。遥感多光谱影像波段多，一些波段的遥感数据之间有不同程度的相关性，造成了数据冗余。K-L 变换的作用就是保留主要信息，降低数据量，从而达到增强或提取某些有用的信息的目的。

从几何意义来看，变换后的主分量空间坐标系与变换前的多光谱空间坐标系相比，旋转了一个角度，而且新的坐标系的坐标轴一定指向数据信息量较大的方向。以二维空间为例，假定某图像像元的分布为椭圆状，那么经过旋转后新坐标系的坐标轴一定分别沿椭圆的长半轴和短半轴方向——主分量，因为长半轴这一方向信息量最大。

基于上述特点，在遥感数据处理时常常用 K—L 变换作数据分析前的预处理，可以实现数据压缩和图像增强的效果。

K-L 变换在数据压缩和图像增强中有广泛的应用。

#### 4.2.3 缨帽变换 Tasseled cap

缨帽变换又称  $K_T$  变换。是一种经验性的多波段图像的线性变换,是 Kauth 和 Thomas (1976) 在研究 MSS 图像反映农作物和植被的生长过程时提出的。在研究过程中他们发现 MSS 四个波段组成的四维空间中,植被的光谱数据点呈规律性分布,像缨帽状。缨帽变换也是一种线性变换,它也遵循一般线性变换的形式。

### 第三节 遥感图像增强

图像增强是为了突出图像中的某些信息(如强化图像高频分量,可使图像中物体轮廓清晰、细节明显),同时抑制或去除某些不需要的信息来提高遥感图像质量的处理方法。图像增强可以改善图像质量,使之更适于人的视觉或机器识别系统。遥感图像增强主要包括空域增强、频域增强、色彩增强等方法。

#### 4.3.1 空域增强

在图像处理中,空域是指由像素构成的空间。空域增强包括空域变换增强与空域滤波增强两种。空域变换增强是基于点处理的增强方法,空域滤波增强是基于邻域处理的增强方法。

##### 1、空域变换增强

常用的空域变换增强方法包括:对比度增强、直方图增强和图像算术运算等。

##### 2、空域滤波增强

空间滤波又称空间域滤波(spatial filtering),这是在图像空间几何变量域上直接修改图像数据,抑制噪声,改善图像质量的方法。常用方法包括:图像卷积运算、边缘增强、平滑滤波、定向滤波等。

#### 4.3.2 频域滤波增强

频率滤波又称频率域滤波(spatial filtering),它通过修改遥感图像频率成分来实现遥感图像数据的改变,达到抑制噪声或改善遥感图像质量的目的。频率域滤波的基础是傅立叶变换和卷积定理。在图像增强问题中, $g(x, y)$  是待增强的图像,一般是给定的,在利用傅立叶变换获取频谱函数  $G(u, v)$  后,关键是选取滤波器  $H(u, v)$ ,若利用  $H(u, v)$  强化图像高频分量,可使图像中物体轮廓清晰,细节明显,这就是高通滤波,若强化低频分量,可减少图像中噪声影响,对图像平滑,这就是低通滤波。此外,还有其它的滤波器。本节下面讨论的所有滤波器函数都是以原点径向对称的,它是在规定的剖面上,从原点出发沿半径方向画出一个随距离变化的函数,然后利用剖面绕原点旋转 360 度,得到滤波器函数。下面分别介绍几种常用的滤波器。

##### 1、低通滤波

低通滤波又称“高阻滤波器”,它指抑制图像频谱的高频信号而保留低频信号的一种模型(或器件)。在遥感图像中,物体边缘和其它尖锐的跳跃(如噪声)对频率域的高频分量具有很大的贡献,通过低通滤波,可以抑制地物边界剧变的高频信息,以及孤立点噪声。低通滤波起到突出背景或平滑图像的增强作用。常用的低通滤波包括理想低通滤波器、巴特沃思低通滤波器(Butterworth)、指数低通滤波器、梯形低通滤波器等。

##### 2 高通滤波

又称“低阻滤波器”,它是一种抑制图像频谱的低频信号而保留高频信号的模型(或器件)。高通滤波可以使得高频分量畅通,而频域中的高频部分对应着图像中灰度急剧变化的地方,这些地方往往是物体的边缘。因此高通滤波可使得图像得到锐化处理。常用的高通滤波包括理想高通滤波器、巴特沃思高通滤波器、指数高通滤波器、梯形高通滤波器等。

##### 3 带阻滤波与带通滤波

带阻滤波器是一种抑制图像频谱的中间频段而允许高频与低频畅通的滤波器。该滤波器的作用是滤除遥感图像中特定频谱范围内的信息。带通滤波器是一种抑制图像频谱中的高频与低频而允许中间频段畅通的滤波器。通常该滤波器用于突出遥感图像中特定频谱范围内的目标。

#### 4.3.3 彩色增强

人的视觉对彩色的分辨能力远远高于对灰度的分辨能力,通常人眼能分辨的灰度有十几个等级,但可以分辨 100 多种彩色层次。彩色增强就是根据人的视觉特点,将彩色用于图像增强之中,这是提高遥感图像目标识别精度的一种有效方法。

彩色合成增强是将多波段黑白图像变换为彩色图像的增强处理技术。根据合成影像的彩色与实际景物自然彩色的关系,彩色合成分为真彩色合成和假彩色合成两种。真彩色合成是指合成后的彩色图像上地物色彩与实际地物色彩接近或一致,假彩色合成是指合成后的彩色图像上地物色彩与实际地物色彩不一致,通过彩色合成增强,可以从图像背景中突出目标地物,便于遥感图像判读。

### 第四节 数据融合

#### 4.4.1 概念与简介

多种遥感数据源信息融合是指利用多种对地观测技术所获取的关于同一地物的不同遥感数据,通过一定的数据处理技术提取各遥感数据源的有用信息,最后将其汇集(融合, Fusion, Merge)到统一的空间坐标系(图像或特征空间)中进行综合判读或进一步的解析处理,通过多种信息的互补性表现,提高多源空间数据综合利用质量及稳定性,提高地物识别、解译与决策的可靠性及系统的自动化程度的技术。

数据融合的概念始于 70 年代。进入 20 世纪 90 年代以后,随着多种遥感卫星的发射成功,从不同遥感平台获得的不同空间分辨率和时间分辨率的遥感影像形成了多级分辨率的影像金字塔序列,给遥感用户提供了从粗到精、从多光谱到高光谱的多种遥感数据源。数据融合的发展在一定程度上解决了多种数据源综合分析的问题。

#### 4.4.2 数据融合前处理

##### 1. 图像几何校正与配准

影像配准是数据融合处理中的关键步骤,其几何配准精度直接影响融合影像的质量。通常情况下,不同类型的传感器影像之间融合时,由于它们成像方式的不同,则其系统误差类型也不同。如 SPOT 与 TM 数据融合时,SPOT 的 HRV 传感器是以 CCD 推帚式扫描成像的,而 TM 则是通过光机扫描方式成像的,因而不同类型影像进行融合时必须经过严密的几何校正,分别在不同数据源的影像上选取控制点,用双线性内插或三次卷积内插运算对分辨率较低的图像进行重采样,改正其误差,将影像投影到同一的地面坐标系统上,为图像配准奠定基础。

在实践中,可以统一采用数字化地形图作为基础底图,分别对不同遥感器产生的图像进行几何精校正,使它们具有统一的投影方式和坐标系统,以便不同类型或不同时相的遥感影像之间的几何配准和精确融合。

#### 4.4.3 常用的数据融合方法

多源遥感影像数据融合在国际上经过多年研究,技术上日趋成熟。目前,常用的遥感影像的融合方法,主要有:以像元为基础的加权融合、HSI 变换、K-L 变换,比值变换;基于小波理论的特征融合、基于贝叶斯法则的分类融合以及以局部直方图匹配滤波技术为基础的影像数据融合等。

#### 4.4.4 遥感影像与非遥感数据融合

在仅用遥感数据难以解决问题的时候,可以加入非遥感数据进行融合。非遥感数据包括

地质、气象、水文等自然专题信息，也包括行政区划、人口、经济收入等人文与经济信息，这些信息可以作为遥感数据的补充，有助于综合分析客观规律，提高判读的科学性，因此遥感数据与地理数据的融合也是遥感分析过程中不可缺少的手段。

航空与航天数据是以网格的形式记录，而地面采集的地理数据则常以多等级，多量纲的形式反映下垫面的状况，数据格式也呈多样化。因此，为了使各种地理数据与遥感数据兼容，要将获取的非遥感数据按照一定的地理网格系统重新量化和编码，以完成各种地理数据的定量和定位，产生的新的数据。它们可以作为与遥感数据类似的若干独立的波段，以便和遥感数据融合。

融合步骤如下：

### 1 、地理数据的网格化

为了使非遥感的地理数据与遥感数据融合，前提条件是必须使地理数据可作为遥感数据的一个“波段”，这就是说通过一系列预处理，使地理数据 ① 成为网格化的数据；② 空间分辨率与遥感数据一致；③ 对应地面位置与遥感数据配准。

### 2 、最优遥感数据的选取

融合时的遥感数据常常只需一个或二个波段的数据，例如：为使分辨率优化而选，取 SPOT 数据的全色波段，当用 TM 数据时，则可选用 K — L 变换后的前二个波段，达到减少数据量保持信息量的目的。

### 3 、非遥感数据与遥感数据的融合

在完成分辨率与位置配准处理后多采用两种方法：① 非遥感数据与遥感数据共组成三个波段（不同数据源波的数目比例为 1 ： 2 或 2 ： 1 ）实行假彩色合成。② 两种数据直接叠加（参考遥感数据融合），例如：波段之间作加法或其它数学运算，也可以波段之间做适当的“与”“或”等布尔运算。

## 第五章 遥感图像目视解译

遥感的主要目的之一就是地物识别。目视解译运用了解译者的综合知识，对遥感对象进行分析、识别。这些知识有：遥感基础知识、地学背景知识等。目视解译是许多遥感应用项目的先遣工作，是遥感应用的基础。同时遥感目视解译的研究也为研究遥感信息的计算机自动理解提供了基础。目视识别工作本身也是有规律可循的。本章内容主要介绍了目视解译的原理、方法、要领和 workflows 等，最后还介绍了遥感制图的一些知识。

本章重点是掌握如何建立目视解译标志，掌握遥感图象目视解译方法与工作步骤，熟悉常见的遥感图象解译。

### 第一节 遥感图像目视解译原理

#### 5.1.1 遥感图像目标地物特征

遥感影像包括航空影像和卫星影像。常用的航空影像以航空相片为主，常用的卫星影像以 TM 和 SPOT 图像为主。把这些图像放大来看，它们都是由一行行、一列列的像元构成。像元是遥感影像中最基本的单元，有时也把像元称为像素。各个像元按照行列方式排列，构成一个点阵，宏观上表现为一幅遥感图像。遥感图像目视解译的目的是从遥感图像中获取需要的地学专题信息，它需要解决的问题是判读出遥感图像中有哪些地物，它们分布在哪里，并对其数量特征给予粗略的估计。因此，我们必须掌握遥感图像目标地物特征。概括说来，目标地物特征包括“色、形、位”三大类。

色——指目标地物在遥感影像上呈现的颜色特征。

形——指目标地物在遥感影像上表现的形状特征。

位——指目标地物在遥感影像上的空间位置特征。

地面各种目标地物在遥感图像中存在着不同的色、形、位的差异，构成了可供识别的目标地物特征。目视解译人员依据目标地物的特征，作为分析、解译、理解和识别遥感图像的基础。

#### 5.1.2 目视解译的生理与心理基础

目视解译是人与遥感图像相互作用的复杂认知过程，它涉及到目视解译者生理与心理许多环节。为了更好地理解目视解译过程，这里对目视解译的生理与心理基础作一简单介绍。

人的眼睛是目视解译的重要器官，眼球的构造与功能在获取信息的许多方面类似照相机。依据生理学的功能划分，人的眼睛由以下部分组成：眼球壁和折光部分，其中眼球壁分为外膜、中膜和内膜（图 5—3），它们在获取图像信息中具有不同的作用。

当眼睛观察遥感图像时，图像信息从每只眼睛的视网膜沿着视神经向上传导。视神经由视神经孔入颅腔形成交叉后，延为视束。在视交叉中，大约半数的视神经纤维进入对侧的大脑，另一半仍留在原来的一侧，即视交叉处两个视网膜鼻侧一半的神经纤维相互交叉，与对侧眼睛的颞侧（靠近耳朵的部位）视神经汇合。因此在视交叉后面的右视束包括来自两眼视网膜右侧半的神经纤维，左视束含有来自两眼视网膜左侧半的神经纤维，每个大脑半球接受本侧视网膜外侧和对侧视网膜内侧的神经纤维，由于视神经的这种交叉方式刺激两个视网膜相应点所引起的神经冲动，通过同一神经通路传到同侧半球，而来自两个视网膜对侧的神经冲动不能传输到同一神经通路，所以进入不同两个脑半球外侧膝状体接受来自视网膜的神经纤维，并发出神经纤维到大脑两半球，继续传输神经冲动到大脑的皮层枕叶的视区。在人类的大脑皮层，所有的视神经纤维终止于枕叶皮层的纹区，即视觉皮层。视觉皮层包括大脑每一半球内侧面的距状裂周围的区域，从外侧膝状体传入的神经纤维与视觉皮层细胞相联结，一个特定的皮层区是一个由特定的视网膜区得到输入的，它只会受到一个限定的视网膜区的影响。

从以上的情况看，大脑对图像信息加工有三个特点：多级加工，多通道传输，多层次处理，信息并联与串联结合。上述信息获取与加工过程这启发我们在图像解译时必须注意人类的生理特点。

除了人类的生理特点影响遥感图像解译外，人类心理特点在遥感图像解译中也存在着一定的影响，这些特点包括：

（1）遥感图像解译过程中，在同一时刻中只有一种地物是目标地物，图像的其余部分则是作为目标地物的背景出现，此时人类注意力集中在目标地物上。

（2）目标地物识别时，目视者过去的经验与知识结构对目标物体的确认具有导向作用。因此，遥感图像上同一个目标地物，不同的解译者可能会得出不同的结论。

（3）心理惯性对目标地物的识别具有一定影响。在观察目标地物的图形结构时，空间分布比较接近的物体，图形要素容易构成一个整体。

（4）观察的时效性。实验证明，遥感图像辨识需要一段时间，这期间内，目视者先区分目标地物和背景，然后辨认目标的细节，最后构成一个完整的图像知觉，为了正确地辨认图像中的目标地物，需要一个最低限度的时间才能够完成。

#### 5.1.3 目视解译的认知基础

遥感图像知觉形成的客观条件：实验证明，色调完全均一致或者颜色完全相同的图像是不能产生图像知觉的，这如同我们翻看一张清洁的白纸一样。目视判读遥感图像时，只有在遥感图像上存在着颜色差异或者色调的差异时，并且这种差异能为判读者视觉所感受，才有可能将地物目标与背景区别开。这是图像知觉形成的客观条件。

遥感图像的认知过程：遥感图像解译是一个复杂的认知过程，对一个目标的识别，往往需要经历几次反复判读才能得到正确结果。概括来说，遥感图像的认知过程包括了自下向上的信息获取、特征提取与识别证据积累过程和自上向下的特征匹配、提出假设与目标辨识过程。

遥感图像目视判读认知过程的分析，有助于指导遥感图像目视解译，也为计算机解译中使用专家系统方法提供了认知基础。

## 第二节 遥感图像目视解译基础

### 5.2.1 遥感摄影像片的判读

#### 1. 遥感摄影像片的种类：

1839 年摄影像机问世，法国人达格雷（Dagurre）发表了第一张航空像片，开始了人们利用遥感摄影像片认识地理环境的进程。从 1913 年开始，摄影技术用于地质研究。在利比亚采用常规航空摄影的镶嵌图编制了“本戈逊”地区的油田地质图。第二次世界大战中，航空像片被广泛应用于军事目的，它有力的推动了遥感摄影像片解译技术的发展。

