目　　录

第一篇　遥感图像及其特征

第一章　遥感图像原理 …… 1
第一节　电磁波及其传播 …… 1
第二节　地物波谱特征 …… 3
第三节　人的视觉系统与色度学基本知识 …… 7
第二章　遥感图像的形成 …… 9
第一节　遥感成像过程 …… 9
第二节　遥感平台 …… 10
第三节　遥感传感器及其数字图像特征 …… 13
第三章　遥感图像的数据格式 …… 17
第一节　遥感信息处理的几个基本概念 …… 17
第二节　遥感数据世界标准格式 …… 19
第三节　Bulk 格式 …… 21
第四节　关于 Dacdalus 磁带的数据格式 …… 23
第五节　非遥感数据的图像化处理 …… 24
第四章　遥感图像模式与遥感图像信息特征 …… 25
第一节　遥感图像模式与遥感图像的数字表示 …… 25
第二节　遥感图像中的信息内容与测度 …… 30
第三节　遥感图像信息特征的概貌分析 …… 32

第二篇　遥感图像处理系统

第五章　遥感图像处理系统概述 …… 37
第一节　遥感图像处理系统基本构成 …… 38
第二节　几种典型的遥感图像处理系统简介 …… 39
第三节　遥感图像处理系统的发展 …… 42
第六章　VAX / VMS 操作系统 …… 46
第一节　访问系统 …… 46
第二节　如何使用命令语言 …… 47
第三节　用户的工作环境 …… 48
第四节　文件管理及其处理命令 …… 49
第五节　外部设备的使用 …… 52
第六节　常用命令列表 …… 54
第七章　I^2S 600 数字图像处理系统 …… 57
第一节　S600 图像处理系统的主要硬件配置 …… 57
第二节　S600 系统的主要功能模块 …… 59

第三节　S600 系统的操作使用 …… 60
第四节　S600 系统功能命令表列 …… 66

第三篇　遥感图像计算机处理

第八章　遥感图像的前处理 …… 72
第一节　辐射量校正 …… 72
第二节　图像的几何精校正 …… 75
第三节　数字图像的镶嵌处理 …… 81
第四节　I^2S600 系统中各种遥感 CCT 磁带的输入 …… 82
第九章　图像变换 …… 85
第一节　傅立叶变换 …… 85
第二节　K-L 变换 …… 88
第三节　缨帽变换 …… 91
第四节　其它的矩阵变换 …… 92
第十章　图像增强处理 …… 95
第一节　对比度增强 …… 95
第二节　图像的平滑处理 …… 100
第三节　遥感图像的线与边缘特征增强处理 …… 104
第四节　比值与差值处理 …… 107
第五节　图像的彩色增强处理 …… 109
第六节　其它增强处理方法 …… 113
第十一章　遥感图像的分类处理 …… 118
第一节　遥感图像分类原理与方法概述 …… 118
第二节　遥感图像的非监督分类处理 …… 119
第三节　遥感图像的监督分类 …… 120
第四节　地学遥感图像计算机分类处理中的几个问题 …… 123
第十二章　纹理分析 …… 127
第一节　纹理分析的自相关函数法 …… 127
第二节　基于邻域特征统计的纹理分析方法 …… 129
第三节　空间频率法 …… 131
第四节　共生矩阵法 …… 133
第十三章　地理信息系统及其在遥感图像处理中的应用 …… 137
第一节　地理信息系统及其发展 …… 137
第二节　地理信息系统的基本构成 …… 139
第三节　地理信息系统的数据结构 …… 142
第四节　地理信息系统的基本功能 …… 143
第五节　地理信息系统与遥感 …… 144

第四篇　地学遥感图像数字处理的模式与应用

第十四章　遥感图像数字处理模式 …… 145
第一节　地学遥感图像数字处理的特点 …… 145
第二节　地学遥感图像数字处理的一般流程 …… 150
第三节　地学遥感图像数字处理中几个问题的探讨 …… 152
第十五章　遥感图像处理在活动断裂带研究中的应用 …… 156
第一节　鲜水河活动断裂带遥感研究的技术路线 …… 156
第二节　鲜水河地区 TM 图像的特征分析 …… 157
第三节　鲜水河活动断裂带专题信息的增强与提取处理 …… 159
第四节　鲜水河活动断裂带的遥感综合解译 …… 164

参考文献 …… 167

J610039

第一篇　遥感图像及其特征

第一章　遥感图像原理

遥感是一种通过非直接接触来判定、测量并分析目标性质的技术[1]，也有人将遥感简称为遥远的感知[2]。遥感产品分模拟和数字两种形式，模拟产品主要指经过加工处理的各种比例尺照片及底片，而数字产品通常是指经过预处理的计算机兼容磁带(CCT)。遥感图像数字处理的研究对象主要为 CCT。

众所周知，遥感 CCT 中的每一个图像数据都有明确的物理意义，简单说来它反映了与地面相对应的某一区域内地物的平均电磁波辐射水平，而地物反射与发射电磁波能量的大小又直接与地物的类型相关。因此遥感图像值的大小及其变化主要是由地物的类型及变化所引起。遥感的基本原理就是通过分析遥感 CCT 数值的大小与变化规律来有效地识别地物，数字图像处理作为遥感处理的一个重要技术手段，其目的是为了增强与提取遥感图像中的专题信息，根据专题信息来设计选择遥感图像数字处理的方法。因此，遥感图像的形成原理与物理基础是遥感图像数字处理方法研究所必须掌握的内容。本章将介绍与遥感图像形成原理有关的电磁波传播问题、地物波谱特征以及色度学的基本原理。

第一节　电磁波及其传播

电磁波是在真空或物质中传播的交变电磁场，电磁波理论是遥感的物理基础，遥感中经常使用的可见光、微波以及红外线等都是电磁波。本节将介绍电磁波的基本特征。

一、电磁波的性质[3,4]

电磁波具有波动性和粒子性两重性质。

1）电磁波的波动性。所谓波动性指的是电磁波的时空周期性，可以用波长、速度、周期和频率来表征。电磁波是一种伴随电场和磁场的横波，在平面波内，电场和磁场的振动方向是在与波行进方向成直角的平面内。理论上电磁波的波长 λ、频率 f 以及速度 V 满足关系式 $\lambda = V / f$。

电磁波的波动性主要表现为电磁波具有干涉、衍射、偏振以及散射等现象。

2）电磁波的粒子性。电磁辐射与物质作用时，电磁波具有粒子性。将电磁波作为粒子对待时，其能量 E 为：

$$E = hf \tag{1-1}$$

式中，E ——能量；

h ——普朗克常数；

f ——振动频率。

电磁波的粒子性主要表现为电磁辐射的光电效应、康普顿效应等。

3）电磁波和物质的相互作用。当电磁波通过物体时必然要与物体发生作用，电磁波在传播过程中会发生诸如反射、折射、散射、吸收以及偏振等现象。例如，在白天植物叶子呈现绿色正是由于叶子中的叶绿素对太阳光中的蓝光及红光强烈吸收而对绿色波段光强烈反射的缘故；在漆黑的夜晚，由于没有光与叶子的叶绿素发生作用，因而就见不到叶子是绿色的。

二、电磁波的波段[5,6]

不同的电磁波其波长各不相同，将各种电磁波按照波长的大小与范围，依次排列成图表，这个图表就是所谓的电磁波谱。

将连续的电磁波谱人为地划分成若干区段，即电磁波段。从波长较短的一侧开始到波长较长的一侧依次被称之为γ射线、x射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波。目前遥感所使用到的电磁波的波长有紫外线的一部分、可见光的全部、红外线的一部分以及微波等。

各种文献中有关各波谱段波长范围的划分不尽相同，本书采用了文献[1]中列出的划分方案（表1-1）。表1-1中的毫米波、厘米波以及分米波又合称为微波；近红外和短波红外合起来又称为反射红外。

根据遥感所利用的电磁波段，遥感可以分为可见光-反射红外遥感、热红外遥感以及微波遥感三种类型。

表1-1　电磁波的分类和名称[1]

名　　称		波长范围	频率范围
紫外线		10nm—0.4μm	750—3000THz
可见光		0.4—0.7μm	430—750THz
红外线	近红外	0.7—1.3μm	230—430THz
	短波红外	1.3—3μm	100—230THz
	中红外	3—8μm	38—100THz
	热红外	8—14μm	22—38THz
	远红外	14μm—1mm	0.3—22THz
电波	亚毫米波	0.1—1mm	0.3—3THz
	毫米波	1—10mm	30—300GHz
	厘米波	1—10cm	3—30GHz
	分米波	0.1—1m	0.3—3GHz
	超短波	1—10m	30—300MHz
	短　波	10—100m	3—30MHz
	中　波	0.1—1km	0.3—3MHz
	长　波	1—10km	30—300kHz
	超长波	10—100km	3—30kHz

三、大气对电磁波传输的影响[3]

遥感是通过遥感平台（如卫星等）携带的传感器来接受地物的电磁辐射能量的，地物发射和反射电磁波在达到遥感平台的传感器之前，需要穿过大气层，因此遥感传感器所采

用的波段应该选择能够穿过大气层的电磁波段，搞清楚地物辐射电磁信息在大气中传输时的衰减情况及畸变．以下主要介绍电磁波与大气的相互作用。

1）大气散射．电磁波在大气中传播当遇到各种颗粒时将产生散射现象，一般有三种情况：瑞利（Rayleigh）散射、米氏（Mie）散射以及无选择性散射．

2）大气吸收．大气的主要成分是氮和氧，其余还有水汽、臭氧以及二氧化碳等．氮对太阳辐射几乎无吸收作用；氧吸收波长小于 0.2μm 的紫外线；水对太阳辐射有强烈的吸收作用，其吸收范围在 0.7—0.3μm 波段区间；臭氧主要吸收波长小于 0.32μm 的紫外线．大气吸收的主要影响是造成遥感图像暗淡，由于大气对紫外线有很强的吸收作用，因而现阶段遥感中很少用到紫外线波段。

3）大气反射。由于大气中有云层，当地物辐射电磁波到达云层时，就像到达其它物体界面一样，不可避免地要产生反射现象，这种反射同样满足反射定律．

4）大气窗口的概念。由于地物辐射电磁波在大气中传输时，要与大气产生相互作用，因而不可能所有波长的电磁波都能够有效地穿过大气到达遥感平台的传感器，因此遥感所能够使用的电磁波段是有限的，那些透射率较高的电磁辐射波段就被称之为大气窗口。

第二节　地物波谱特征

遥感图像中灰度与色调的变化是遥感图像所对应的地面范围内的电磁波谱特征的反映．对于遥感图像的三大信息内容（波谱信息、空间结构信息以及时间信息），波谱信息用得最多，同时波谱信息的增强与提取技术是遥感图像数字处理的主要内容之一，因此了解并掌握地物的辐射波谱特征是准确、有效地进行遥感图像数字处理的前提之一．

电磁波与地物相互作用时，一部分能量为物体所反射，另一部分能量被物体所吸收，还有部分能量将穿过物体．航天遥感的遥感平台所携带的传感器通常接收的是地物反射和发射的电磁波能量，由于地学遥感中常遇到的地物发射电磁波能量一般都很小，所以遥感图像主要包含的是地物反射电磁波能量。

一、基本术语[3,6,7]

1）双向反射率分布函数。双向反射率分布函数被定义为观测方向物体表面反射辐射亮度除以入射到物体表面的幅照度，它是描述反射辐射在空间分布的物理量．

2）双向反射率．双向反射率被定义为测量方向上物体的反射辐射亮度与光源在入射方向的辐射亮度之比．双向反射率的大小常常与测量条件相关，因此难以进行比较．

3）双向反射率因子．双向反射率因子也称相对反射率，被定义为在相同照度条件下，目标物的反射亮度与标准参考面（朗伯面）的反射亮度之比，并乘以标准参考面的反射率．双向反射率因子与测量条件无关，它仅仅只是地物波长的函数，因而能够较好地反映地物的反射波谱特性．

4）反照率，反照率指的是半球空间内反射通量与入射通量之比．

二、地物的反射波谱曲线与波谱分析

所谓的地物反射波谱曲线就是指地物的反射波谱率随波长而变化的曲线，反射波谱曲线通常是以波长为横轴、反射率为纵轴所作出的相关曲线。

不同的地物具有不同的波谱反射率；相同的地物在不同的波段也具有不同的反射波谱率．在波谱曲线上，不同地物的波谱曲线形态不同；同一地物的波谱曲线也并不是平坦的而是起伏变化的，常常有多个峰点与谷点。

波谱曲线特征的不同是遥感能够识别地物的重要理论前提，波谱曲线分析一方面指的是对某一种特定地物波谱曲线的特征分析，如曲线的峰与谷的位置、数目、高度、宽度、斜率以及波谱曲线的对称度等；另一方面波谱曲线特征分析还应当包括不同地物波谱曲线之间的相关性、峰（谷）共生关系以及峰（谷）的消长关系等。

三、地物的波谱测试

测定地物的反射波谱特征是遥感传感器波段选择的重要依据之一；也是图像成像原理研究的重要基础资料．在遥感图像数字处理中，实际的波谱资料则是遥感图像处理方法与方案选择的重要依据。