遥感技术的发展，提供了多种遥感摄影像片。经常可以见到的遥感摄影像片包括可见光黑白全色像片、黑白红外像片、彩色像片和多波段摄影像片。

黑白全色像片：采用的胶片乳剂感光范围在 0.36 -0.72mm 之间，能感受全部可见光。

黑白红外像片：感光乳剂中加入增感剂，使感光范围由可见光扩展到近红外波段。由于植被类型在近红外波段具有较高的光谱反射率，采用红色滤光片对红外像片胶片曝光后，可以增强目标地物与背景的反差，在不同植被之间增加反差。在黑白红外像片上看到的地物色调，与人们日常熟悉的真实景物不同，它的明暗色调是由地物在近红外波段反射率强弱所决定的。

彩色像片：分为天然彩色片和红外彩色片两种。

天然彩色片采用的胶片乳剂分别对蓝色、绿色和红色敏感，彩色胶片上记录的影像信息，经过显影洗印后能较真实地还原出物体自然色彩，亦称真彩色片。

红外彩色片的胶片乳剂分别对绿色、红色和近红外光敏感，经过显影洗印后获得的彩红外像片上各种地物颜色与人们日常熟悉的真实景物不同，原来的绿色地物被赋予蓝色，原来的红色地物被赋予绿色，反射红外线的地物被赋予红色。所以红外彩色片是假彩色片或伪彩色片。红外彩色片具有一些不同于彩色像片的特点，它可被应用到农业土地资源调查和森林资源调查，也可以应用在军事方面，探测伪装的军事设施。

#### 2. 遥感摄影像片特点与解译标志

##### (1) 摄影像片主要特点

遥感摄影像片绝大部分为大中比例尺像片，在像片中各种人造地物的形状特征与图型结构清晰可辨，这为解译者提供了更多的依据。

遥感摄影像片绝大部分采用中心投影方式成像，没有经过正射纠正的遥感摄影像片，其边缘分布的高耸楼房或起伏的地形，形状会有明显的变形。例如直立的高层楼房呈向像片中心倾倒之状，航空像片上的地物大小，也与形状要素一样，往往发生某些误差和畸变。

航空像片为俯视成像，从航空像片上可以看到地物的顶部轮廓。这种成像方式与我们日常生活中观察目标地物的视角不同。我们熟悉的地物侧面形状，但不一定熟悉地物的顶部形状，因此，航空像片解译，需要利用熟悉的区域和熟悉的地物类型进行练习，掌握“鸟瞰”目标地物的经验和解译技巧。（2）摄影像片解译标志

为了提高摄影像片解译精度与解译速度，掌握摄影像片的解译标志很有必要。遥感摄影像片解译标志又称判读标志，它指能够反映和表现目标地物信息的遥感影像各种特征，这些特征能帮助判读者识别遥感图像上目标地物或现象。解译标志分为直接判读标志和间接解译

标志。

直接判读标志是指能够直接反映和表现目标地物信息的遥感图像各种特征，它包括遥感摄影像片上的色调、色彩、形状、阴影、纹理、大小、图型等，解译者利用直接解译标志可以直接识别遥感像片上的目标地物。

间接解译标志是指航空像片上能够间接反映和表现目标地物的特征，借助间接解译标志可以推断与某地物的属性相关的其他现象。遥感摄影像片上经常用到的间接解译标志有：

与目标地物成因相关的指示特征。例如，像片上呈线状延伸的陡立的三角面地形，是推断地质断层存在的间接标志。像片上河流边滩、沙咀和心滩的形态特征，是确定河流流向的间接解译标志。

指示环境的代表性地物。任何生态环境都具有代表性地物，通过这些地物可以指示它赖以生活的环境。如根据代表性的植物类型推断它存在的生态环境，“植物是自然界的一面镜子”，寒温带针叶林的存在说明该地区属于寒温带气候。

成像时间作为目标地物的指示特征。一些目标地物的发展变化与季节变化具有密切联系。了解成像日期和成像时刻，有助于对目标地物的识别。例如，东部季风区夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，土壤含水量因此具有季节变化，河流与水库的水位也有季节变化。

应当指出，间接判读标志因地域和专业而异。建立和运用各种间接判读标志，一般需要有一定的专业知识和判读经验。熟悉和掌握遥感摄影像片特点与解译标志，对遥感摄影像片的判读大有帮助。

### 3. 遥感摄影像片的判读方法

黑白全色像片解译。在黑白全色像片上，目标地物的形状和色调是我们识别地物的主要标志。在可见光范围内成像的黑白全色像片，与人类在可见光下观察地物的条件相一致，因此黑白像片上各种地物比较容易识别。黑白像片识别与解译的规律是：可见光范围内反射率高的地物，它在航空像片（正片）上呈现淡白色调，反射率低的地物，它在像片上呈现暗灰色调，如水泥路面呈现灰白色，而湖泊中的水体呈现深暗色。加上可见光黑白像片多数为大比例尺像片，地物形状特征明显，形状特征与色调特征等多种解译标志综合使用，可以提高目标地物的正确识别率。

黑白红外像片解译。黑白红外像片上地物色调深浅的解释不同于黑白全色像片。在黑白全色像片上茂密植被的颜色为暗灰色，在黑白红外像片上为浅灰色，这因为植物的叶子在近红外具有强烈反射。各种植被类型或植物处在不同的生长阶段或受不同环境的影响，其近红外线反射强度不同，在黑白红外像片上表现的明暗程度也不同，根据像片色调差异可以区分出不同的植被类型。

物体在近红外波段的反射率高低决定了在黑白红外像片上影像色调的深浅，例如水体在近红外波段具有高的吸收率，很低的反射率，因此在黑白红外像片上呈现深灰色或灰黑色。同样是道路，水泥路面反射率高，影像色调浅，柏油路面反射率低，影像色调深。农田土壤含水量的多寡，可以通过影像色调的深浅反映出来，含水量多，影像色调呈现暗灰色，含水量少，影像色调呈现灰白色。由于大气散射、吸收对红外波段摄影影响小，雾霾、烟尘对红外波段影响也小，利用红外摄影进行土地资源调查、洪水灾害评估，军事侦察是十分有效的。

天然彩色片基本反映了地物的天然色彩，地物类型间的细微差异可以通过色彩的变化表现出来，如清澈的水体呈现蓝—绿色，而含有淤泥的水体为浅绿色，天然彩色片上的丰富色彩提供了比可见光黑白像片更多的信息，其形状特征的识别类似于可见光黑白像片。

红外彩色片在识别伪装方面也有突出的功用。地球表面的各种地物，诸如土地、森林、农作物、房屋、道路、河流，它们在可见光与近红外波段都以自身的特有规律反射电磁波，因此它们具有不同的光谱特征。正常生长的植物在近红外波段具有较高的反射率，采用绿色植物进行伪装的物体，其光谱特征与植被不同，例如用植物枝叶伪装的目标地物在近红外像

片上呈紫红色，披盖绿色伪装物的目标地物在像片中呈蓝色，而正常的植被呈现红色。因此，根据地物的光谱特征，容易区分出红外彩色片上正常生长的植物和用植物伪装的目标地物。判读红外彩色片，可以按照以下步骤进行：

- (1) 认真了解红外彩色片感光材料的特性和成像原理；
- (2) 熟悉各种地物在可见光和近红外光波段的反射光谱特性；
- (3) 建立地物的反射光谱特性与红外彩色片中地物假彩色的对应关系；
- (4) 建立彩红外像片其它判读标志；
- (5) 遵循遥感解译步骤与方法对彩红外像片进行解译。

在解译时应注意：在彩色红外像片上，植物的叶子因反射红外线而呈现为红色。但各种植被类型或植物处在不同的生长阶段或受不同环境的影响，其光谱特性不同，因而在彩色红外像片上红色的深浅程度不同，如正常生长的针叶林颜色为红色到品红色，枯萎的植被呈现暗红色，即将枯死的植被呈现青色。

水体污染、泥沙和水深等因素都对像片的颜色也会产生影响，例如富营养化的水体呈现棕褐色至暗红色，含有泥沙或淤泥的水体呈现青色至浅蓝色，清洁的浅水呈青蓝色，水体很深并且洁净时呈现深蓝到暗黑色。因此，必须根据地面实际调查建立各种地物的判读标志，在判读中要考虑环境等多种因素的影响。

多波段摄影像片的判读类似于遥感扫描影像的判读，我们在下一节遥感扫描影像判读判读时一并介绍。

## 5.2.2 遥感扫描影像的判读

### 1. 遥感扫描影像特征和解译标志

目前经常使用的遥感扫描影像都是卫星遥感影像，这些影像具有以下特征：多中心投影、像框扭动变形、信息量丰富、动态观测等特点。

遥感扫描影像解译标志

直接解译标志主要包括以下几种：

(1) 色调与颜色。这是扫描图像解译的基本标志。对于中低分辨率的扫描影像来说，图像中色调与颜色更是一个重要的判读标志。由于扫描图像多数为多光谱影像，同一地区多光谱扫描图像中的相同地物，在不同波段的图像上可能会呈现不同色调，组合可以有不同的颜色，这因为同一种地物在可见光和近红外波段上具有不同的反射率，它们在单波段扫描影像中表现为不同的色调。

(2) 阴影 (shadow)，在多光谱图像中，阴影是电磁波被地物遮挡后在该地物背光面形成的黑色调区域。在扫描影像中陡峭的山峰背面往往形成阴影，阴影的出现给山区的扫描影像增加了立体感，同时也造成阴影覆盖区地物信息的丢失。

(3) 形状 (shape)，目标地物的形状在不同空间分辨率的扫描图像上表现特点不同。在中低分辨率扫描影像上，地物的形状特征是经过自然综合概括的外部轮廓，它忽略了地物外形的细节，突出表现了目标物体宏观几何形状特征，如山脉的走向，水系的形态特征等。在中高分辨率扫描影像上，可以看到地物的较为详细的形状特征。但线状地物（如道路和河流）的宽度经常被夸大。在高分辨率扫描影像上，可以看到地物具有的形态特征的更多细节，如飞机场内的飞机与停机坪等。

(4) 纹理 (texture)，在不同空间分辨率的扫描图像上纹理揭示的对象不同。在中低分辨率扫描影像上，地物的纹理特征反映了自然景观中的内部结构，如沙漠中流动沙丘的分布特点和排列方式。在中高分辨率扫描影像上，纹理才揭示了目标地物的细部结构或物体内部成分。

(5) 大小 (size)，同一地物在不同空间分辨率的扫描图像上表现出尺寸大小不同。在低空间分辨率的扫描图像上该地物尺寸小，在高空间分辨率的扫描图像上该地物尺寸大。图

像判读中，必须结合图像的空间分辨率（或比例尺）来认识地物大小。

(6) 位置 (site)，根据目标地物在扫描图像上位置可以进行空间分析。制作规范的扫描图像（如 MSS、TM）提供了两种形式的位置，一种是在图像周边边框上标注的地理位置，另一种是目标地物与周围地理环境的相对位置。

(7) 图型与相关布局。在高空间分辨率的扫描图像上经常使用，对识别人造地物很有帮助，例如对城市街区和火车站等识别。

扫描图像间接解译标志可参考上节有关内容。

## 2. 常见的遥感扫描影像类型与主要特点

目前，常见的遥感扫描影像类型包括以下几种：

**MSS 影像** MSS 影像为多光谱扫描仪 (MultiSpectral Scanner) 获取的影像，它具有四个波段，两个波段为可见光波段，两个波段为近红外波段，第一颗至第三颗地球卫星 (Landset) 上，反束光导管 (RBV) 摄像机获取的三个波段摄影像片分别称为第 1、2、3 波段，多光谱扫描仪获取的扫描影像按顺序分别被命名为 4、5、6、7 波段，此外，第三颗地球卫星 (Landset) 上还提供热红外波段影像，这个波段被称为第 8 波段，热红外波段使用不久，就因仪器操作上的问题而关闭了，因此，Landset 提供的热红外波段影像并不多。第 4、5 颗地球卫星上多光谱扫描仪获取的四个波段扫描影像重新被分别命名为 1、2、3、4 波段。在 MSS 影像中，灰度又按照一定的区间归并为 16 级灰阶，同时每幅遥感影像下部也曝光产生一个灰阶尺，灰阶尺由白—灰白—淡灰... 浅灰—灰—暗灰... 浅黑—黑等多个灰阶组成。像元的亮度值为 0 时，影像上像元的灰阶为黑色，像元的亮度值为 63 时，影像上像元灰阶为白色，像元值从 0 向 63 增加时，其灰阶也按照一定分级规则由黑转白。由于影像复制时像元灰阶与灰度尺受到同样因素的影响，这样解译者可以利用灰度尺来衡量像元的灰阶。

MSS 各个波段的应用范围：

MSS 第 4 波段为绿色波段，对水体有一定透射能力，在清洁的水体中透射深度可达 10—20 米，可以判读浅水地形和近海海水泥沙。由于植被波谱在绿色波段有一个次反射峰，可以探测健康植被在绿色波段的反射率。

第 5 波段为红色波段，该波段可反映河口区海水团涌入淡水的情况，对海水中的泥沙流、河流中的悬浮物质与河水浑浊度有明显反映，可区分沼泽地和沙地，可以利用植物绿色素吸收率进行植物分类。此外该波段可用于城市研究，对道路、大型建筑工地、砂砾场和采矿区反映明显，在红色波段各类岩石反射更容易穿过大气层为传感器接收，也可用于地质研究。

第 6 波段为近红外波段，植被在此波段有强烈反射峰，可区分健康与病虫害植被，水体在此波段上具有强烈吸收作用，水体呈暗黑色，含水量大的土壤为深色调，含水量少的土壤色调较浅，水体与湿地反映明显。

第 7 波段也为近红外波段，植被在此波段有强烈反射峰，可用来测定生物量和监测作物长势，水体吸收率高，水体和湿地色调更深，海陆界线清晰，第 7 波段可用于地质研究，划出大型地质体的边界，区分规模较大的构造形迹或岩体。

第 8 波段，为热红外波段，该波段可以监测地物热辐射与水体的热污染，根据岩石与矿物的热辐射特性可以区分一些岩石与矿物，并可用于热制图。

**TM 图像** TM 影像为专题绘图仪 (Thematic Mapper, TM) 获取的遥感图像。从 Landsat—4 起，陆地卫星增加了专题绘图仪 (TM)。TM 在光谱分辨率、辐射分辨率和地面分辨率方面都比 MSS 有较大改进。在光谱分辨率方面，它采用 7 个波段来记录目标地物信息，与 MSS 相比，它增加了三个新波段，一个为蓝色 (蓝绿) 波段，一个为短波红外波段，一个为热红外波段，根据 MSS 数据使用的经验与光谱适用范围研究结果，TM 在波长范围

(wavelength) 与光谱位置 (Nominal spectral location) 上都作了调整。在辐射分辨率方面, TM 采用双向扫描, 改进了辐射测量精度, 目标地物模拟信号经过模 / 数转换, 以 256 级辐射亮度来描述不同地物的光谱特性, 一些在 MSS 中无法探测出的地物电磁辐射的细小变化, 现在可以在 TM 波段内观测到。在地面分辨率方面, TM 瞬间视场角对应的地面分辨率为 30 米 (第 6 波段除外)。1999 年 4 月 15 日发射的陆地卫星 7 (Landsat - 7), 又增加了分辨率为 15 米的全色波段 (PAN 波段) 图像, 并把波段 6 的图像分辨率从 120 米提高到 60 米。

TM 图像主要应用范围:

专题绘图仪比 MSS 增加了 4 个波段, 在波段宽度设计上更具有针对性 TM, 它比起 MSS 图像应用范围更广。对植被和土壤含水量等检测效果更好。

SPOT 图像 从法国 1986 年 2 月 22 日发射第一颗 SPOT 地球观测卫星起, 到目前已经发射了 5 颗 SPOT 卫星。SPOT 卫星上搭载了两台相同的高分辨率传感器, 传感器使用了 CCD (Charge Coupled Device) 线性阵列探测器和推扫式扫描技术, 提高了 SPOT 影像的质量。