在实际的遥感工作中，地物波谱测试一般测定的是地物的相对反射率．为了使所测得的地物反射波谱曲线具有代表意义，并能够与图像传感器所接受的波谱信息相对应且能够用于指导遥感图像数字处理方案的制定，对一种地质体进行波谱测试时，仅仅测量新鲜的样本是远不够的，要综合考虑风化作用、岩层产状变化、土壤覆盖厚度、植被发育、含水性等因素对波谱反射率的影响。

四、常见地物反射波谱特性[3,4,6,8]

地球表面的地物虽然千差万别，但常见的地物也只有水、植被、土壤及矿物岩石等几种主要类型．城市作为遥感研究的重要对象，其反射波谱特征也开始引起人们的重视。

1）水的光谱特性．水是地球表面所占面积最多的一种物体，研究水的波谱特性对于遥感应用与遥感图像的数字处理极为重要。

低反射高透射是水体最主要的光谱特征，水体反射率在各个波段都较低，一般都在3%左右，水体对光的作用主要是吸收，在遥感图像上，水体一般都偏黑．清水的反射率在可见光部分较高，达到了4%—5%，波长增加到0.6μm时，反射率下降到只有2%—3%，然后曲线继续下降到0.75μm以后的近红外波段，水就成为全吸收体。

自然界中水体的可见光反射率主要来自三个方面，即水体表面反射、水体底部物体的反射以及水中悬浮物的反射。自然界中水体的反射波谱曲线与清水的反射波谱曲线之间有很大的差异，自然界中的水体由于水中的藻类及泥沙的影响，反射率比清水高，反射曲线的形态也与其有很大的不同（图1-1）。

水中的叶绿素浓度对水的反射率影响明显，叶绿素的增加通常会导致蓝光波段反射率的显著下降，绿光波段反射率的增加，叶绿素对红外波段光的反射作用使水变为全吸收体的波长大大增加。

含沙的水流，在整个可见光波段的反射率都比清水的反射率要大，水中含沙还造成了0.6—0.7μm之间出现水的反射峰，同时使含沙水的反射率为零的波长比清水反射率为零的波长要大得多，可达0.95μm。

水体的特点是比热大、热惯性大、自身辐射率高，所以水体在图像上呈现为较深的色调甚至为黑色，而夜间成像图像，水体因为温度高反而为浅色调。

雪是一种固态的水，其反射波谱特性与水有很大的差别，图1-2是雪的反射波谱曲线，雪在可见光波段几乎是全反射的；在红外波段反射波谱曲线的下降斜率很大，到了

1.5μm 和 2.0μm 处降为零。

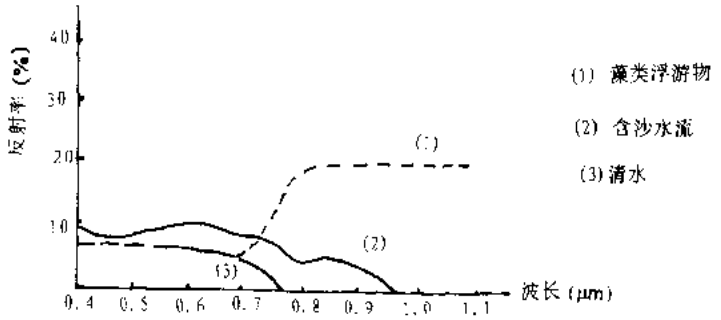


图 1-1 水体的反射波谱曲线[6]

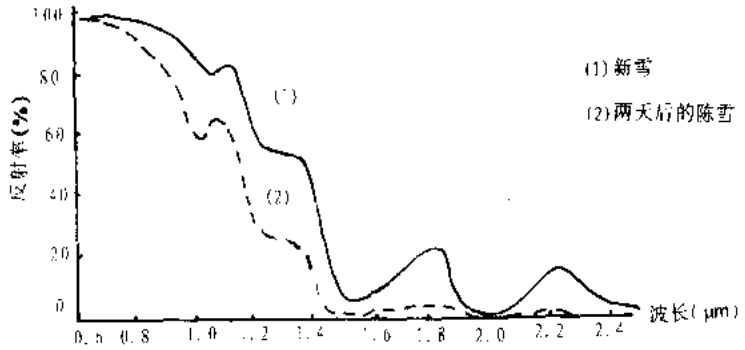


图 1-2 雪的反射波谱曲线[3]

2) 植物的光谱特性。植物是陆地上分布最广的地物类型之一。植物的基本波谱特征是（图 1-3）：在可见光绿光波段 0.55μm 附近有一个反射峰；近红外线 0.8—1.0μm 处有一个强反射峰；以后到 0.3μm 处是一段下降曲线；在红光波段 0.7μm 和近红外 1.9μm 处有强烈吸收峰。

进入衰老期的植物和有病虫害的植物的反射波谱特征与正常的绿色植物的反射波谱特征存在一些差别，在可见光范围内正常植物的反射率比进入衰老期植物和病虫害植物的反射率稍为低些。

3) 土壤的波谱特性。土壤与电磁波相互作用时，一般只存在反射与吸收过程。土壤的反射光谱特征受土壤的质地、氧化铁的含量、有机质含量、湿度、颗粒大小、矿物成分、盐分和表土结构等因素影响，土壤的反射光谱特征变化较大，不同的土壤，反射波谱特征也往往不同，但土壤的反射波谱曲线的基本轮廓表现出反射率总体是上升的。

4) 岩石的波谱特性[4,6]。岩石是由一种或一种以上的矿物组成的集合体。岩石的可见光、近红外光谱结构极为复杂，难于直接用它来鉴定岩石。但是地物光谱能够反映出组成岩石的基本物质成分及其结构特点，所以可见光、近红外光的反射光谱特征依然是识别与区分岩石的重要依据。岩石的反射光谱特征存在一些基本的特点。

(1) 岩石中的反射波谱特征与矿物晶体中电子跃迁和分子振动有关。岩浆岩波谱特征

与铁离子、羟基和水关系密切；沉积岩除上述因素外，还与碳酸根等阴离子有关；变质岩的波谱特征除与上述因素有关外，还与铁、铝等金属离子有关。

(2) 岩浆岩的波谱反射率随岩石中二氧化硅含量的减少而降低，规律性较强；沉积岩中的碳酸盐岩波谱反射强度最大，碎屑岩次之，粘土岩最小；变质岩波谱反射强度随岩类变化的规律不明显。

(3) 影响岩石反射强度的因素除了物质组分外，还有岩石的结构、构造、产地的自然环境。总之岩石表面粗糙、裂隙发育、湿度大，则图像颜色较暗，风化较深的岩石反射强度往往偏低。