SPOT-5 卫星于 2002 年 5 月 3 日晚上由阿里亚娜 4 型火箭送入太空。它与前 4 颗 SPOT 卫星相比, 具有两个突出特点:

① 更高的地面分辨率。利用两台高分辨率几何成像仪, 把 2 个 5 米分辨力图像相叠加, 把全色图像分辨力提高到 2.5 米分辨率;

② 利用高分辨率立体成像仪分别从前后视不同角度对目标地物观测, 获取同一地区的立体图像。它能同时获取两幅图像, 因此可用于制作更为精确的地形图和高程图。这与前 4 颗 SPOT 卫星立体观测不同, 前 4 颗采用旁向成像方式。

此外, SPOT-5 卫星携带了 “植被 -2” 相机, 几乎每天可实现全球覆盖, 图像的分辨率为 1 千米。

目前, 法国 SPOT 卫星提供的遥感影像通过其在不同国家的分公司和代理向世界各国销售, 其遥感影像产品包括: 1A 级产品、1B 级产品、2 级产品、3 级产品等。

SPOT 图像主要应用领域

SPOT-5 卫星上的主要遥感设备是两台 “高分辨率几何成像仪” (HRVIR), 其工作谱段有 4 个, 主要任务是监测自然资源分布, 特别是监测农业、林业和矿产资源, 观测植被生长状态与农田含水量等项, 对农作物进行估产, 了解城市建设与城市土地利用状况等。

高空间分辨率遥感影像:

1998 年开始, 国际上几个对地观测技术公司注意到高空间分辨率卫星图像具有广阔的市场前景, 陆续发射了几颗新型商用遥感卫星, 它们的分辨率较之以往的商用遥感卫星而言都有很大的提高, 统称为高分辨率遥感卫星。卫星发射后, 这些公司开始提供商用高分辨率卫星图像。这些图像具有以下主要特征:

(1) 遥感影像具有空间分辨率高, 地物形态清晰的特点, 便于目视判读。

(2) 卫星影像具有较高的制图精度, 例如遥感图像空间分辨率达到 1 米, 能够满足万分之一比例尺测图精度要求。

(3) 卫星影像为在旁向为多中心投影。在航向上正射投影, 其变形规律与航空像片不同。

典型的高分辨率遥感影像主要有 SpaceImaging 公司的 IKONOS 卫星图像和 Earth-watch 公司的 QuickBird 卫星图像。

SpaceImaging 公司的 IKONOS 卫星在 1999 年 9 月 24 日发射。卫星高度为 680 公里, 同时采集 1 米分辨率的全色图像和 4 米分辨率的多光谱图像, 地面扫描带的宽度为 11 ~ 13km。SpaceImaging 公司提供三种图像数据产品: 1m 分辨率的全色图像, 4m 分辨率的多波段图像和 1 米分辨率的全色增强图像。

Earth-watch 公司的 QuickBird 卫星采用 推扫式成像, 辐射量化值为 11 位, 成像模式: 单景为 16.5 公里 X 16.5 公里, 条带为 16.5 公里 X 165 公里, 星下点成像为沿轨 / 横轨迹方向 (  $\pm 25^\circ$  ), 立体成像沿轨 / 横轨迹方向, 重访周期 1 - 6 天。

高光谱技术是近几年迅速发展起来的一种新型遥感技术。它将成像技术与高光谱技术结合在一起, 对目标地物成像时, 也对组成每个地物的像元经过色散形成几十个乃至几百个窄波段进行光谱覆盖, 形成同一地区几十个乃至几百个的高光谱图像。

对于高光谱像片的判读一般可采取两种方法: 假彩色合成法、比较判读的方法等。

其它遥感影像有: 印度遥感卫星 IRS -1C 获取的 WIFS 影像、中国资源卫星获取的遥感影像等。

热红外像片的判读:

地物具有反射、透射和发射电磁辐射的能力。遥感器透过 3.5 -5.5mm 和 8 -14mm 区间上的大气窗口, 探测地物表面发射的电磁辐射。这点不同于可见光和近红外遥感。地物本身具有热辐射特性, 热红外像片记录了地物热辐射。各种地物热辐射强度不同, 在像片上具有不同的色调和形状构像, 这是我们识别热红外像片地物类型的重要标志, 热红外像片的直接解译标志主要包括:

色调 色调是地物亮度温度的构像。判读热红外像片时, 关键是要细致区分影像色调的差异。影像的不同灰度表征了地物不同的辐射特征。影像正片上深色调代表地物热辐射能力弱, 浅色调代表地物热辐射能力强。

形状与大小 热红外探测器检测到物体温度与背景温度存在差异时, 就能在影像上构成物体的“热分布”形状。

地物大小 地物的形状和热辐射特性影响物体在热红外像片上的尺寸, 当高温物体与背景具有明显热辐射差异时, 即使很小物体, 如正在运转的发动机, 高温喷气管、较小的火源, 都可以在热红外像片上表现出来, 由于高温物体向外辐射, 因此它在影像中的大小往往比实际尺寸要大。

阴影 热红外影像上的阴影是目标地物与背景之间辐射差异造成的, 它分为冷阴影和暖阴影两种。

根据热红外影像解译标志, 可以识别不同的地物。下面介绍一些主要地物的解译方法:

水体与道路 在白天热红外像片上, 由于水体具有良好的传热性, 一般呈暗色调。相比之下, 道路在影像上呈浅灰色至白色, 这因为构成道路的水泥、沥青等建筑材料, 白天接受了大量太阳热能, 又很快转换为热辐射的缘故。午夜以后获取的热红外像片, 河流、湖泊等水体在影像上呈浅灰色至灰白色, 而道路呈现暗黑色调, 这因为水体热容量大, 散热慢, 而道路在夜间散热快。

树林与草地 白天的热红外影像上, 树林呈暗灰至灰黑色。这因为在白天树叶表面存在水汽蒸腾作用, 降低了树叶表面温度, 使树叶的温度比裸露地面的温度要低。夜晚, 树木在热红外影像上多呈浅灰色调, 有时呈灰白色, 这因为树林覆盖下的地面热辐射使树冠增温。草地在夜晚热红外像片呈黑色调或暗灰色调, 这因为夜间草类很快地散发热量而冷却的缘故。

土壤与岩石 热红外影像上土壤含水量不同, 其色调也不同。在午夜后拍摄的热红外影像中, 土壤含水量高, 呈现灰色或灰白色调, 土壤含水量低呈现暗灰色或深灰色, 这因为水体的热容量大, 在夜间热红外辐射也强。一般裸露的岩石白日受到太阳曝晒, 在夜间的红外像片上呈淡灰色, 例如玄武岩往往呈灰色至灰白色, 花岗岩呈灰色至暗灰色, 这是由于岩石的热容量较大, 夜晚有较高的热红外辐射能力所致。

### 5.2.3 微波影像的判读

微波遥感采用的波长范围为 1mm -100cm, 它可以穿透云雾和大气降水, 测定云下目

标地物发射的辐射，对地表有一定穿透能力，具有全天候、全天时的工作能力。

微波遥感观测目标地物电磁波的辐射和散射。被动微波遥感观测目标地物的辐射，常用的被动遥感器有微波辐射计（microwave radiometer）。主动微波遥感由遥感器向地面发射微波，探测目标地物后向散射特征，常用的主动遥感器有微波散射计（microwave scatterometer）、微波高度计（microwave altimeter）和成像雷达（microwave radar）。成像雷达提供了微波遥感影像（也有人称雷达影像），这里简称微波影像。

成像雷达分为真实孔径雷达（RAR: real aperture radar）与合成孔径雷达（SAR: synthetic aperture radar）。近年来，合成孔径雷达技术发展很快，除了航空遥感平台搭载合成孔径雷达，航天遥感平台也搭载合成孔径雷达，获取地球表层微波影像。微波影像具有以下特点：

(1) 侧视雷达采用非中心投影方式（斜距型）成像，它与摄像机中心投影方式完全不同。

(2) 比例尺在横向上产生畸变。在雷达波束照射区内，地面各点对应的入射角不等，距离雷达航迹越远，入射角越大，使得影像比例尺产生畸变，其规律是距离雷达航迹愈远比例尺愈小。

(3) 地形起伏移位

在地学研究领域，经常采用 Ka 及 X 波段成像雷达进行资源与环境调查。

雷达影像可应用于以下领域：海洋环境调查、地质制图和非金属矿产资源调查、洪水动态检测与评估、地貌研究与地图测绘等。

进行雷达影像解译，需要具备微波遥感的基础理论知识，掌握各种目标地物的微波特性和微波与目标地物相互作用规律，同时也需要掌握微波影像的判读方法和技术。

微波影像的判读方法

(1) 采用由已知到未知的方法，利用有关资料熟悉解译区域，有条件时可以拿微波影像到实地去调查，从宏观特征入手，对需要判读的内容，可以把微波影像与专题图结合起来判读，反复对比目标地物的影像特征，建立地物解译标志，在此基础上完成微波影像的解译。

(2) 对微波影像进行投影纠正，与 TM 或 SPOT 等影像进行信息覆合，构成假彩色图像，利用 TM 或 SPOT 等影像增加辅助解译信息，进行微波影像解译，例如中国地面卫星站利用 SAR 与气象卫星图像覆合对洪水进行检测。

(3) 利用同一航高的侧视雷达在同一侧对同一地区两次成像，或者利用不同航高的侧视雷达在同一侧对同一地区两次成像，获得可产生视差的影像，对微波影响进行立体观察，获取不同地形或高差，或对其它目标地物进行解译。

#### 5.2.4 目视解译方法

遥感影像目视解译方法（Visual Interpretation Method on Image）是指根据遥感影像目视解译标志和解译经验，识别目标地物的方法与技巧。

遥感扫描影像的判读，要遵循“先图外、后图内，先整体，后局部，勤对比，多分析”的原则，对扫描影像进行认真判读。

“先图外、后图内”是指遥感扫描影像判读时，首先要了解影像图框外提供的各种信息，它包括以下内容：图像覆盖的区域及其所处的地理位置、影像比例尺、影像重叠符号、影像注记、影像灰阶等。

了解图外相关信息后，然后再对影像作认真观察，观察应遵循“先整体，后局部”的原则，对解译的影像作整体的观察，了解各种地理环境要素在空间上的联系，综合分析目标地物与周围环境的关系。

鉴于多光谱扫描影像可以同时获取多个波段的扫描图像，因此，必须遵循“勤对比，多分析”判读原则，在判读过程中进行以下对比分析：多个波段对比、不同时相对比、不同地

物的对比等。

根据目视判读实践，一般认为卫星影像解译比航空像片解译难度更大，因此，熟悉地物在不同波段的光谱特性，了解地物在不同空间分辨率影像上的表现，以及在不同假彩色合成影像的表现，熟练掌握扫描影像解译标志与解译方法，这对于提高目视解译水平是很有帮助的。

下面就常用的目视解译方法分别叙述如下：

(1) 直接判读法，根据遥感影像目视判读直接标志，直接确定目标地物属性与范围的一种方法。

(2) 对比分析法。此方法包括同类地物对比分析法、空间对比分析法和时相动态对比法。同类地物对比分析法是在同一景遥感影像图上，由已知地物推出未知目标地物的方法。

(3) 信息覆合法。利用透明专题图或者透明地形图与遥感图像重合，根据专题图或者地形图提供的多种辅助信息，识别遥感图像上目标地物的方法。例如 TM 影像图，覆盖的区域大，影像上土壤特征表现不明显，为了提高土壤类型解译精度，可以使用信息覆合法，利用植被类型图增加辅助信息。

(4) 综合推理法。综合考虑遥感图像多种解译特征，结合生活常识，分析、推断某种目标地物的方法。

(5) 地理相关分析法。根据地理环境中各种地理要素之间的相互依存，相互制约的关系，借助专业知识，分析推断某种地理要素性质、类型、状况与分布的方法。

#### 5.2.5 立体观察

单张像片只能研究物体的平面位置，立体像对可构成立体模型来解求地面物体的空间位置。单眼观察景物时，使人感觉到的仅是景物的中心构像，好象一张像片一样，得不到景物的立体构像，不能正确判断景物的远近。

要形成人造立体视觉必须满足四个条件：

1. 由两个不同摄站点摄取同一景物的一个立体像对。
2. 一只眼睛只能观察像对中的一张像片，即双眼观察像对时必须保持两眼分别只能对一张像片观察，这一条件称之为分像条件。
3. 两眼各自观察同一景物的左、右影像点的连线应与眼基线近似平行。
4. 像片间的距离应与双眼的交会角相适应。

#### 5.2.6 目视解译基本程序与步骤

遥感影像目视解译是一项认真细致的工作，解译人员必须遵循一定行之有效的基本程序与步骤，才能够更好地完成解译任务。

一般认为，遥感图像目视判读分为五个阶段：

##### (1) 目视解译准备工作阶段

遥感图像反映的是地球表层信息，由于地理环境的综合性和区域性特点，以及受大气吸收与散射影响等，遥感影像有时存在同质异谱或异质同谱现象，使得遥感图像目视解译存在着一定的不确定性和多解性。为了提高目视解译质量，需要认真做好目视解译前的准备工作。一般说来，准备工作包括以下方面：明确解译任务与要求、搜集与分析有关资料、选择合适波段与恰当时相的遥感影像。

##### (2) 初步解译与判读区的野外考察

初步解译的主要任务是掌握解译区域特点，确立典型解译样区，建立目视解译标志，探索解译方法，为全面解译奠定基础。

##### (3) 室内详细判读

初步解译与判读区的野外考察，奠定了室内判读的基础。建立遥感影像判读标志后，这就可以在室内进行详细判读了。

#### (4) 野外验证与补判

室内目视判读的初步结果,需要进行野外验证,以检验目视判读的质量和解释精度。对于详细判读中出现的疑难点、难以判读地方则需要在野外验证过程中补充判读。

#### (5) 目视解译成果的转绘与制图

遥感图像目视判读成果,一般以专题图或遥感影像图的形式表现出来。

将遥感图像目视判读成果转绘成专题图,可以采用两种方法:一种是手工转绘成图,另一种是在精确几何基础的地理地图上采用转绘仪进行转绘成图。完成专题图的转绘后,再绘制专题图图框、图例和比例尺等,对专题图进行整饰加工,形成可供出版的专题图。

#### 5.2.7 目视解译的辅助仪器使用

目视解译过程中也可以借助简单仪器进行目视解译。

### 第三节 影像地学分析与应用

#### 5.3.1 影像地学分析基础

遥感影像解译与分析,离不开地学专业知识。因此,必须重视遥感影像地学分析。

在不同空间分辨率的遥感影像上,呈现出概括程度不同的地表景观,表现出不同尺度的地理分异规律影响。在地理分异规律基础上进行遥感影像分析,可以更好把握和认识遥感影像上各种特征。以百米和公里为单位的空间分辨率的遥感影像,如 NOAA 卫星影像,其星下点分辨率为 1.1Km,由 NOAA 卫星影像或其它中低分辨率构成的影像上,地理环境宏观特征明显,其表现特点主要受到地带性规律的影响。

遥感影像是地表自然景观的综合缩影,由地理环境各组成成分及其相互作用所形成的景观,具有综合性特点。这种综合性,集中体现在遥感图像的基本元素—像元上。像元记载了对应地点上景观单元的信息,严格说来,每个景观单元都是多种物质构成的混合体,如 1m 分辨率的遥感影像,覆盖的地点全部为水体,但每平方米水体中悬浮物质也不会处处均一。景观单元尺度,与遥感器空间分辨率密切联系。对于中低分辨率的遥感影像,像元覆盖的地面有多种地物构成,像元对应点上的各种地物信息被平均,地物细节信息被弱化,像元突出了主要地物和主要地物的主要特征信息。高空间分辨率遥感影像上,每个像元保存了地物大量的细节特征信息,它为仔细辨认地物提供了更多证据,但也干扰了地物的主要特征的突出表现。一般说来,空间分辨率愈低,像元覆盖的区域越大,区域内部包括的地物类型越多,光谱特征越是多种地物的综合。空间分辨率愈高,像元覆盖的区域越小,区域内部包括的地物类型越少,光谱特征越趋于一致。同时,像元也是各种地理过程的汇聚点,如地理环境中物理过程、化学过程和生物过程,它们造成了地表不同物质和能量的运动、化学元素的迁移、生物圈、生态系统、生物群落或生物个体发生、发展、演变,遥感器获取的遥感图像记载了特定瞬间的地理过程的信息,每一像元保存着对应地点上已发生的地理过程的信息。

通过遥感影像地学分析,可以从遥感图像中挖掘出更多的有用信息。

#### 5.3.2 资源遥感

利用遥感图像进行资源调查,目的在于查清国土资源的数量和分布,了解与监测国土资源变化,为合理利用国土资源提供参考依据。

#### 5.3.3 环境遥感

环境遥感包括环境污染和环境变化监测。

#### 5.3.4 城市遥感

城市遥感主要使用航空像片和高分辨率的卫星图像。

#### 5.3.5 农业遥感

随着成像技术的发展,高光谱遥感图像越来越成为农业遥感中重要的数据源(高光谱遥感图像在农业遥感数据源中的重要性越突出)。利用高光谱遥感影像使作物估产的精度

大大提高。估产研究首先要对被研究区域的作物种类进行识别。最关键一点是如何选择合适的波段对研究区域作物进行识别。

#### 5.3.6 灾害遥感

洪水是一种危及人民生命财产的自然灾害，对陆地卫星图像的判读，可以确定洪水在平原地区的淹没范围。其方法是将洪水期和正常水位的影像进行对比，即使是在洪水退后的几周时间里，根据近红外波图像中的暗色调，也可确定洪水的淹没范围。如果将它与土地利用类型图相比较，甚至可以确定市区、农田和其他方面的灾害。

#### 5.3.7 军事遥感

军事遥感是战场感知的重要工具。它经常被用作军事侦察。

#### 5.3.8 其它遥感

遥感技术还可以用于考古、旅游资源、地质以及其他方面，被分别称为考古遥感、旅游遥感和地质遥感等。

### 第四节 遥感制图

遥感技术的发展，导致了地图制作方法的变化。1943 年德国开始利用航空像片制作各种比例尺的影像地图。1945 年前后美国开始生产影像地图，中国在 20 世纪 70 年代开始研制影像地图。由于遥感影像地图结合了遥感影像与地图的各自优点，它比遥感影像具有可读性和可量测性，比普通地图更加客观真实，信息量更加丰富，因此日益受到人们的重视。

#### 5.4.1 遥感影像地图

##### 1、遥感影像地图的分类和主要特征

遥感影像地图是一种以遥感影像和一定的地图符号来表现制图对象地理空间分布和环境状况的地图。在遥感影像地图中，图面内容要素主要由影像构成，辅助以一定地图符号来表现或说明制图对象，与普通地图相比，影像地图具有丰富的地面信息，内容层次分明，图面清晰易读，充分表现出影像与地图的双重优势。

遥感影像地图具有以下主要特征：具有丰富的信息量、直观形象性、具有一定数学基础、现势性强。

遥感影像地图发展具有广阔前景，一些新型影像地图的问世，代表了影像地图制作技术发展的主要趋势，如电子影像地图、多媒体影像地图、立体全息影像地图等。

#### 5.4.2 常规制作遥感影像图

航空摄影像片主要用于大比例尺影像地图的编制，卫星扫描影像主要用于中小比例尺影像地图的编制。

#### 5.4.3 计算机辅助遥感制图

计算机辅助遥感制图是在计算机系统支持下，根据地图制图原理，应用数字图像处理技术和数字地图编辑加工技术，实现遥感影像地图制作和成果表现的技术方法。计算机辅助遥感制图是在 20 世纪 70 年代以后发展起来的新方法，它是数字制图和遥感图像处理等技术的结合。与遥感影像图的常规编制方法相比，它简化与革新了影像地图编制工艺，改善了影像制图条件，提高了遥感影像上配置符号注记的灵活性，缩短了成图周期，降低了劳动强度，是具有发展潜力的遥感影像制图新技术。

## 第六章 遥感图像计算机解译

遥感图像的计算机自动解译是一个正在成长的研究方向。它的许多理论方法是借用了计算机图像理解、知识工程、机器视觉等相关领域的。

遥感数字图像计算机解译以遥感数字图像为研究对象，在计算机系统支持下，综合运用

地学、遥感图像处理、地理信息系统、模式识别与人工智能技术，实现地学专题信息的智能化获取。其基本目标是将人工目视解译遥感图像发展为计算机支持下的遥感图像理解。

利用计算机对遥感数字图像进行解译，其难度很大。第一，遥感图像是从遥远的高空成像，成像过程要受传感器、大气条件、太阳位置等多种因素的影响，影像中所提供的目标地物信息不仅不完全，且或多或少地带有噪音，人们必须从不完全的信息中尽可能精确地提取出地表场景中感兴趣的目标物，其难度很大。第二，遥感影像信息量丰富，与一般的图像相比，其包容的内容远比普通的图像多，因而非常“拥挤”，不同地物间信息的相互影响与干扰使得要提取出感兴趣的目标变得非常困难。第三，遥感图像的地域性、季节性和不同成像方式更增加了计算机对遥感数字图像进行解译的难度。

由于利用遥感图像可以客观、真实和快速的获取地球表层信息，这些现势性很强的遥感数据在自然资源调查与评价、环境监测、自然灾害评估与军事侦察上具有广泛应用前景。因此，利用计算机进行遥感图像智能化解译，快速获取地表不同专题信息，并利用这些专题信息迅速地更新地理数据库，这是实现遥感图像自动理解的基础研究之一，也是地理信息系统中数据采集自动化研究的一个方向，因此具有重要的理论意义和应用前景。

本章重点是计算机实现遥感影像的特征抽取和智能解译。

## 第一节 遥感图像计算机解译基础

### 6.1.1 遥感影像的数字化采样

遥感数字图像是以数字化的遥感影像。遥感影像记录了传感器这类对电磁波敏感的仪器远距离非接触探测目标地物时获取的地物反射、辐射的电磁波信息。

遥感数字图像最基本的单位是像素。像素是成像过程的采样点，也是计算机图像处理的基本单元。像素具有空间特征和属性特征。由于传感器从空间观测地球表面，因此每个像素含有特定的地理位置的信息，并表征一定的面积。对于多光谱扫描仪提供的数字图像来说，一个像素对应的地表面积是由传感器的瞬间视场角和传感器高度共同决定的，瞬间视场角在地表的投影面称为像素的地面分辨率（或称空间分辨率），由于传感器种类不同，它的瞬间视场角也不同，因此，对应的地面分辨率是不同的。例如：MSS 数字图像的地面分辨率是  $79 \times 56$  平方米，TM 数字图像的地面分辨率是  $28.5 \times 28.5$  平方米，SPOT 全色波段图像分辨率为  $10 \times 10$  平方米。像素的面积可以根据投影面在地表 X 方向长度和 Y 方向长度来计算。

像素的属性特征采用色度值来表达，在不同波段上相同地点的色度值可能是不同的，这是因为地物在不同波段上其反射电磁波的特征不同。

遥感数字图像中像素的数值主要由传感器所探测到的地面目标地物的电磁波辐射强度所决定。入射到传感器中的电磁波被探测器元件转化为电信号，经过模 / 数转换，成为绝对辐射亮度值  $R$ 。为便于应用， $R$  又被转换为能够表征地物辐射亮度的相对值，记录到每个像素中。如果是系统校正过的数据，根据下式，可以把像素（像对）数据值  $V$  变换为绝对辐射亮度值  $R$ ：

$$R = V * (R_{\max} - R_{\min}) / D_{\max} + R_{\min} \quad (7-1)$$

式中， $R_{\max}$ ， $R_{\min}$  分别是探测器可检测到的最大和最小辐射亮度， $D_{\max}$  为级数， $R$  为辐射亮度 ( $\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ )， $V$  是像素数据值。

自 19 世纪法国人达格雷 (Daguerre) 发表第一张航空像片起，许多国家测绘部门拍摄了大量航空照片，用来绘制地形图。航空像片与普通商业遥感卫星图像相比较，其优点是地面分辨率高，它记录了当时的自然景观与人文景观，这是一批珍贵的历史资料，它有助于人们对城市变化和生态环境进行对比研究。由于数字计算机只能处理数字信息，航空像片需要经过数字化才能被计算机处理与分析。航空像片的空间采样过程如下：

- ( 1 ) 确定空间采样间距;
- ( 2 ) 属性量化

#### 6.1.2 计算机图像理解的基本理论

计算机图像理解是研究用计算机解释图像,实现类似人类视觉系统理解外部世界的一门科学。所讨论的问题是,为完成某一任务需要从图像中获取哪些信息,以及如何利用这些信息获得必要的解释。

图像理解的过程有几个显著的特点:( 1 ) 分阶段的信息处理带来了信息的多层表示;( 2 ) 对图像的解释是以某种形式的描述实现的;( 3 ) 图像的正确解释离不开先验知识的引导。

#### 7.1.3 遥感数字图像的特征

图像是以离散的点阵来表达客观世界的,图形是以线划、多边形、区域刻画客观世界的。在图像上点与点之间除了空间上发生距离关系外,在其他意义上都是孤立的。在图形中区域内部一般认为是同质的,线划、区域之间具有明显的空间关系。图像又可分为光学图像和数字图像,光学图像是经过光学成像过程得到的图像,它是通过感光银盐的密度来表现图像的明暗及色彩的;数字图像是数字化后的图像,其明暗色彩被编码为一组二维的数字矩阵。通过显示输出装置可以得到恢复的图像。数字图像中的数字可以参与所有的数学运算和逻辑运算,所以在以计算机技术为核心的图像处理、识别和理解方面数字图像比光学图像有很大的优势。

遥感数字图像是数字图像的一个子集,而数字图像又是图像的一个子集。所以遥感数字图像继承了图像和数字图像的所有特点,同时遥感影像又具有自己独有的特点:

- ( 1 ) 反映内容的特定性
- ( 2 ) 表达尺度的宏观性和空间分辨率的多样性
- ( 3 ) 成像波段的独立性和多样性
- ( 4 ) 成像机理的复杂性

#### 6.1.4 与图像理解相关的学科简介

与图像理解相关的学科有图像处理、模式识别、计算机视觉等。它们之间既有联系又有区别。

( 1 ) 图像处理是将输入图像转化为具有一定目标特征的结果图像,比如通过边缘增强处理以突出图像的边缘信息。它是图像理解的预处理过程。

( 2 ) 模式识别是根据从图像中抽取的特征将图像中的图斑分成预定的类别。

( 3 ) 计算机视觉是从仿生学角度,运用计算机技术模拟人眼的视觉系统来发现周围环境中有什么东西,东西在哪儿的学科。

( 4 ) 图像理解不仅对图像本身提供的信息进行分析,而且运用成像过程的。

## 第二节 遥感图像模式识别

### 6.2.1 统计模式识别原理与基本过程

计算机遥感图像分类是统计模式识别技术在遥感领域中的具体应用。统计模式识别的关键是提取待识别模式的一组统计特征,然后按照一定准则作出决策,从而对数字图像予以识别。遥感图像分类的主要依据是地物的光谱特征,即地物电磁波辐射的多波段测量值,这些测量值可以用作遥感图像分类的原始特征变量。然而,就某些特定地物的分类而言,多波段影像的原始亮度值并不能很好地表达类别特征,因此需要对数字图像进行运算处理(如比值处理、差值处理、主成分变换以及  $K - T$  变换等),以寻找能有效描述地物类别特征的模式变量,然后利用这些特征变量对数字图像进行分类。分类是对图像上每个像素按照亮度接近程度给出对应类别,以达到大致区分遥感图像中多种地物的目的。

遥感图像计算机分类的依据是遥感图像像素的相似度。相似度是两类模式之间的相似程度。在遥感图像分类过程中，常使用距离和相关系数来衡量相似度。

遥感图像的计算机分类方法包括监督分类和非监督分类。

监督分类方法首先需要从研究区域选取有代表性的训练场地作为样本。根据已知训练区提供的样本，通过选择特征参数（如像素亮度均值、方差等），建立判别函数，据此对数字图像待分像元进行分类，依据样本类别的特征来识别非样本像元的归属类别。这种方法称为监督分类。

非监督分类是在没有先验类别（训练场地）作为样本的条件下，即事先不知道类别特征，主要根据像元间相似度的大小进行归类合并（将相似度大的像元归为一类）的方法。

遥感数字图像计算机分类基本过程如下：

1. 首先明确遥感图像分类的目的及其需要解决的问题，在此基础上根据应用目的选取特定区域的遥感数字图像，图像选取中应考虑图像的空间分辨率、光谱分辨率、成像时间、图像质量。

2. 根据研究区域，收集与分析地面参考信息与有关数据。为提高计算机分类的精度，需要对数字图像进行辐射校正和几何纠正（这部分工作也可能由提供数字图像的卫星地面站完成）。

3. 对图像分类方法进行比较研究，掌握各种分类方法的优缺点，然后根据分类要求和图像数据的特征，选择合适的图像分类方法和算法。根据应用目的及图像数据的特征制定分类系统，确定分类类别，也可通过监督分类方法，从训练数据中提取图像数据特征，在分类过程中确定分类类别。

4. 找出代表这些类别的统计特征。

5. 为了测定总体特征，在监督分类中可选择具有代表性的训练场地进行采样，测定其特征。在无监督分类中，可用聚类等方法对特征相似的像素进行归类，测定其特征。

6. 对遥感图像中各像素进行分类。包括对每个像素进行分类和对预先分割均匀的区域进行分类。

7. 分类精度检查。在监督分类中把已知的训练数据及分类类别与分类结果进行比较，确认分类的精度及可靠性。在非监督分类中，采用随机抽样方法，分类效果的好坏需经实际检验或利用分类区域的调查材料或专题图进行核查。

8. 对判别分析的结果统计检验。

## 6.2.2 统计模式识别的几种分类方法

监督分类包括利用训练区样本建立判别函数的“学习”过程和把待分像元代入判别函数进行判别过程。监督分类中常用的具体分类方法包括：

- (1) 最小距离分类法，最小距离分类法原理简单，分类精度不高，但计算速度快，它可以在快速浏览分类概况中使用。

- (2) 多级切割分类法，多级分割法分类便于直观理解如何分割特征空间，以及待分类像素如何与分类类别相对应。

- (3) 特征曲线窗口法，特征曲线窗口法可以根据不同特征进行分类，如利用标准地物光谱曲线的位置（nm）、反射峰或谷的宽度和峰值的高度作为分类的识别点，给定误差容许范围，分别对每个像素进行分类；或者利用每一类地物的各个特征参数上、下限值构造一个窗口，判别某个待分像元是否落入该窗口，只要检查该像元各特征参数值是否落入到相应窗口之内。特征曲线窗口法分类的效果取决于特征参数的选择和窗口大小。各特征参数窗口大小的选择可以不同，它要根据地物在各特征参数空间里的分布情况而定。

- (4) 最大似然比分类法，最大似然比分类法（maximum likelihood classifier）是经常使用的监督分类方法之一，它是通过求出每个像素对于各类别归属概率，将该像素分到归属概率最大

的类别中去的方法。最大似然比分类法在多类别分类时，常采用统计学方法建立起一个判别函数集，然后根据这个判别函数集计算各待分像元的归属概率。这里，归属概率是指：对于待分像元  $x$ ，它从属于分类类别  $k$  的（后验）概率。

非监督分类的前提是假定遥感影像上同类物体在同样条件下具有相同的光谱信息特征。非监督分类方法不必对影像地物获取先验知识，仅依靠影像上不同类地物光谱信息（或纹理信息）进行特征提取的统计特征的差别来达到分类的目的，最后对已分出的各个类别的实地属性进行确认。非监督分类主要采用聚类分析方法，聚类是把一组像素按照相似性归成若干类别，即“物以类聚”。它的目的是使得属于同一类别的像素之间的距离尽可能的小而不同类别上的像素间的距离尽可能的大。常用的方法有：