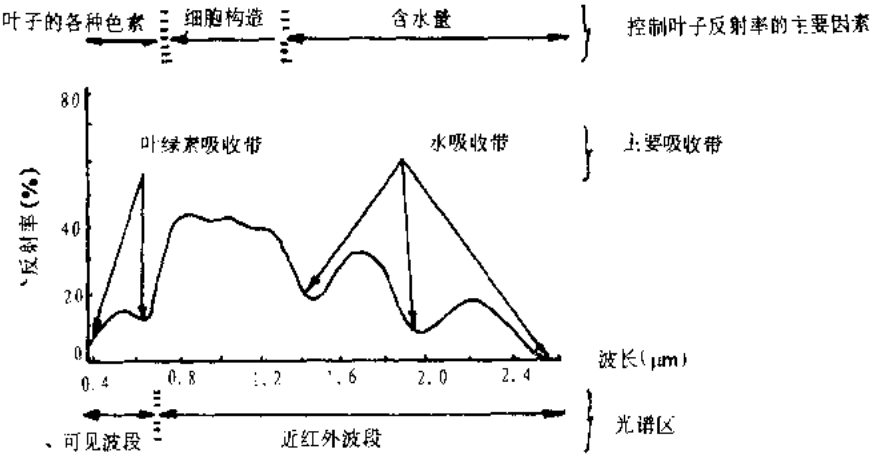


图 1-3 典型绿色植物的反射波谱曲线[3]

5) 城市地物波谱特征[6]。城市中的主要地物有水体、植被以及人工建筑物。水体与植被的反射波谱特征在前面已经讨论过，这里主要介绍城市中的建筑物、道路以及垃圾的波谱特征。

城市建筑物的波谱特征主要取决于建筑物屋顶所使用的建筑材料，浅色材料屋顶其波谱反射率较高，图像色调也较淡；深色材料屋顶，波谱反射率较低，图像暗淡；黑色材料屋顶，对太阳光的吸收作用较大，反射率很低，图像为黑色。图 1-4 是几种常见屋顶的波谱特征。

城市道路的波谱特征也决定于路面所用的建筑材料，可分为水泥路、沥青路、土路等，波谱曲线基本上都是平缓上升，水泥路反射率最高，图像上一般为灰白色，土路比沥青路的反射率要高些。城市中的工业垃圾和生活垃圾是城市中特有的一种地物类型，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。

6) 地物波谱特征的时间效应和空间效应。地物波谱特征的时间效应指的是同一地区相同地物，其波谱特征随时间变化而产生的变化。在遥感图像的数字处理中，这种变化就是所谓的时间信息。

地物波谱特征的空间效应则指的是同一地物，由于所处的地理位置的不同而引起的波谱特征的变化。时间效应和空间效应使地物波谱特征存在某种程度的不稳定性，在实际遥感图像处理方法与方案选择时应该加以注意。

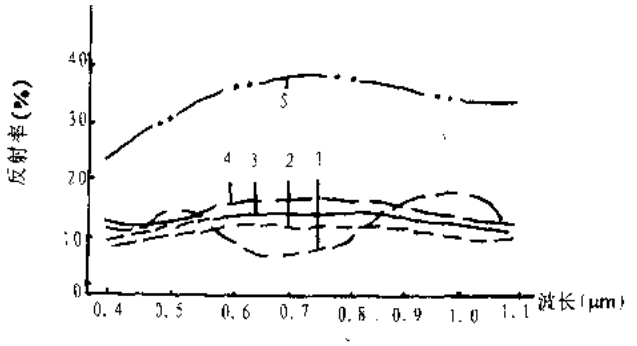


图 1-4 建筑物屋顶的波谱特征

1.塑料顶棚；2.铁质屋顶；3.水泥平顶；4.沥青沙石屋顶；5.石棉屋顶

第三节　人的视觉系统与色度学基本知识

目前，遥感图像数字处理结果的解译在很大程度上还依赖于人工目视解译，因此了解一些人的视觉系统原理和色度学的知识，对于遥感图像的数字处理方法选择大有益处。

一、人的视觉系统[9]

人对图像的灰度、对比度、色调、结构及其变化的感觉是通过光的反射、传输而作用到人的视觉系统中来的。人的视觉现象是由物理和生理因素所引起的，光的辐射能量与人们感觉到的亮度之间不是一种简单的关系，实际上人主要是通过对比度来"感觉"图像明暗程度的。

人的视觉系统可以分为四个部分：人的眼睛、视神经传导途径、侧外膝状体及视觉皮层。景物（遥感图像）在左、右眼视网膜接收器上形成景像，视网膜接收器通过光化反应把光能转换成电脉冲，这些脉冲通过视神经传到视经交叉，再传到侧外膝状体，最后到达大脑中的视觉皮层。

二、色度学的基本知识

遥感图像中的各种色彩都是光作用于人的视觉系统的结果，光辐射中能够引起人眼视觉的波长是 0.4—0.7μm，即可见光波段。由于可见光的波长不同，因此引起人眼对颜色感觉就不同。