(1) 分级集群法（ Hierarchical Clustering ）

分级集群法采用“距离”评价各样本（每个像元）在空间分布的相似程度，把它们分布分割或者合并成不同的集群。每个集群的地理意义需要根据地面调查或者与已知类型的数据比较后方可确定。

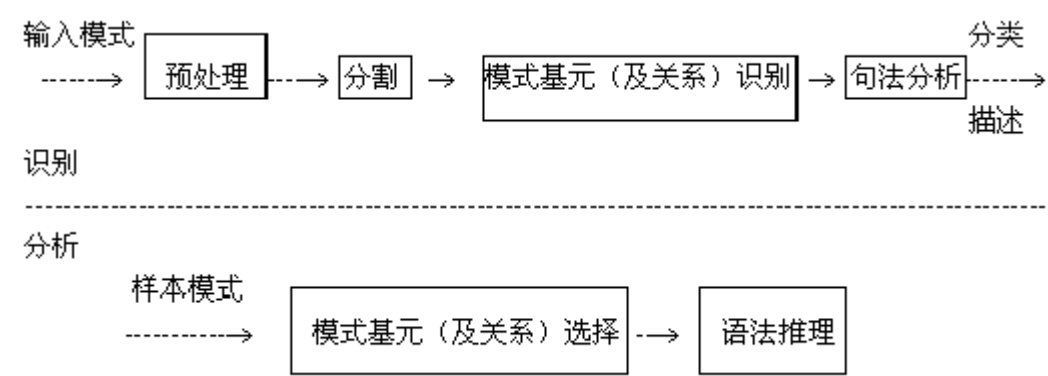
(2) 动态聚类法

在初始状态给出图像粗糙的分类，然后基于一定原则在类别间重新组合其样本，直到分类比较合理为止，这种聚类方法就是动态聚类。ISODATA（ISODATA： Iterative - Orgnizing Data Analysize Technique 迭代自组织数据分析技术）方法在动态聚类法中具有代表性。

监督分类和非监督分类的根本区别点在于是否利用训练场地来获取先验的类别知识，监督分类根据训练场提供的样本选择特征参数、建立判别函数，对待分类点进行分类。非监督分类不需要更多的先验知识，它根据地物的光谱统计特性进行分类。因此，非监督分类方法简单，且分类具有一定的精度。

6.2.3 句法模式识别原理与基本过程

句法模式识别，用模式的基本组成元素（基元）对表征事物或现象的模式进行描述和识别的方法。在多数情况下，可以有效的用形式语言理论中的文法表示模式的结构信息，因此称为句法模式识别。英文“Pattern”源于法文“Patron”，本来是指可作为大家典范的理想的人，或用以模仿复制的完美的样品。在模式识别学科中“模式”是指事物或现象整个的类别的特征，这样的模式是一种抽象化的概念，如“房屋”，“铁路”等都是某类地物的模式，而具体的对象如人民大会堂称作“房屋”这类模式中的一个样本。通常来说，一个句法模式识别系统包括预处理、模式表达、文法推断和句法分析四个组成部分。一个句法模式识别系统的框图如下：



句法模式识别也有人称为结构模式识别，句法模式识别经常与结构模式识别混用，尽管句法与结构方法在很多方面是相似的，但实际上这两个方法还存在一定差异：句法和结构方法模式识别的基本思想是利用结构来描述模式类。句法方法是利用形式语言来描述模式，句

法方法中结构可以用基元递归描述，结构方法中，结构用适当的数学模型来描述。两种方法都是用串、树或图来表示。结构模式识别是句法模式识别的有力的替代物。在结构模式识别中，一般是用几何描述而不用形式语言。在结构模式识别中，最基本的思想是用数学模型来描述知识，识别的过程一般基于模板匹配。经过预处理与分割的待识别模式与一组样本匹配来找出最相似的样本。串、树和图一般都增加了属性值用于描述样本。

句法模式识别用于遥感图像解译所面临的问题：

句法模式识别在字符识别、染色体分析、泡室图片鉴别等方面取得了成功的结果，但是把它引入到遥感图像识别时面临的问题还很多：

- 1 、 图像分割问题。这属于预处理中的问题。由于遥感图像中的成像机理极为复杂，成功的图像分割作为一个不可忽视的问题依然阻碍着句法模式识别的应用。
- 2 、 基元选择问题。遥感图像具有地域性、季节性，对于大量的遥感图像而言，基元的选择是句法模式识别能否成功地应用到遥感影像中的又一个巨大的挑战。
- 3 、 在句法模式识别中，对于有噪声和变形的模式来说，情况会变得很复杂。文法一般是定义的理想的没有噪声和变形的模式，但真实的输入模式往往存在噪声和变形，对于遥感图像这个问题尤其突出。

#### 6.2.4 图像分类的有关问题

遥感图像计算机分类算法设计的主要依据是地物光谱数据。因此，它存在着如下的问题：

- 1 . 图像分类仅利用了地物光谱特征，未能充分利用遥感图像提供的多种信息
  - 2 . 提高遥感图像分类精度受到限制
- ( 1 ) 大气状况的影响
  - ( 2 ) 下垫面的影响
  - ( 3 ) 其它因素的影响

### 第三节 遥感图像特征获取

遥感图像解译，除了利用地物的光谱特征外，还利用地物的形状特征和空间关系特征，因此需要提取图像其它特征。对于高分辨率遥感图像，可以清楚的观察丰富的结构信息，例如：城市是由许多街区组成的，每个街区又由多个矩形楼房构成，其中 “ 人造地物 ” 具有明显的形状和结构特征，如建筑物、厂房、农田田埂，我们可以设法提取含有这类地物形状特征及其空间关系特征，作为结构模式识别的依据。

#### 6.3.1 颜色的量化和变换

颜色是不同频率的可见光在人眼中的主观反映。在图像数字化时是通过颜色空间的坐标值来对应每一种颜色的。常用的颜色空间有 RGB 三色空间和 HSI 颜色空间。对于这两种颜色空间的概念和转换，请见第四章的彩色增强一节。

#### 7.3.2 纹理特征描述与提取

图像中在局部区域内呈现了不规则性，而在整体和宏观上表现出某种规律性的图斑称作纹理。纹理是图像的一个重要的特性。为了定量地研究纹理，需要研究纹理本身可能具有的特征。粗糙度和方向性是人们区分纹理时所用的两个最主要的特征。多年以来研究者们建立了许多纹理算法以测量纹理特性，这些方法大体可以分为两大类：统计分析方法和结构分析方法。前者从图像有关属性的统计分析出发；后者则着力找出纹理的基元，然后再从结构组成上探求纹理的规律，也还有直接去探求纹理构成的结构规律。占主导地位的是统计的方法。

#### 6.3.3 形状特征的提取

##### ( 1 ) 地物边界跟踪方法边界

跟踪主要有两种方法：第一种方法以图像像元作为跟踪的落脚点，跟踪点的连线作为地物的界线。这种跟踪方法适用于线状物体的跟踪；第二种方法认为地物的界线在相邻地物之

间,因此边界跟踪的路径应该从两个相邻地物边界的像元中间穿过,这种方法适用于点状地物与面状地物的跟踪。

## (2) 形状特征描述与提取

通过边界跟踪可以获得一系列有序的边界点,这些边界点提供了地物单元形状特征的大量信息。地物单元边界特征描述和形状特征提取可以采用多种方法,地物形态特征提取的要素主要有:地物单元周长  $P$ 、地物面积  $S$ 、线状物体的曲率等。

### 6.3.4 空间关系特征的描述与获取

这里所讲的地物空间关系是指遥感数字图像中两个地物或多个地物之间在空间上的相互联系,这种联系是由地物的空间位置所决定的。

在二维空间,地物的空间关系主要表现为以下几种:

#### (1) 方位关系 指两个地物之间方向与位置的相对关系。

方位关系的描述包括以下内容:

距离关系。即一个物体到另一个物体的直线距离。由于空间分布的地物具有三种类型,因此,各种物体之间的距离关系定义也不相同。点状地物之间的距离则是两点间的距离,点状地物到线状地物的距离是该点到该线上某一点的最短垂直距离。点状地物到面状地物的最短距离为该点到面状地物边界的最短距离。线状地物到面状地物的最短距离是线上一点到面状地物边界点的最短距离,面状地物到面状地物的距离是两个面状地物边界点的最短距离。

方向关系:即一个物体相对与另一个物体的方向。方向关系常用八个方向来描述,它们分别为:正北、东北、正东、东南、正南、西南、正西、西北。每个方向可以用方位角区间来定量表示。

(2) 包含关系 一个物体位于另一个物体内部,并且边界不相邻。包含关系具有三种情况:点包含在面状地物内部,线状地物被包含在面状地物内部,一个小的面状物体被另一个大的面状物体所包围。

(3) 相邻关系,指两个地物在边界上相邻。两个面状物体的相邻关系,存在着两种不同状况:外接邻域(a),内接邻域(b)。点与面相邻是指点状地物位于面状地物的边界,线状地物与面状地物相邻是指线状地物上一点或多点位于面状地物边。

(4) 相交关系,两个地物在一点上交汇,它主要用来描述点状地物与线状地物,线状地物与线状地物的空间关系。它包含两种情况:点状地物位于线状地物的某一点(a),两条线状地物相交一点或相交多点(b)。

(5) 相贯关系。一个线状物体通过面状物体的内部,例如穿过林区的线状地物。

提取点状地物与面状地物的包含关系,关键是判明点状地物是否为面状地物所包含,有两种方法可以判断点状地物是否在区域内:铅垂线法和射线法。

相邻关系特征抽取包括三种不同情况:

点与面相邻,这可以通过检测“点”是否是多边形的边界上来确认。

线状地物与面状地物相邻,首先需要了解线状地物是否与面状地物边界是否相交,如果存在相交,那么以相交点为裁剪点,将线状地物一分为二,分别检测这两个线段是否同时在面状地物的外部或者在面状地物的内部。若同时在面状地物的外部或者在面状地物的内部,这说明线状地物与面状地物相邻,否则不是。

两个面状地物相邻问题,可以采取更为简单的方法:因为两个相邻多边形(面状地物)共用一条边界,每条边界记录了两个多边形标号,其标号中一个是该边对应的当前多边形,另一个是相邻接的多边形。通过检索一个多边形边界,必然能够找到相邻接的多边形。可以利用弧段建立多边形与边界的关系。根据定义,弧段是一条规定了起点和终点的线段,区域分割时,一组弧形形成的封闭曲线确定了多边形(面状地物)的空间位置,一个弧段仅属于一个唯一的区域。两个相邻的区域,必然存在两条具有不同起点和终点的弧段,但是两条弧

段具有方向相反，各点在空间位置相同的特征，利用这个特性，可以找到区域相邻关系的方法。

第四节 遥感图像理解专家系统

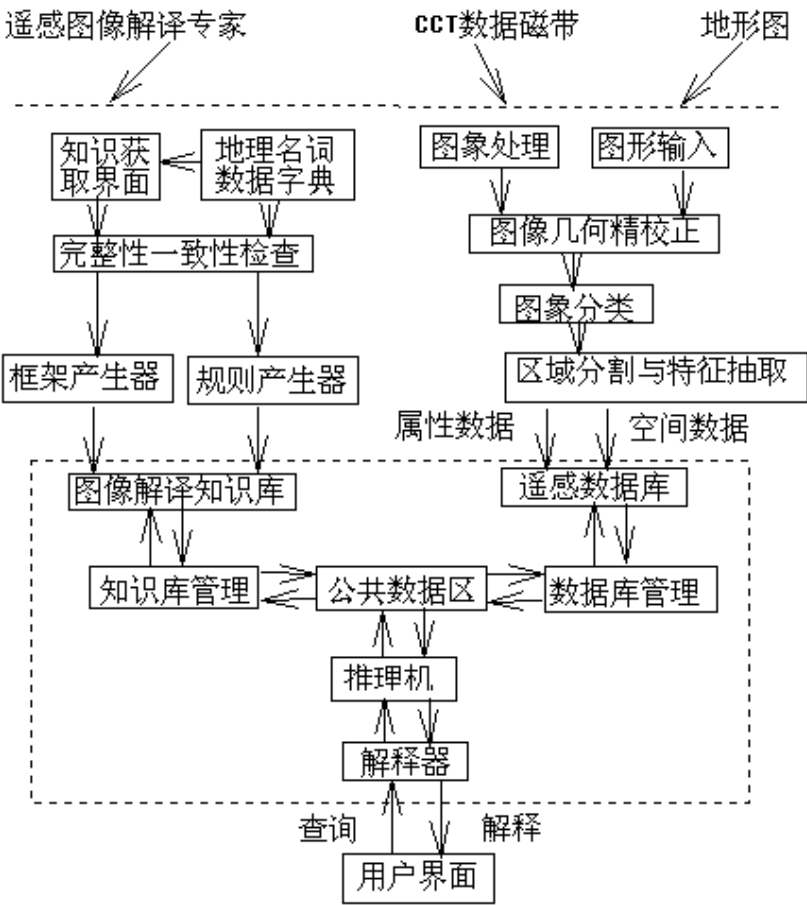
遥感图像解译专家系统是模式识别同人工智能技术相结合的产物。它用于模式识别方法获取地物多种特征，为专家系统解译遥感图像提供证据，同时应用人工智能技术，运用遥感图像解译专家的经验和方法，模拟遥感图像目视解译的具体思维过程，进行遥感图像解译。因此，它起到遥感图像解译专家的作用。利用遥感图像专家系统，可以实现遥感图像的智能化解译和信息获取，逐步实现遥感图像的理解。

6.4.1 知识表示与知识库构建

知识是推理分析的基础，在遥感图像的自动理解的过程中，主要是运用相关的知识进行推理分析得出遥感的深层信息。知识表示就是把知识表示成为便于计算机存储和利用的某种数据结构。只有通过知识表示才能使知识变成计算机能够利用的资源。目前知识表示的方法主要有：一阶谓词逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、语义网络表示法、面向对象表示法等。

6.4.2 图像理解专家系统

本节从以下四个方面介绍遥感图像解译专家系统。  
(1) 遥感图像解译专家系统的组成  
遥感图像解译专家系统既需要对遥感图像进行处理、分类和特征提取，又需要从遥感图像解译专家那里获取解译知识，构成图像解译知识库，在基于知识制导下，由计算机完成遥感图像解译。因此，它是复杂的系统。下图给出了一种联合式的遥感图像解译专家系统结构框图。



从图中可以看出，系统组成基本上分为三大部分：

第一部分为图像处理与特征提取子系统，它包括从 CCT 磁带获取遥感数据，进行图像处理，对地形图进行数字化，利用地面控制点对遥感图像进行精纠正，在图像处理基础上，对遥感图像进行分类，通过区域分割和边界跟踪，进行目标地物的形状特征和空间关系特征的抽取，每个目标地物的位置数据和属性特征数据通过系统接口送入遥感图像解译专家系统，存储在遥感数据库内。

第二部分为遥感图像解译知识获取系统，它包括通过知识获取界面获取遥感图像解译专家知识，对知识进行完整性和一致性检查，通过规则产生器和框架产生器将专家知识形式化表示，将专家知识通过系统接口送入遥感图像解译专家系统中，存储在知识库中。

第三部分为狭义的遥感图像解译专家系统，它包括上图虚线中的部分，只要有遥感图像数据库和数据管理模块、知识库和管理模块、推理机和解释器等构成。

#### （2）图像处理与特征提取子系统的功能与作用

对遥感图像解译专家系统来说，图像处理功能主要表现在遥感图像滤波、增强、大气校正、几何精校正和正射纠正等几个方面。

分类与特征提取的任务是从图像中抽取光谱特征和图像形状特征与空间特征，这些图像特征将是专家系统进行推理、判断并分析图像的客观依据。图像区域分割，主要是针对面状地物进行的，它的目的是将图像分割成区域，并从遥感图像中检测出地物的边界，以便形状抽取和特征描述。