1）彩色三要素。彩色是可见光的一种属性，是一定波长范围内的电磁波在人眼中所引起的视觉反映。彩色通常可以用色调、饱和度以及明度（强度或亮度）三个要素来描述。

色调是颜色的类别，是遥感图像地学解译的主要标志之一。

饱和度是指彩色的纯洁程度、白色的数量。各种单色光有最高的饱和度，因此当物体只对光谱中某一窄波段高反射时，其颜色的饱和度就高。

明度指图像在视觉上引起的亮暗程度。

2）三基色原理。虽然自然界的颜色千差万别，但是绝大多数的颜色都可以通过红、

绿、蓝三种颜色按照一定的比例混合而成，因此，红、绿、蓝三种颜色就被称为构成其它颜色的三基色。

国际上规定三基色的波长分别为：红——0.7μm；绿——0.546μm；蓝——0.4358μm。由色光实验得到了三基色原理（图 1-5）：

(1) 加色法：三基色相加可以得到三种间色光：

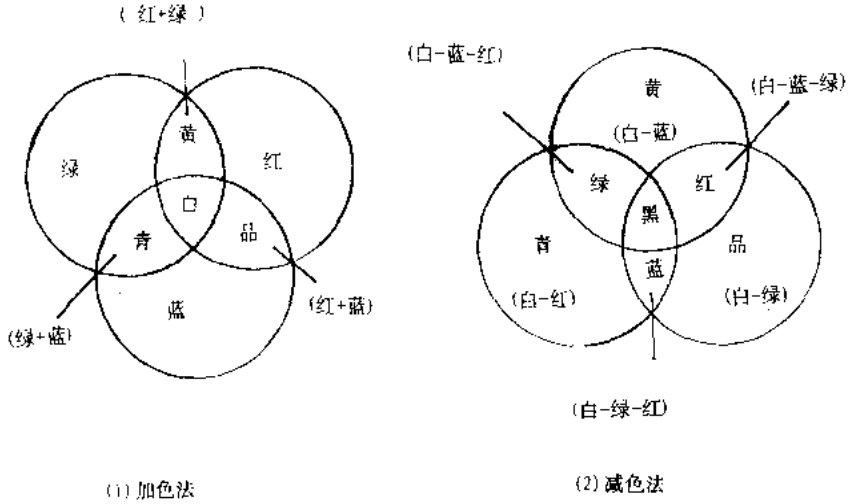
红+绿＝黄

红+蓝＝青

蓝+红＝品红

(2) 减色法：两种色光相加得到白色光，这两种色光称为互补色，用白色减去色光可以得到它的补色光。例如白色减去红色可以得到青色光、白色减去蓝色可以得到黄色光等。

由于篇幅所限，对于视觉系统与色度学不可能展开讨论，更进一步的内容请参考有关专著。



(1) 加色法　　(2) 减色法

图 1-5　三基色原理图

第二章　遥感图像的形成

对遥感图像进行数字处理其实质是通过各种运算及变换来提取和增强图像中的专题信息，以达到识别地物的目的。遥感图像数字处理方法与方案的选择是依据遥感专题的目的和遥感图像本身的特征来确定的。而遥感图像的本身特征又在很大程度上取决于图像的形成过程，因而图像的形成过程对于遥感图像的数字处理有较重要的意义。本章将讨论遥感图像的成像过程和与之关联的遥感传感器及其数字图像特征。

第一节　遥感成像过程

遥感是遥远的感知，它是通过远离目标物的仪器（传感器）观测并记录来自目标物的信息，然后通过对所记录的目标物信息的加工分析来识别目标物。这个过程明显地可分为两部分，第一部分是目标物信息的观测和记录，即图像的成像过程[2,10,11]；第二部分是信息处理、分析与解译，即图像处理与解译。

在遥感图像的成像过程中，记录来自目标物信息的仪器被称为传感器；遥感传感器所记录的信息是地物辐射的电磁波能量；携带遥感传感器的工具称之为遥感平台。

从把遥感平台送到远离目标物的位置（如用火箭把卫星送到预定轨道）开始，到由专用的处理系统生产出遥感数字产品（计算机兼容磁带）和模拟产品（各种比例尺的遥感像片）的全过程和全部设备可以统称为遥感系统。图 2-1 是卫星遥感系统示意图。

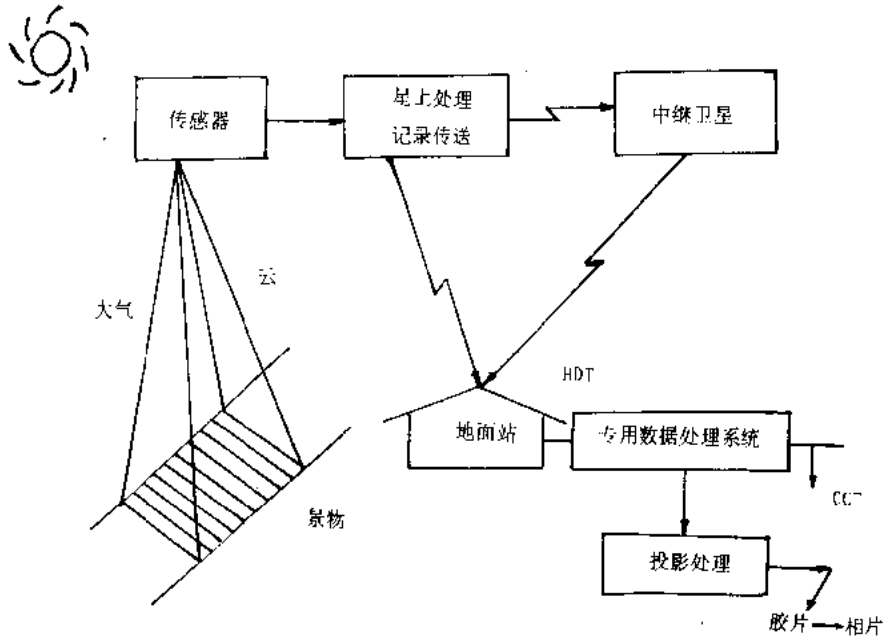


图 2-1　卫星遥感系统示意图

综上所述，与遥感图像成像过程密切相关并影响遥感图像基本特征的主要因素是：地物信息（即地物辐射电磁波能量）、遥感平台以及遥感传感器。遥感传感器所接收的电磁波辐射能量的影响在本书第一章已作过讨论，这一章主要介绍遥感平台与遥感传感器。

第二节　遥感平台

一、遥感平台概述

凡能够把遥感传感器带到远离地面的工具都可以作为遥感平台，能够用来携带遥感传感器的工具（即遥感平台）有许多，例如，卫星、飞机、气球等。文献[1]按照平台高度、目的与用途等因素，对现有的遥感平台作了详细的归纳总结，表 2-1 是实际可应用的遥感平台一览表。

表 2-1　可应用的遥感平台[1]

遥感平台	高　度	目的与用途	其　它
静止卫星	36000km	定点地球观测	气象卫星
地球观测卫星	500—1000km	定期地球观测	Landsat,SPOT 等
航天飞机	240—350km	不定期地球观测与空间实验	
无线探空仪	100m—100km	各种调查	
高高度喷气机	10—12km	侦察与大范围调查	
中低高度飞机	500—8000m	各种调查，航空摄影测量	
飞艇	500—3000m	空中侦察，各种调查	
直升机	100—2000m	各种调查摄影测量	
无线遥空飞机	＜500m	各种调查，摄影测量	飞机，直升机
牵引飞机	50—500m	各种调查，摄影测量	牵引滑翔机
系留气球	＜800m	各种调查	
索道	10－40m	遗址调查	
吊车	5—50m	近距离摄影测量	
地面测量车	0—30m	地面实况调查	车载升降台

二、陆地卫星

1972 年美国发射了第一颗地球观测卫星，称为地球资源卫星，1975 年后更名为陆地卫星（Landsat）。从 1972 年到 1992 年共发射了五颗陆地卫星，1993 年发射 Landsat6。陆地卫星的轨道是与太阳同步的近极地圆形轨道，卫星通过地球上某一点的时间总是相同的，每幅图像的覆盖面积是 185km × 185km，相邻卫星的前后重叠为 10%，侧向重叠的大小与景所在的地理位置有关，向两极方向重叠增加，赤道处的侧向重叠为 14%，到极圈时侧向重叠为 71%，陆地卫星轨道参数详见表 2-2。

三、SPOT 卫星

SPOT(System Probatoire d'Observation de la Terre)是法国空间研究中心研制的高性能地球观测卫星，SPOT 卫星是 1986 年发射的，现运行的有 1 号星和 2 号星，1993 年又发射了 3 号卫星。SPOT 卫星星体长 3m,宽 2.5m,重 1—2t,

表 2-2 Landsat-1,2,3,4 的轨道参数

参数 \ 卫星	Landsat-1,2	Landsat-3	Landsat-4
轨道对赤道倾角	顺时针 99.114	顺时针 99.143	顺时针 98.2
卫星标称高度	918km	916.6km	705km
卫星飞行速度	7.397km / s		
卫星轨道远地点	918km		
卫星轨道长轴半径	7285.82km		
卫星高度变化	890—950km		
轨道周期	103.267min	103.0min	98.9min
通过赤道时刻	上午 9:42 / 9:30	9:30	9:45
轨道偏心度	0.0006	0.0001	
赤道上当天两圈距离	2864km		2752km
赤道上相邻两圈距离	159.38km	159.661km	170km
卫星星下点平均速度	6.47km / s	6.456km / s	
每天轨道运行数	14 圈	14 圈	14.5 圈
全部覆盖地球的圈数	251	251	233
全部覆盖地球的天数	18	18	16
轨道类型	近极地太阳同步轨道	近极地太阳同步轨道	近极地太阳同步轨道

SPOT 卫星的轨道也是太阳同步圆形近极地轨道，轨道采用的高度是 830km，轨道的倾角是 98.7°，周期是 101.46min，回归天数是 26d，SPOT 卫星每天能够绕地球旋转 14+5 / 26 圈，SPOT 采用倾斜观测，所以其重复观测能力为 4—5d，SPOT 卫星通过赤道的时间是 10∶30。

SPOT 卫星上所携带的传感器是新一代的传感器 HRV，其扫描方式有别于 Landsat 的扫描镜方式，采用 CCD 的电子式扫描。SPOT 可以有两种图像数据，一种是全色黑白的高分辨率图像；一种是多波段图像。两种图像的空间分辨率不同，前者为 10m,多光谱图像的空间分辨率则为 20m。由于 SPOT 图像可以通过不同的观测角观测同一地区，所以 SPOT 卫星可以获取高质量的立体像对，可以对地面进行立体观测，这是 Landsat 无法比拟的。此外 SPOT 卫星还可以用于高精度的地形测量。

一景 SPOT 卫星数据对应的地面的实际面积是 60km × 60km，由于 SPOT 可以进行倾斜观测，所以横向观测面积最大也可达到 81km。

SPOT 卫星数据主要用于土地测量、制图以及对植被与农作物生长状况的监测，SPOT 也可广泛地应用于资源勘察、环境观测以及城市规划等方面。

四、NOAA 卫星

NOAA 卫星是美国海洋大气局的第三代气象观测卫星，1960—1965 年的气象卫星称为 TIROS 系列，1970—1976 年的第二代称为 ITOS 系列。

NOAA 气象卫星所携带的遥感传感器有两种：一种是改进型高分辨率辐射计 AVHRR / 2(Advanced High Resolution Radiometer Model 2)，AVHRR / 2 主要用于观测云的分布以及海域的温度变化，AVHRR / 2 有五个波段，包括一个可见光波段，两个红外波段，两个热红外波段，其空间分辨率为 1.1km；另一种是泰罗斯垂直分布探测仪

TOVS（Tiros Operational Vertical Sounder），TOVS 主要用于测量大气中气温与湿度的垂直分布情况，TOVS 又分为高分辨率红外垂直探测仪 HIRS／2（High Infraed Resolution Sounder Model 2）、平流层垂直探测器 SSU（Stratospheric Sounder Unit)以及微波垂直探测器 MSU（Microwave Sounding Unit）等。HIRS／2 有 20 个波段，地面分辨率是 20km；SSU 有三个波段，地面分辨率是 147km；MSU 包括 4 个波段，地面分辨率是 110km。

NOAA 气象卫星轨道属于近圆的太阳同步极轨道，其主要的轨道参数是：轨道高度 870km 或 833km；轨道倾角 98.9° 或 98.7°；周期是 101.4min。

NOAA 气象卫星的观测宽度是 2800km（AVHRR／2）、2200km(HIRS／2，TOVS 的一种)、736km(SSU，TOVS 的一种)、2347km（MSU，TOVS 的一种）。NOAA 气象卫星主要用于气象观测，由于 NOAA 卫星空间分辨率较低，而波谱分辨率相对较高，对地物有很强的宏观综合性，因此较适于全球范围内的构造与环境研究。

五、其它卫星[5]

上面介绍的三种卫星遥感图像是目前遥感地学研究中用得最多的图像数据。此外，还有一些卫星数据可用于遥感地学研究中，这主要包括天空实验室、前苏联的遥感系统、地球资源卫星、赤道地球资源卫星以及空间实验室等。

1）天空实验室（Skglab）。天空实验室是美国“阿波罗”计划的扩充部分。天空实验室在 1973 年 5 月至 1974 年 2 月之间在空中停留了数个月，拍摄了 3 万多张地面图像，记录了 72km 多长的磁带数据。天空实验室上的地球资源试验装置主要包括分辨率为 9m(黑白）和 15m(彩色和彩红外）的多波段相机、大地地面照相机以及分辨率为 80m 的多波段扫描仪等。

2）前苏联的遥感系统。包括“联盟号”宇宙飞船、“礼炮号”和“和平号”载人宇宙飞船以及“流星号”和“宇宙号”无人宇宙飞船等。前苏联遥感系统的传感器主要是各种类型的摄像系统，地面分辨率可高达 10m，波段数可达 6 个波段；多波段扫描仪也是一种常用的传感器，波段数目可达 8 个波段，地面分辨率可达 80m。

3）印度地球资源卫星（Bnaskara）。印度在 1979—1981 年发射的遥感卫星轨道高度是 535km，传感器为 2 波段的电视摄像机，其地面覆盖范围是 325km × 325km，空间分辨率是 1000m；1983 年发射的遥感卫星（IRS-1）的传感器是 6 通道的多光谱扫描仪和两通道的线阵影像扫描仪(LISS)，分辨率是 72.5m 和 36.25m。印度遥感卫星能够获取我国西藏地区的影像图像。