分类与特征提取模块主要应用模式识别技术，获取目标地物单元的空间分布位置和主要特征，它们被作为空间数据和属性数据，送入到遥感图像数据库，因此，图像处理与特征提取子系统是遥感图像解译专家系统的数据处理与获取子系统，它可以为专家系统所调用。当专家系统根据已有的地物特征，对某一地物的属性提出新的假设，或者需要更多的证据来验证某一地物特定属性时，专家系统就会重新调用图像处理与特征抽取子系统，一个目标引导下的特征提取信息被传递给图像处理与特征抽取子系统，指导该子系统使用各种方法来获取更多的证据。

#### （3）遥感图像解译知识获取

遥感图像解译知识获取系统的主要功能是知识获取。知识获取被人视为专家系统的“瓶颈”。当前，遥感图像解译知识的获取具有三个层次：（1）增加遥感解译新知识；（2）发现原来解译知识有错误或者知识不完全，修改原知识或补充新知识；（3）解译专家系统能够根据解译结果，自动总结经验，修改错误知识和增加新的解译知识，第三层次实质上是一种创造性的机器学习。在现有的技术水平和计算机条件下，遥感图像解译知识获取主要集中在前两个层次。

遥感图像解译知识获取主要通过遥感图像解译知识获取界面来实现。知识获取界面是一个具有语义和语法制导的结构编辑器，它具有 3 个层次：

第一层次为下拉式主菜单形式的知识获取界面，可供选择的知识录入项目：有遥感图像解译知识获取，遥感图像解译背景知识（常识）获取。

第二层为多窗口知识获取界面。第一窗口为遥感图像解译知识类型的选择；第二窗口为遥感图像解译背景知识的选择，它们分别对于上级两个菜单。

第三层为遥感图像解译知识分类获取界面。在遥感图像解译知识类型选择窗口中，可供选择的知识获取类型有：遥感图像解译描述性知识，遥感图像解译过程性知识，遥感图像解译控制性知识等；在遥感图像解译背景知识选择窗口中，可供选择的知识获取类型有各个区域的背景知识。

#### （4）遥感图像解译专家系统的机理

遥感图像解译专家系统包括遥感图像数据库、解译知识库、推理机和解释器。

遥感图像数据库包括遥感图像数据和每个地物单元的不同特征，它由数据库管理系统进行管理。解译知识库包括专家解译知识和背景知识，它由知识库管理系统管理。推理机是遥感图像解译专家系统的核心，其作用是提出假设，利用地物多种特征作为证据，进行推理验证，实现遥感图像解译。

推理机采用正向推理与反向推理相结合的方式进行遥感图像解译。

推理机具有两种运行形式：

(1) 咨询式。用户和系统进行人机对话，解译系统根据用户提供的区域信息和任务要求，完成遥感图像解译。

(2) 隐蔽式。解译过程中图像数据同解译知识的结合在专家系统内部进行。它依据解译知识库内地物类型选取图像数据，数据在公共数据区内同解译规则匹配，进行推理。

专家系统中的解释器是一个用于说明推理过程的工具。它的作用是对推理的过程进行解释，以使用户明了计算机解译的过程。从应用要求看，解释功能要求解决以下两个问题：

- (1) 系统应该能理解用户提出的问题。
- (2) 系统能够根据用户的问题进行解释。

## 第五节 计算机解译的主要技术发展趋势

由遥感图像获取地学专题信息，传统的方法是通过目视解译。这种方法，既需要图像目视判读者具有丰富的地学知识和目视判读经验，又需要花费大量的时间去目视判读，其劳动强度大，信息获取周期长，有关地学专题遥感图像解译质量受目视判读者的经验、对解译区域的熟悉程度等各种因素制约。

为了解决这一问题，从本世纪 70 年代起，人们开始重视由计算机获取遥感图像中专题信息的方法研究。当时，主要是利用统计模式识别方法进行遥感图像计算机解译，如 Strahler(1980) 使用最大似然法对遥感图像数据分类，Goldberg(1983) 运用光谱特征，对多波段卫星图像进行分类，从中获取森林资源信息。

80 年代中期，随着人工智能和专家系统的发展，计算机对遥感数字图像识别方法有了新的进展：Engle(1985) 采用基于规则的专家系统，结合地物光谱特征对 MSS 卫星影像进行分类，获取土地专题信息；加拿大遥感中心与英国的 G. Peacegood(1986) 提出使用专家知识和模式识别技术对遥感图像进行目标地物识别。80 年代后期，D. Goodenough(1988) 与 M. Ehlers(1989) 等人提出遥感与地理信息系统一体化的问题，对地理信息系统与遥感技术的结合方式进行了研究。

90 年代以来，遥感数字图像计算机解译有了较大的发展。秦其明于 1991 年提出运用目标地物多种特征和地物背景知识进行遥感图像智能识别。1993 年，秦其明又进一步提出遥感图像多种特征抽取方法，提高计算机解译精度。H. Murai and S. Omatu(1997) 提出利用神经网络与专家知识进行图像分析，曹五丰、秦其明(1998) 提出利用目标地物知识指导计算机获取遥感图像信息的新方法。这些研究，有力的推动了遥感数字图像计算机解译的发展。

同时，遥感技术的发展，也对计算机解译方法与技术的发展提出新的挑战：

- (1) 高分辨率。
- (2) 高光谱。
- (3) 多时相。
- (4) 多角度。

这些问题，既对计算机解译提出挑战，也必将激励人们探寻解决的方法和技术，从而推断计算机解译的发展。

### 6.5.1 新方法在图像理解中的应用

#### 1、人工神经网络在遥感图像识别中的应用

- 2 、小波分析在遥感图像识别中的应用
- 3 、分形技术及在遥感图像识别中的应用
- 4 、模糊分类方法在图像识别中的应用

此外，还有其它一些新方法在计算机解译中应用。例如，利用二维字符串空间知识表示方法对物体空间关系特征进行描述，这种方法将地物在二维空间的分布转换为二维字符表示，便于进行空间推理分析和空间特征相似形检索。

#### 6.5.2 计算机解译的主要技术发展趋势

目前，计算机解译的技术发展趋势表现在以下几方面：

- 1 、抽取遥感图像多种特征并综合利用这些特征进行识别
- 2 、逐步完成 GIS 各种专题数据库的建设，利用 GIS 数据减少自动解译中的不确定性
- 3 、建立适用于遥感图像自动解译的专家系统，提高自动解译的灵活性
- 4 、模式识别与专家系统相结合

## 第七章 遥感影像地学分析与应用

教学重点：水体遥感和植被遥感的原理和主要应用。

### 第一节 地质遥感

#### 7.1.1 岩性识别

- 岩石的反射光谱特征：
  - 与岩石本身的矿物成分和颜色密切相关
  - 组成岩石的矿物颗粒大小和表面粗糙度的影响
  - 岩石表面湿度的影响。
- 2 、沉积岩的影像特征及其识别
    - 沉积岩最大特点是成层性沉积岩常常形成不同的地貌特点
    - 沉积岩的解译应着重标志性岩层的建立 .
    - 疏松的陆相碎屑岩直接与形成的地貌有关
  - 3 、岩浆岩的影像特征及其识别
    - 岩浆岩呈团块状和短的脉状，与沉积岩在形状结构上明显不同。
    - 酸性岩以花岗岩为代表，色调浅，易与围岩区分，形态常显圆形，椭圆形和多边形 .
    - 基性岩色调深容易风化剥蚀成负地形：方山，台地 .
    - 中性岩介于二者之间。火山岩最易识别 .
  - 4 、变质岩的影像特征及其识别

与原始母岩的特征相似，由于变质作用，使得影像特征更复杂。

#### 7.1.2 地质构造识别

##### 1 、水平岩层的识别：

硬岩的陡坎与软岩的缓坡呈同心圆状分布

##### 2 、倾斜岩层的识别：

在低分辨率遥感影像上，根据顺向坡有较长坡面，逆向坡坡长较短的特性判断岩层的倾向。  
在高分辨率的遥感影像上常出现岩层三角面，据此可确定岩层的产状

##### 3 、褶皱及其类型的识别

注意不同分辨率遥感影像的综合应用。

- 选择影像上显示最稳定、延续性最好的平行色带作为标志层。

- 标志层的色带呈圈闭的圆形、椭圆形、橄榄形、长条形或马蹄形等，是确定褶皱的重要标志。

#### 4 、断层及其类型的识别：

- 断层在遥感影像上有两种表现：一是线性的色调异常；二是两种不同色调的分界面呈线状延伸。

- 地质构造标志、地貌标志、水系标志等影像特征也是判断断层存在的重要标志。

#### 5 、活动断层的确定

除了具备断层的影像特征外，还具有以下特征：

- 山形、沟谷的明显错位和变形；
- 山形走向突然中断；
- 山前现代或近代洪积扇错开；
- 震中呈线形排列，活动频繁。

#### 7.1.3 构造运动的分析

- 上升运动，在地貌上表现为山地的抬升及河流的切割；地壳的下沉区在地貌上表现为负地形。两者接触带上往往有断裂存在。

在水系上，上升区表现为放射状水系；下降区则表现为汇聚状水系。

## 第二节 水体遥感

### 7.2.1 水体的光谱特征

1 、传感器所接受的辐射包括水面反射光、悬浮物反射光、水底反射光和天空散射光。

2 、不同水体的水面性质、水中悬浮物的性质和数量、水深 和水底特性的不同，传感器上接收的反射光谱特性存在差异，为遥感探测水体提供了基础。

### 7.2.2 水体界限的确定

### 7.2.3 水体悬浮物质的确定

#### 1 、泥沙的确定

- 浑浊水体的反射光谱曲线整体高于清水；
- 波谱反射峰值向长波方向移动。（“红移”）
- 随着悬浮泥沙浓度的加大，可见光对水体的透射能力减弱，反射能力加强。
- 波长较短的可见光，如蓝光和绿光对水体的穿透力较强，可反映出水面下一定深度的泥沙分布状况。

#### 2 、叶绿素的确定

- 水体叶绿素浓度增加，蓝光波段的反射率下降，绿光波段的反射率增高；
- 水面叶绿素和浮游生物浓度高时，近红外波段仍存在一定的反射率，该波段影像中水体不呈黑色，而呈灰色，甚至浅灰色。

### 7.2.4 水温的探测

### 7.2.5 水体污染的探测

1 、水体污染物浓度大且使水色显著地变黑、红、黄等，与背景水色有较大差异时，在可见光波段的影像上可识别出来。

2 、水体高度富营养化，可在近红外波段影像上识别出来。

3 、水体受到热污染，可在热红外波段影像上被识别。

4 、水上油溢污染可使紫外波段和近红外波段的反射率增高，可被探测出来。

### 7.2.6 水深的探测

蓝光波段影像上的灰度可反映水深。

### 第三节 植被遥感

#### 7.3.1 植被的光谱特征

1、健康植物的反射光谱特征：有两个反射峰、五个吸收谷。

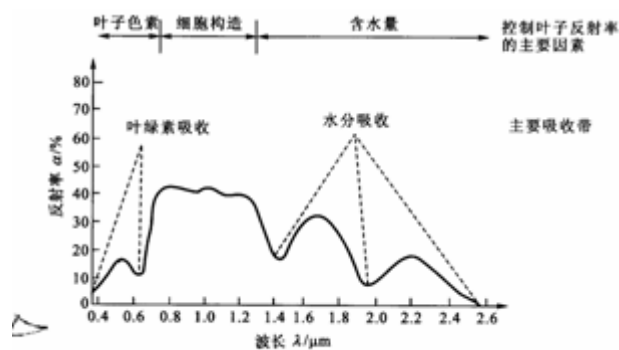


图 7.17 绿色植物有效光谱响应特征

2、影响植物光谱的因素

植物叶子的颜色

叶子的组织结构

叶子的含水量

植物的覆盖度

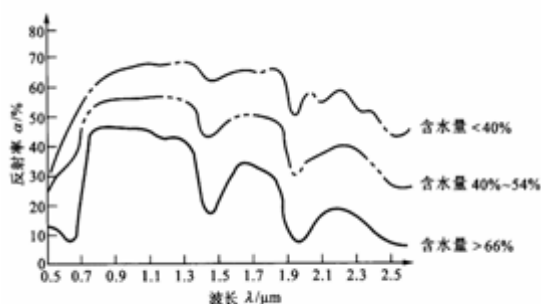


图 7.19 水分含量对玉米叶子反射率的影响

#### 7.3.2 不同植被类型的区分

1、不同植物由于叶子的组织结构和所含色素不同，具有不同的光谱特征。

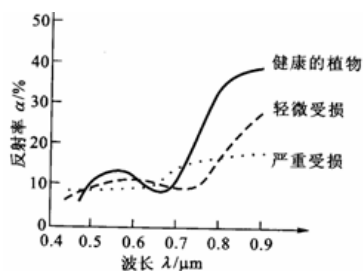
在近红外光区，草本植物的反射高于阔叶树，阔叶树高于针叶树。

2、利用植物的物候期差异来区分植物。

3、根据植物的生态条件区别植物类型。

#### 7.3.3 植物生长状况的判读

健康的绿色植物具有典型的光谱特征。遭受病虫害的植物其反射光谱曲线的波状特征被拉平。



7.24 植物遭受不同程度损害的反射光谱曲线

#### 7.3.4 大面积农作物的遥感估产

**1 、根据作物的色调、图形结构等差异大的物候期的遥感时相和特定的地理位置等的特征，将其与其他植被分开。**

获得植被分布图。

**2 、利用高时相分辨率的卫星影像对作物生长的全过程进行动态监测**

得到植被指数：比值植被指数、归一植被指数、差值植被指数、正交植被指数。

**3 、建立农作物估产模式**

用选定的植物灌浆期植被指数与某一作物的单产进行回归分析，得到回归方程。

#### 7.3.5 遥感植被解译的应用

1 、植被制图

2 、城市绿化调查与生态环境评价

3 、草场资源调查

4 、林业资源调查

### 第四节 土壤遥感

土壤是在地形，气候等多种成土因素的综合作用下形成的。在遥感影像上，不同的土壤类型的特征不如水体，植被等要素明显，而且，土壤的性状主要表现在剖面上，而不是在土壤的表面。土壤判读主要通过综合分析，并依靠间接解译标志。

#### 7.4.1 土壤的光谱特征

1 、地表植被稀少的情况下，土壤的光谱曲线与其机械组成和颜色密切相关。

2 、土壤表面有植被覆盖时，覆盖度小于 15%，光谱特征与裸土相似；在 15%–70%，表现为混合光谱。

#### 7.4.2 土壤类型的确定

确定土类

确定亚类

土属的确定

土种的确定

土壤类型综合分析和间接解译

### 第五节 高光谱遥感的应用

7.5.1 高光谱遥感在地质调查中的应用

7.5.2 高光谱遥感在植被研究中的应用

7.5.3 高光谱遥感在其他领域的应用

## 第八章 “3S” 技术应用

空间定位系统可以高效精确的提供点状地物的空间位置信息；遥感技术可以迅速及时大面积的提供地表的属性并在一定程度上提供地物的大面积的空间位置信息；地理信息系统为地物的几何数据和属性数据的存储、管理和应用提供了软件平台。它们三者互相配合，有效地解决了很多实际问题。

遥感 (Remote Sensing)、地理信息系统 (Geographic Information System) 与全球定位系统 (Global Positioning System) 的英文名称中最后一个单词均含有 “S”，人们习惯将这三种技术合称之为 “3S” 技术。下面我们对 “3S” 技术及其作用做一个介绍。