4）赤道地球资源卫星（TERS）。TERS 是由印尼和荷兰合作发射的，轨道高度是 1680km，传感器是线性阵列传感器，分辨率是 10—20m，覆盖宽度是 100km，主要用于热带雨林的遥感研究。

5）空间实验室(Spacelab)。空间实验室是由美国和欧空局合作研制的，轨道高度在 187—576km 之间，可获得空间分辨率为 10m 的图像。

第三节　遥感传感器及其数字图像特征

一、遥感传感器概述

遥感传感器按照其工作方式可以划分为主动式和被动式两类，主动式传感器在遥感中是先向目标物发射电磁波，然后传感器再接收地物的反射回波，例如合成孔径雷达；被动式传感器在遥感中不发射电磁波，而仅仅接收来自地物本身的电磁波辐射，如地物的太阳光反射、地物的热辐射等，陆地卫星所用的传感器 MSS 就属于被动式传感器。

遥感传感器如果按照扫描方式划分，传感器又可以分为扫描方式的传感器与非扫描方式的传感器，例如 MSS 为扫描式传感器，而重力测量仪是一种非扫描式传感器。

按照遥感传感器记录结果是否以图像方式记录，遥感传感器又可分为图像方式与非图像方式两种，例如地磁测量仪是非图像方式的，而 TM 传感器是图像方式的。

如果把地球物理探测也看作广义上的遥感的话，遥感传感器大致可以进行如图 2-2 这样的归类[1]，这一节将着重介绍狭义遥感常用的几种传感器。

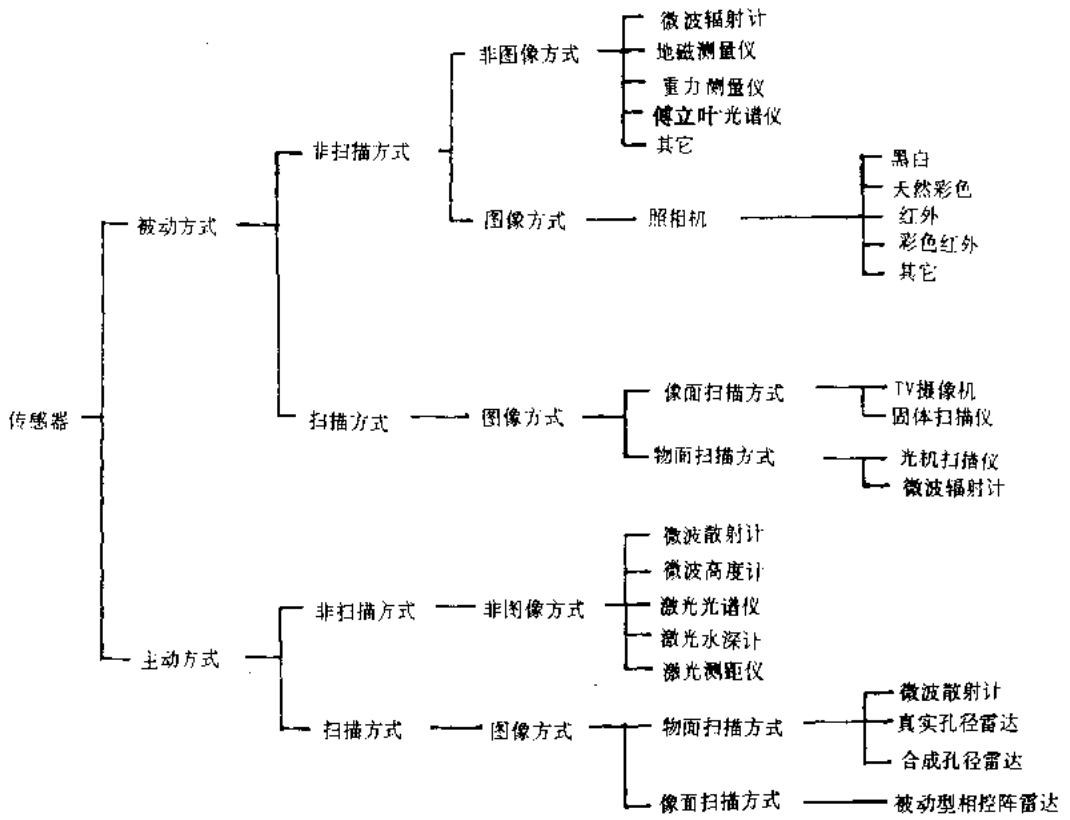


图 2-2　遥感传感器的分类

二、Landsat 的 RBV

RBV 是 1、2、3 颗陆地卫星上携带的一套传感器，其全称是反束光导管电视摄像机系统（Return Beam Vidicon），简称 RBV，RBV 工作波长范围是 0.475—0.380μm，RBV 在 Landsat-1,2 上有三个波段，分别是：

RBV1 波段 1: 蓝绿波段，其工作波长是 0.475—0.575μm；

RBV2 波段 2: 红黄波段，其波长范围是 0.580—0.680μm；

RBV3 波段 3: 摄影红外波段，其波长范围是 0.690—0.830μm。

第三颗陆地卫星上 RBV 传感器是全色的，只有一个工作波段，其波长范围是 0.50—0.705μm，第一与第二颗陆地卫星携带的 RBV 的空间分辨率是 80m，第三颗陆地卫星上的 RBV 全色图像的空间分辨率是 40 m。

由于 RBV 波长范围与下面将要介绍的 MSS 传感器波段工作范围大致相同，而且 RBV 的成像质量又远不如 MSS 成像质量，所以第四颗陆地卫星上取消了这种传感器，遥感专题研究中也很少使用 RBV 产品。

三、Landsat 卫星上的 MSS

MSS 多光谱扫描仪(Multispectral Scanner)是陆地卫星 1、2、3、4、5 号上都携带的遥感传感器，其数字产品就是 MSS 磁带，具有 4、5、6、7 共四个波段，地面分辨率是 80m。一景 MSS 影像数据大约包含有 2340 条扫描线，每条扫描线又大约有 3240 个像元点，而一景 MSS 影像对应的实际地面面积是 185km × 185km，所以像元点的实际大小对应地面为 79m × 57m（地面站处理后提供给用户的产品像元大小为 57m × 57m）。MSS 传感器所采用的波段与数字图像特征参见表 2-3。

表 2-3 MSS 工作波段与数字图像特征

波　段	波长范围（μm）	用　途
波段 4（MSS4）	0.5—0.6（蓝绿）	透视水体、植被分布、松散沉积物性质和分类
波段 5（MSS5）	0.6—0.7(红黄)	水体浊度、植被分类、地貌研究
波段 6（MSS6）	0.7—0.8(摄影红外)	植被、土壤湿度、湿性隐伏构造研究
波段 7（MSS7）	0.8—1.1(摄影红外)	水系研究、含水构造研究、植被生长情况研究
波段 8（MSS8）	10.2—12.6(热红外)	区分岩石类型、热液绘制