本章重点是掌握遥感、地理信息系统和全球定位导航系统的技术特点和它们的综合应用。

## 第一节 空间定位系统与遥感

空间定位系统是利用多颗导航卫星的无线电信号，对地球表面某地点进行定位，报时或对地表移动物体进行导航的技术系统。下面以 GPS 为例来介绍空间定位系统的工作原理。

### 8.1.1 空间定位系统基本原理

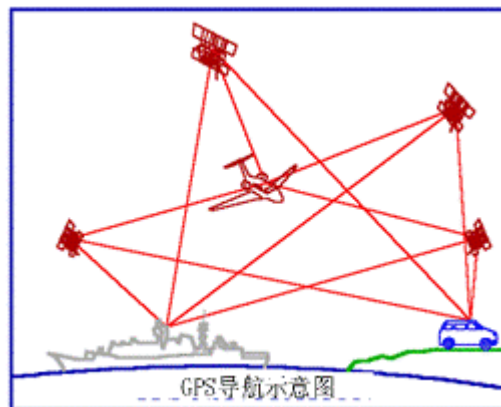
GPS 空间定位系统由 3 部分组成：

(1) GPS 卫星（空间部分）；gps 卫星的组成结构：每颗卫星都有高精度的原子钟，他们是卫星的核心设备。

(2) 地面监控系统（地面监控部分）；包括主控站、监测站与注入站。主控站控制整个地面站的工作，其作用相当于计算中心，它根据各监测站的数据，计算与编制各个卫星的星历与卫星钟的校正参量等任务。监测站负责跟踪接收各个卫星发射的导航信号，完成测量卫星至监测站的伪距离及其变化率等任务，并将数据预处理后送到主控站。注入站负责将主控站传递的卫星星历等信息注入给卫星。

(3) GPS 接收机（用户部分）。用于接收导航信号，计算出用户的空间三维位置或运动速度。

空间定位的基本原理如下：



从理论上讲，知道三颗卫星至观测站之间的几何距离，并利用 GPS 接收机收到的这三颗卫星导航电文推算出卫星的瞬时坐标，就可以计算出观测站的位置。其方法如下，以卫星的瞬时坐标为球心，以卫星至观测站之间的几何距离为半径，可以作出一个球面，分别以三颗卫星的瞬时坐标为球心，卫星至观测站之间的距离为半径，可以作出三个球面，三个球面的交点就是观测站在空间中的位置。由于利用电磁波测距方式进行距离测量，发射和接收必须严格保持精密的时间同步，虽然卫星可以采用稳度达到  $1 \times 10^{-13}$  以上的原子钟进行定时修正和调整，使其时间精度达到纳秒级，但是一般 GPS 接收机安装的并非精密原子钟，接收到的时间存在误差，因此需要利用第四颗卫星进行时间上纠正，以保证时间上同步。这样，确定一个目标所处的三维位置，就需要同时接收 4 颗卫星的信号，测出 4 个伪距（由于计算 GPS 观测点至 GPS 卫星之间的距离中含有接收机卫星钟的误差及大气传播误差，故称为伪距。），建立四个方程来求解 4 个未知数  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\Delta t$ 。这是一种伪随机码测距定位方法。

### 8.1.2 几种空间定位系统的简介

#### 1、GPS

全球定位系统 (Global Positioning System, 简称 GPS), 该系统由美国国防部控制, 每颗导航卫星以 1575.42 兆赫和 1227.6 兆赫两种频率为军事用户播发加密的高精度导航数据 (称 P 码), 同时以 1575.42 兆赫的频率为民用用户播发精度较低的导航数据 (称 C/A 码), 它通过不同导航信号提供军用与民用两种服务方式。

GPS 卫星信号包括载波信息、P 码、C/A 码、和数据码 (导航电文) 等多种信息, 根据这些信息测量 GPS 接收机到卫星的距离有多种方法。利用 GPS 定位, 无论采取何种方法都是通过接收 GPS 卫星信号而获得某种观测量来实现的。

美国军用 GPS 卫星导航仪能够接收精密码 (P 码) 信号, 其单点测距定位精度在 10 米之内, 事后处理精度可达到厘米级, 民用 GPS 卫星导航仪接收导航卫星发射的粗码 (C/A 码), 仅用于定位服务。美国出于其国家利益考虑, 将粗码定位精度限制在 100 米。因此单点定位精度为数十米左右至 100 米, 近年来, 随着其他国家 GPS 技术的发展与提高, 美国放宽了对定位精度的限制。

目前 GPS 定位广泛采用的基本观测量主要有两种: 码相位测量和载波相位测量。

## 2、GLONASS

全球轨道导航卫星系统 (Global Orbiting Navigation Satellite System, Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema, GLONASS), 如图 8-2 该系统是前苏联为满足授时、海陆空定位与导航、大地测量与制图、生态监测研究等建立的。自 1982 年至 1987 年, 共发射了 27 颗 GLONASS 试验卫星。该系统与 GPS 系统极为相似。它由 24 颗卫星组成卫星星座 (24 颗工作卫星和 3 颗在轨备用卫星), 均匀地分布在 3 个轨道平面内。卫星高度为 19100km, 轨道倾角为  $64.8^{\circ}$ , 卫星的运行周期为 11 时 15 分。GLONASS 卫星的这种空间配置, 保证地球上任何地点、任何时刻均至少可以同时观测 5 颗卫星。GLONASS 提供两种导航信号: 标准精密导航信号 (SP) 和高精密导航信号 (HP)。SP 定位与授时服务适用所有 GLONASS 的国内用户。其水平定位精度为 57-70 米 (99.7% 置信), 垂直定位精度为 70 米 (99.7% 置信), 速度矢量测量精度 15 cm/s (99.7% 置信), 时间测量精度在 1 mks (99.7% 置信)。

## 3、北斗双星定位系统

双星导航定位系统。又叫无线电测向卫星业务 (RDSS) 系统, 这是我国经过多年努力研制成功的导航和个人通信技术结合的卫星定位系统。双星定位原理由陈芳允院士提出。此系统由二颗太空卫星 (分别为 “北斗一号” 和 “北斗二号”), 控制站和接收机组成。RDSS 系统是一个区域性的具有全天候、高精度的定位和通信功能的快速实时系统, 属于主动定位系统的一种。它只能进行二维定位, 定位精度暂时保密, 具备双向通信功能 (GPS 并不具备此项功能)。

### 8.1.3 空间定位系统在遥感中的应用

#### 1、遥感图像的对地定位

由以上学习可知, 遥感影像的几何校正需要一些地面控制点 (GCP), 地面控制点的选取应控制点选用图像上易分辨且较精细的特征, 很容易用目视方法辨别, 如道路交叉点, 河流弯曲或分叉处, 海岸线弯曲、湖泊边缘, 飞机场, 城廓边缘等。这些地面控制点的坐标一般借助地形图来确定。但由于地形图的时效性, 有时需要实地测量, 空间定位系统可以准确、快速地测出地面控制点地坐标, 这是传统测绘方法无法相比的。

#### 2、航空遥感中航线的控制

在航空遥感中, 飞机的姿态、飞行路线的控制对遥感任务而言是非常重要的。尤其是在多航线的面状遥感任务中, 航线与航线之间的影像拼合主要取决于飞行路线的控制。空间定位系统可提供精确导航, 使得航线之间平行, 为遥感影像的高精度拼接和几何校正提供保证。

#### 3、遥感实地验证时的导航定位

在遥感影像的第一次判断后的实地验证过程中,需要知道所处的地点对应于遥感影像上的位置。传统方法主要是依靠明显地物来作参照物,效率低,准确度低。应用空间定位系统可有效地解决这个问题。

## 第二节 地理信息系统与遥感

### 8.2.1 基本概念

地理信息系统的发展,起源于加拿大土地管理局在 20 世纪 60 年代初期开展的土地资源调查,该土地局从 1963 年开始投入人力和财力来开发用于土地资源调查与管理的地理信息系统,历时八年,至 1971 年完成。经过 30 多年的发展,地理信息系统作为一种先进的技术手段和地理信息处理与分析的工具,日益受到人们的重视。Coulson(1990) 将地图学、遥感、地理信息系统和统计学一起称为“地理学的通用工具”,并且指出,地理系学生无论未来的研究方向如何,都应该熟练的掌握这些通用的工具。

地理信息系统 (Geographical Information System, 简称 GIS) 是在计算机硬件和软件支持下,运用地理信息科学和系统工程理论,科学管理和综合分析各种地理数据,提供管理、模拟、决策、规划、预测和预报等任务所需要的各种地理信息的技术系统。从计算机实现的技术角度看,地理信息系统是一个用于对地理数据进行采集、管理、查询、计算、分析与可视表现的计算机技术系统。

### 8.2.2 系统功能简介

GIS 与传统的管理信息系统 (MIS) 技术相比,具有较多的优势。它能够把空间信息与属性信息相结合,不仅使得用户知道一个物体是什么,而且使得用户知道一个物体在哪里。此外, GIS 具有把时间和空间的信息结合起来的能力,它可以对不同时间序列中的空间信息作出直观的描述,并可以把查询与分析结果以声、图、文一体化的方式展现在用户面前,其应用领域已渗透到社会生活的各个角落,对工农业建设、国民经济的发展和宏观经济决策,起到了积极的作用。从技术角度看,地理信息系统主要具有以下功能:

#### 1、地理数据采集功能

将地球表层目标地物的分布位置与属性或地图上承载的各种信息通过一定的输入设备和方法输入到计算机中,变成为地理信息系统能够操作与分析的数据,这个过程称为数据采集。

#### 2、地理数据管理功能

地理数据管理主要包括地理属性数据管理与地理空间数据管理两个方面。在地理属性数据库中,地理数据的组织一般分为四级:数据项、记录、文件和数据库,地理属性数据管理对象包括属性数据项、属性数据记录和属性文件。地理属性数据管理就是在地理属性数据库中对这些地理属性数据进行添加、删除、更新、排序、检索等操作。空间数据的管理包括空间数据的编辑修改和检索查询两方面内容。

#### 3、空间分析与属性分析功能

分析功能是地理信息系统的核心。分析功能主要依赖于地理信息模型来实现。空间数据分析模型。空间数据分析模型操作的对象为空间数据,按空间数据结构的不同,可以把空间数据分析模型分为基于矢量数据的分析模型与基于栅格数据的分析模型。

经常使用的基于矢量数据的分析模型包括拓扑叠加 (Overlay) 模型、定距离空间搜索 (Buffer, 又称缓冲区分析) 模型、地理网线分析 (Network, 又称网络) 模型。

基于栅格数据的空间分析模型主要有数字地面模型 (Digital Terrain Models) 等。通过数字地面模型产生的有序数字集合,可以刻划地球表面事物与现象在空间分布的各种特性。

属性数据分析模型。属性数据分析模型主要对地理属性数据进行分析与处理,它要求模

型构建者熟悉模型应用领域的实际背景，透彻把握与理解问题的本质，具备解决问题的专业知识，方能够建立切合实际具体问题的模型。

4、地理信息的可视化表现

在地理信息系统中，现实地物是用抽象的符号来表示的。制图符号是 GIS 的语言，GIS 以此来表达现实世界。二维 GIS 采用的制图符号与地图学中的制图符号基本一致。但是由于 GIS 是在计算机系统中实现的，这使得 GIS 可以使用更加灵活的制图符号来表现不同分辨率的现实世界。

在 GIS 里相同类型的数据子集被称作图层。如土壤类型图层，地表温度图层等。图层的概念大大方便了 GIS 的信息管理和分析。

5、网络环境下的数据共享

网络环境下的地理信息数据共享具有重要意义。它为地理信息的采集、发布提供了便捷的工具。从技术实现来看，网络现在主要有两种模式：客户端 / 服务器端（C/S）型和浏览器 / 服务器（B/S）型。一般而言，C/S 型需要客户下载一个插件安装上，对数据进行操作；B/S 型只要有浏览器就可以进行各种查询显示，大部分的 gis 操作都是在服务器端完成的。

8.2.3 地理信息系统与遥感的结合

由于遥感图像中“同物异谱”、“同谱异物”的情况时常发生，影响了土地覆盖 / 分类的精度。在地理信息系统的支持下，可以补充一些非遥感信息参与遥感分类。实践证明，在地理信息系统的支持下，增加遥感以外的其他信息参与分类决策，可明显提高土地分类的精度。此外，还可利用地理信息系统提供的非遥感信息参与遥感信息的各种定性、定量分析，加大信息挖掘的深度，提高遥感信息的使用效率。

对于地理信息系统而言，遥感是重要的信息源。与传统的信息采集方法相比较，它为地理信息系统提供高效、廉价、及时、客观、准确、丰富的地面信息。

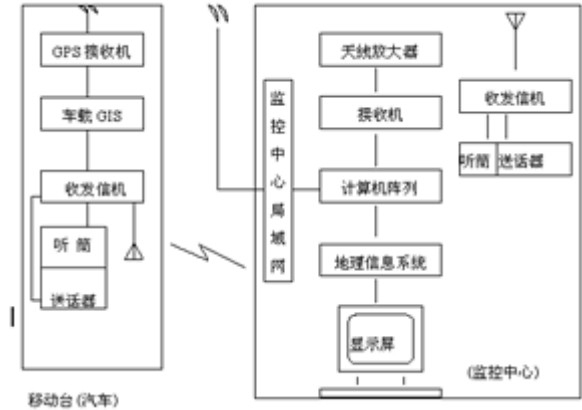
第三节 “3S” 技术综合应用实例

在人类社会进入信息社会的时代，遥感、地理信息系统和全球定位系统将对解决国民经济建设、科技发展的重大问题作出主要贡献。它可以在多个领域中发挥重要应用，下面分别简述如下。

8.3.1 3S 技术在车辆导航与车辆监控系统中的综合应用

车辆导航与监控系统是一项融 GPS、GIS、遥感技术与通讯技术为一体的复杂系统，它通过对车辆（移动目标）的导航、动态跟踪、监控、检查与服务等机制，来完成对车辆的综合管理与控制。目前，这类系统已经在国内外不少城市试用，它倍受公安、银行、保安、出租车管理等部门的青睐。

车辆导航与车辆监控系统主要由硬件、通讯环境、GPS 导航仪和地理信息系统等组成。



系统硬件包括监控中心计算机阵列和全部移动车台；在 3S 技术支持下，监控中心计算机阵列连网后形成车辆信息监测与控制系统，管理人员可以对监控车辆进行动态编组管理、导航与调度，在控制中心，具有大画面、高清晰度的大屏幕显示系统能够动态实时地显示来自各个车辆运行状况，管理人员可以实时看到移动车辆运行情况，对不同区域或特定目标进行锁定式监控，系统确保紧急报警信号优先监测，在紧急状态时可以应急调出具有辅助决策功能的警情专用地图，详细显示以事故地点为中心的区域情况，以供决策参考。

GPS 导航仪在移动车辆上主要具有对行驶中的车辆进行定位和提供导航功能的功能。

#### GIS 在车辆导航与监控系统中的综合应用

车辆安装 GIS 后，司机在汽车上可以进行以下查询：道路上任一点相关信息（沿街单位名称、周围旅馆、饭店信息、治安岗亭等特殊信息）、城市任一条公路信息（长度、路况、路边单位分布及电话号码等）、最优路径计算，给出动态目标起点到终点之间的最优路径（选择两点之间最近路线，最快路线等）、可计算出电子化地图上任意两点间的距离。

在控制中心，地理信息系统可以完成以下功能：

支持扫描仪和数字化仪输入，可以对数字地图中公路信息进行增加、删除、移动等修改。此外支持数据文件的输入，地理信息系统读入图形数据文件，然后用它直接生成图形。例如，将 AutoCAD 生成的图形直接读入系统，进行显示。

支持电子地图的无级缩放、分层显示和管理；地图与数据报表打印与输出。挂接多种数据库，支持对动态目标信息、道路信息、地理信息及服务设施信息等各种信息的查询。

遥感信息在车辆导航与监控系统中的综合应用

（1）利用高分辨率遥感影像图作为电子地图。

（2）利用高分辨率遥感影像图更新城市矢量道路图。库进行更新。

#### 3S 在车辆导航与监控系统中的综合应用：

在车辆导航与监控系统中，遥感技术以数字图像方式提供了城市范围内道路与相关因子动态变化信息，它可以在 GIS 中作为电子数字地图使用，也可以利用遥感图像来及时更新道路数据库。全球定位系统提供了车辆目前所处的精确位置等信息，位置信息可以在 GIS 支持下，在显示器上以“点”状符号表现出来，直观的向司机指明当前车辆在道路上的位置，同时该车的位置信息可以通过无线集群通讯网接入控制中心局域网，车辆导航与监控系统服务器接收各个移动车辆的位置信息，并分发给与其相连的各个操作台。管理操作台与监视操作台上安装有 GIS 系统，它可以把 GPS 定位信息在电子地图中相应位置上表现出来，地理信息系统可以实现各种车辆信息的管理、显示和分析，为管理人员和司机提供辅助决策，在突发事件时它可以快速在地图上准确标出各个移动车辆的当前位置，为公安快速反应，交通调度管理，车辆报警求援提供帮助。以上各项技术各有侧重，相互补充，共同完成车辆导航与监控系统承担的各项任务。

#### 8.3.2 海洋资源开发中的“3S”技术应用

长期以来，海洋捕鱼主要依靠“鱼老大”的直观经验在茫茫大海中确定渔场的位置，显然，这种作业技术十分落后，捕鱼量不可能稳定高产。事实上，海洋的鱼群运动以及鱼饵料的时空分布是有规律可循的。海洋鱼群对海洋生态环境有极大的依赖性。水温、水色、海流、风场、盐度等海洋环境参数及其变化控制着鱼类的生存、繁殖、洄游、分布以及中心渔场位置、渔期早晚和捕获量，这为遥感、地理信息系统和全球定位系统在开发海洋渔业资源方面的应用提供了可能性。

遥感在海洋渔业资源开发中的应用

自从 TIROS(Television and Infra-Red Observation Satellite) 业务系列卫星投入运行以来，向人们提供了大量海洋遥感数据。海洋学家发现不同的鱼种有不同的温度习性，鱼饵料场往往分布在冷热水交界面上。因此，利用海面温度图可以推断渔场的分布。于是利

用遥感数据进行处理分析,绘制海洋表面温度分布图,遥感技术成了发现渔场的有力工具。在八十年代初期,日本渔业已应用旬平均海温图来指导渔业生产,其远洋渔业也是利用遥感遥测指导捕鱼活动。

### **地理信息系统在海洋渔业资源开发中的应用:**

地理信息系统支持海洋数字地图的显示与管理。渔民在海洋上捕鱼,可以方便的使用地理信息系统来显示电子地图,在电子地图上渔民可以看到 GIS 模拟出海洋渔场的分布,中心渔场的位置、渔场边界、渔场密度分布状况。在计算机显示屏幕上,海洋状况可以采用二维、三维图像方式来表达,各种统计信息也可以采用直方图、折线图或者二维表的形式来表现,这为渔民观察、使用与分析鱼情提供了方便。

友善化用户界面技术为用户的查询提供了方便。渔民可以利用渔业数据库查询不同海区的水温、叶绿素浓度及分布、海洋表面风场以及流场分布,海水深度、盐度等信息。海洋渔业资源与环境数据库具有“多文档、巨容量”特点,它包括渔业资源与环境统计数据、栅格数据和遥感数据,可以采用面向对象的层次数据模型,实现渔业资源与环境数据库管理。这种管理技术,方便渔民检索查询。

### **全球定位系统在海洋渔业资源开发中的应用**

利用 GPS 接收机确定当前捕鱼船所在的位置。GPS 接收机进入定位状态后,液晶显示屏显示当前捕鱼船在海洋中的经纬度及当前时间。因此,利用 GPS 接收机,渔民可以随时在浩瀚的海洋中随时了解船只的位置,这比利用太阳和星星辨认方向要精确。

### **3S 技术在海洋渔业资源开发中的综合应用:**

#### **遥感技术与地理信息系统的综合应用:**

海洋遥感数据经过专家分析,可获得大面积、准实时的综合渔场环境参数。在 GIS 支持下,利用遥感技术提供的海洋生态环境参数,结合渔场预测模型和专家知识库,推测海洋鱼群的繁殖、洄游、分布及中心渔场位置,对海洋渔场进行预测、预报。在海洋电子地图上给出中心渔场、渔场边界、鱼群密度分布等信息,并对鱼群维持的时间做出预报。为海洋渔业捕捞提供技术支持。

#### **全球定位系统与地理信息系统结合:**

地理信息系统可以将海洋数字地图表现在显示器上,在数字地图上可以看到岛屿、暗礁、洋流、主要鱼群的洄游路线和渔场的分布范围,全球定位系统则提供了当前船只所在的位置,这种以数字形式表示的地理位置信号通过全球定位系统与计算机接口,进入地理信息系统,它可以直观形象的在数字地图上表现为一个箭头或者船只符号,随着船只不停行驶,其航行路线可以记录在地理数据库中,并能够动态地在数字地图上表现出来。

### **3S 技术在海洋渔业资源开发中的综合应用中有待解决的几个问题**

3S 技术在海洋渔业资源开发中的综合应用刚刚起步,它存在着以下一些有待解决的问题:

(1) 海洋专题图与卫星遥感图像的匹配问题。

(2) 由于不同的海洋专题图可能具有不同的投影方式和不同比例尺,它需要进行投影变换和统一比例尺,在此基础上才能进行海洋专题图与卫星遥感图像的匹配。

(3) 业务化运行问题。利用 3S 技术发展海洋渔业生产,需要有一个业务化部门专门负责对每天实时接收的数十条轨道的极轨卫星和每小时一次的静止卫星资料进行处理分析,及时获取海温、水色、风、海流及锋面等海洋渔场综合参数,发布海况速报,提供中心渔场短期预报和渔讯中长期预报,只有这样才能真正促进海洋渔业的发展。

### **8.3.3 精细农业发展中的“3S”技术应用**

农业是一个国家的基本产业,按照农业地域分异规律,因地制宜发展农业,这对于合理利用农业资源,发挥地区优势,增加粮食生产,保护生态环境具有重要意义。在信息社会,

“精细农业”代表着农业发展的一个方向，也是农业研究领域的热点。

精细农业发展受到“3S”技术的推动。70年代，遥感与地理信息系统技术的发展，为“精细农业”发展作了技术上的准备。80年代各发达国家在提高农产品市场竞争力目标驱动下，对减少环境污染，节约劳动成本、提高农业利润的大田作物生产的高新技术给予了广泛的关注，遥感与地理信息系统和辅助决策支持系统开始在农业较大范围中应用。90年代初期卫星定位系统技术的民用化，推动了3S在农业生产中的应用，导致了“精细农业”的诞生并推动了精细农业的发展。目前国外关于精细农业的研究，主要内容仍然集中在“3S”技术利用上。可以说精细农业的发展起步不久，“3S”技术在精细农业示范应用中预示了良好的发展前景。在“3S”技术支持下的精细农业具有技术性强、定量化、定位化等特点。

### **遥感在精细农业中的作用：**

遥感技术可以客观、准确、及时的提供作物生态环境和作物生长的各种信息。它是精细农业获得田间数据的重要来源。

### **全球定位系统在精细农业中的作用**

全球定位系统是一种同时接收来自多颗卫星的电波导航信号，测量地球表面某点准确地理位置的技术系统，英文简称GPS。近几年来，GPS产业发展很快，一些美国大公司提供了用于农田测量、定位信息采集和与智能化农业机械配套的DGPS产品。

### **地理信息系统在精细农业中的作用**

地理信息系统可以被用于农田土地数据管理，查询土壤、自然条件、作物苗情、作物产量等数据，并能够方便的绘制各种农业专题地图，也能采集、编辑、统计分析不同类型的空间数据。

### **3S技术在精细农业中的综合应用：**

全球定位系统的优势是精确定位，地理信息系统的优势是管理与分析，遥感的优势是快速提供各种作物生长与农业生态环境在地表的分布信息，它们可以做到优势互补，促进精细农业的发展。

GPS和GIS结合提供了科学种田需要的定位和定量进行田间操作和田间管理的技术手段。GPS特点是可以确定拖拉机和联合收割机在田间作业中的精确位置。GIS特点是对各种田间数据进行处理和定量分析，二者结合可以提供科学种田需要的定位和定量技术手段，进行田间操作和田间管理。例如：地理信息系统能够根据地块中土壤特性（土壤结构和有机质含量）和土地条件（土地平整度和灌溉），结合GPS接收机提供的位置数据，指挥播种机进行定量播种，播种的疏密程度与土地肥力和土壤质地等作物生长环境相适应。在GIS和GPS指挥下，农药喷洒机可以在病虫害发生地去自动喷洒农药。

遥感和GIS结合提供了多种数据源，这为建立农田基础数据库奠定了基础。农田基础数据库是农田科学管理的基础。搭载在拖拉机和联合收割机上的地理信息系统可以记录下各种农田操作过程中获得的数据，如作物品种、播种深度、喷洒农药类型、施肥和灌溉，以及收获产量，同时记录下田间作业时的位置与范围，灌溉量、化肥使用量、农药喷洒量、喷施部位、使用时间、当时天气状况，这些都可以记录在数据库内，日积月累，形成农田基础数据库。此外，也可以通过观察，将作物生长情况，田间管理措施和生态环境等数据输入到数据库中。农田基础数据是农业生产辅助决策支持系统的重要科学依据。

### **8.3.4 土地研究中的“3S”技术应用**

遥感、地理信息系统和全球定位技术为土地科学提供了全新的研究手段，导致了土地科学研究范围、内容和方法的巨大变化。RS、GIS及GPS（全球定位系统）在土地研究领域的推广与应用，带来了十分明显的社会效益和经济效益。

### **遥感技术在土地领域中的应用：**

常规的土地资源调查方法, 获取数据的周期长而且精度差, 数据和图件的管理、传输、分析手段落后, 无法提供及时、准确、全方位的信息。加上每年土地利用和土地覆盖状况都在变化, 往往使耗资巨大的调查结果难以反映当前土地资源现状, 而应用遥感技术可以快速获得土地利用和土地覆盖的动态变化信息。

地理信息系统在土地领域的应用

地理信息系统最早是由土地部门发展起来的。尽管在不同土地部门中应用的地理信息系统名称不同, 但它们实质上都是与具体部门相结合的地理信息系统软件。

空间定位系统在土地领域的应用。

GPS 由于定位的高精度和应用的灵活性, 目前已经成为土地调查中进行空间定位的主要手段。在土地资源分布调查中, GPS 可以作为独立数据获取手段之一。对于权属划拨引起的用地类型改变的情况, 可以使用 GPS 接收机在野外获取变化区域的定位数据, 在此基础上对土地资源数据库进行更新。

### 8.3.5 全球变化研究中的“3S”技术应用

全球变化是指气候和地表及地表以上各种因子间的相互作用造成的环境变化, 它涉及到岩石圈、大气圈、水圈和生物圈。全球变化受到自然过程和人类活动的共同影响, 目前已出现全球变暖、大气温室气体浓度增加、臭氧洞、地表植被覆盖和土地利用变化等几个比较重大的环境问题。

全球变化与对地观测研究的技术支撑是遥感技术、地理信息系统技术、全球定位技术与高速数字通讯网络。遥感技术提供了地球上环境与资源动态变化信息, 地面卫星接收站与数字通讯网络分别实现天地之间通讯传输与地球不同区域分布式数据库的联网, 地理信息系统完成地球资源与环境信息的分析任务, 全球定位技术提供了地球表层观测地点的精确位置等信息, 以上技术各有侧重, 相互补充, 在全球变化研究和对地观测研究中发挥着重要作用。遥感技术在全球变化监测中的应用

遥感技术是全球变化动态监测的重要手段。利用遥感技术获取全球变化信息, 时间周期很短。天空中运行的气象卫星, 可以一天两次监测同一地区, 法国 SPOT 地球观测卫星, 在需要时可以 3 ~ 5 天的间隔观测同一地区, 美国发射的地球观测卫星, 以 16 ~ 18 天的时间间隔观察同样的地区。这里以大气监测为例, 说明遥感技术的应用。当电磁波在大气中传输与目标物相遇时, 会发生散射、吸收、频散等物理效应, 同时目标物本身也是某个波段电磁波发射源。当大气成分的浓度、温度、压力等大气状况发生变化时, 电磁波信号的强度、相位、频谱和偏振状态就会发生变化, 从而储存了丰富的大气信息, 分析接收到电磁波中的各种物理特征, 由此可以反推大气的状况。因此, 可以利用气象雷达, 探测目标物的空间位置、形状、尺度、运动趋势、降水强度、云中含水量、降水粒子谱、水平风场、大气垂直速度、大气湍流场、大气温度层等。在美国气象学会第 78 届年会上, 一些作者报告了利用卫星观测资料研究了对流层上层水汽传输的变化和对温室气体增暖的影响, 对比了卫星观测与模式再分析的大气水汽变化, 还研究了云过程对热带太平洋海温年变化的作用等。在季节—年际气候预测方面, 他们在对控制 El Nino 形成的过程进行观测方面取得了突破。

### GIS 技术在全球变化监测中的应用:

全球变化数据检索与查询。如全球变化研究中, 海—陆—气相互作用和水分循环在全球变化的区域响应中起着关键的作用。上述研究, 涉及大气、海洋、地理、水文和生态多种学科的大量数据和多种遥感资料, 它需要利用 GIS 技术进行管理、检索和查询。

GPS 技术在全球变化监测中的应用

利用 GPS 定位技术监测气候变暖导致的海平面上升。利用高精度 GPS 测量地球表层的板块运动。

### 8.3.6 其它领域中的“3S”技术应用

### 1 、环境动态监测与环境保护

遥感技术是环境动态监测的重要手段。通过地球观测卫星或飞机从高空观测地球，监测的区域范围大，获取环境信息快速准确，能够及时发现陆地淡水和海水的污染、大面积空气污染、南、北极冰雪覆盖范围的变化、森林大火，火山喷发、洪水淹没区域等。利用遥感技术获取环境信息，时间周期很短。天空中运行的气象卫星，可以一天两次监测同一地区，SPOT 地球观测卫星，在需要时可以 3-5 天的间隔观测同一地区，地球观测卫星，以 16 — 18 天的时间间隔观察同样的地区。它们获得的环境动态观测数据，通过地理信息系统快速处理和分析，能够及时发现环境的变化，便于采取措施控制环境污染，最大限度避免环境危害，达到保护环境的目的。

### 2 、防灾、减灾、救灾

利用 NOAA 系列气象卫星实时传输的遥感信息，可以及时监测林火发生的地理位置和所在的行政区域，包括经纬度、行政界线；森林火灾的动态演变，包括蔓延方向、燃烧面积和强度等；森林资源的损失情况，包括地类、林型及森林环境。在地理信息系统的支持下，可以快速制作遥感影像图，编制林火管制事态图，并通过屏幕显示、笔绘输出和打印机打印成图，为林火指挥人员提供实时决策依据。并利用地理数据库提供的扑灭火灾人员配置资料，根据预先制定的灭火方案，迅速进行灭火部署。在防灾、减灾、救灾中，GPS 技术还可以应用在精密的大地测量基准研究，而大地测量基准研究是地球动力学研究、地壳形变和地震预报的基础。用遥感方法监测地温变化已成为很有发展前途的地震预报手段之一。地理信息系统可以对自然灾害信息进行查询分析，尤其在自然灾害损失评估中具有重要作用。RS、GIS 和 GPS 的“3S”集成将为灾害预测预报、制定防灾救灾预案、灾期应急行动指挥、灾后损失评估和治灾工程规划提供现代化的科学手段。

### 3 、城市规划与城市管理

航空像片和高分辨率的卫星图像可以快速、真实地提供城市规划方面的大量信息。通过航空像片和高分辨率的卫星图像的判读和解译，城市规划人员和城市建设管理人员能够了解城市基本布局，或者了解城市建成区内的居民住房、工厂、商店、学校等各种建筑物，广场、街道、公园绿地和河湖水面的分布现状，这对于提高城市规划水平，监测城市规划的实施，总结城市规划方面的经验教训，搞好城市建设，有着重要的意义。地理信息系统的真正价值在于它能够快速进行分析，帮助规划人员来解决城市规划中碰到的问题。GPS 技术在城市交通管理和社会治安管理中具有重要作用，GPS 为飞机、车、船导航和调度管理提供了全新的手段，也为银行、保险、公安、医疗、出租车等各类业务车辆提供了监控、调度和安全管理手段，因而将大大加强城市交通管理和社会治安工作。