注：只有 Landsat-3 上 MSS 传感器才有 MSS8，使用不久就坏了。

四、Landsat 卫星上的 TM

专题绘图仪（Thematic Mapper）TM 是陆地卫星 4，5 号所携带的一种多光谱扫描仪，其数字产品是 TM 磁带，TM 的波谱范围比多光谱扫描仪 MSS 大，工作波段多，TM 有 7 个波段，每个波段范围较窄，因而波谱分辨率比 MSS 图像高，TM 空间分辨率为 30m（TM6 的地面分辨率只有 120m），高于 MSS 的地面分辨率，其亮度数字化级数是 256（MSS 只有 64 级），一景 TM 影像数据对应地面面积为 185km × 185km,每一波段大约有 5965 个扫描行，每一扫描行大约有 6967 个像元点，每个像元点对应的实际地面大小为 30m × 30m。表 2-4 给出了 TM 的工作波段范围及其数字图像的主要特征。

表 2-4 TM 工作波段及其主要用途

波段序号	波长范围（μm）	主 要 用 途
1	0.45—0.5(蓝)	能穿透水体，用于海岸水域制图，区分土壤和植物，区分针叶树和落叶树
2	0.52—0.6(绿)	探测植物的绿色反射率，评价生长状态
3	0.63—0.69(红)	叶绿色吸收波段，进行植物分类
4	0.76—0.94(近红外)	确定水中生物含量，圈定水体边界
5	1.55—1.75(中红外)	探测植物含水量和土壤含水量，区分云和雪
6	10.4—12.50(热红外)	探测植物病虫害，探测土壤含水量，绘制水温图、地表热异常图
7	2.08—2.35(中红外)	区分岩石类型，热状态制图

五、SPOT 卫星的 HRV

HRV（High Resolution Visible Sensor）是法国发射的 SPOT 卫星携带的多光谱扫描仪，其数字产品是 SPOT 图像磁带，SPOT 图像分全色图像与多光谱图像两种，全色图像的地面分辨率是 10m，多光谱图像的地面分辨率是 20m．一景 SPOT 数据对应地面 60km×60km 范围大小，辐射量化级为 8 个比特，即其量化级为 256 级．SPOT 图像共有三个波段：SPOT1 为绿光可见光（0.50—0.59μm)范围，其对水体有穿透能力，可用于水体浊度、深度估测，也可用于评价绿色植物的生长状态；SPOT2 为红光可见光（0.61—0.68μm)范围，主要用于植物分类；SPOT3 为近红外波段（0.79—0.89μm)范围，主要用于水体边界圈定，识别树种．

六、成像光谱仪

成像光谱仪通常是由航空遥感平台（例如飞机）所携带的一种遥感传感器，成像光谱仪基本上还属于多光谱扫描仪 MSS，与陆地卫星上的 MSS 的差别在于成像光谱仪的空间分辨率更高，成像光谱仪的波谱分辨率更是陆地卫星上的 MSS 所不能够比拟的，成像光谱仪的波段很窄，波段数目可多达 256 个。

由于成像光谱仪的波段宽度很窄，对于岩石的变化反映敏感，所以对于资源勘察与环境监测有很重要的意义。

七、微波传感器[1]

微波传感器的工作波段是毫米波、厘米波以及分米波等。由于微波传感器具有全天候、全天时等特点，可以在各种恶劣的气候条件下获取高质量的遥感图像，实施对地观测，因而微波遥感越来越为人们所重视。微波传感器包括主动传感器和被动传感器两大类，详细的分类见表 2-5。

侧视雷达是环境与资源研究中用得最多的一种微波传感器，侧视雷达属于主动式微波遥感传感器，它有合成孔径雷达与真实孔径雷达之分．由于侧视雷达具有全天候、全天时、分辨率高等优点，在灾害监测、资源勘探、地形测绘方面有广泛的应用前景。

表 2-5 微波传感器分类表[1]

	传感器种类	观 测 对 象
被动传感器	微波辐射计	海面状态、海面温度、海风、海水盐分浓度、海冰 水蒸气、云层含水量、降水强度 大气温度、风 臭氧、气溶胶、其它大气微量成分
主动传感器	微波辐射计	土壤水分、地面粗糙度 湖冰、海冰的分布、积雪分布 植被密度 海浪、海风、风向、风速
	降雨雷达	降水强度
	微波高度计	海面形状、大地水准面 海流、中规模旋涡、潮汐 风速
	成像雷达	地表影像 海浪、海风 地形、地质 海冰、雪冰的监测

第三章　遥感图像的数据格式

遥感观测的数据产品被记录在一定的载体上，如遥感 CCT（Computer Compatible Tapes,计算机兼容磁带）。对遥感图像进行数字处理，首先需要把按照一定格式存放的遥感数据从载体上读到遥感图像处理系统中。这一章将介绍遥感数据存放的世界标准格式、早期遥感 CCT 用的较多的 BULK 格式、以及航空遥感 Dacdalus 磁带的数据格式等。

第一节　遥感信息处理的几个基本概念

计算机兼容磁带是可提供给用户的一种遥感产品的数字形式，也是遥感数字图像处理的主要对象，在详细讨论遥感数据记录格式以前，这一节将首先介绍一些与遥感信息处理有关的概念。

1）信息（Information）。信息是数据、消息中所包含的意义，信息是加工了的数据。

2）数据（Data）。数据是能够由计算机处理的数字、字母和符号等，计算机数据是用一种定义明确的方式来表达的事件、概念或指令；是信息的具体表现，计算机数据包括数字和文字两种。需要指出的是并非任何数据都表达信息。

3）字位（Bit-Binary Digit）。二进制字位，每一位只能是 0 或 1，字位是量度信息的单位。

4）字节（Byte）。字节是作为一个单位来处理的一串相邻二进制位（bit）。通常 1Byte = 8bit，遥感数据通常都是字节型的。

5）记录（Record）。它是作为一个单位处理的一组相连的数据。记录可分为逻辑记录与物理记录，逻辑记录是由彼此有关的、一组相邻的文件元素所组成；物理记录通常总是密切地依赖于设备及媒体特性的。记录有长度概念，其单位是字节，遥感 CCT 影像数据的记录长度一般等于扫描线长度，如 TM 的记录长度是 6967。

6）块(Block)。块是作为一个单元来记录的一组相邻记录。它是计算机主存和输入、输出设备或外存（磁带，磁盘）之间进行交换的数据单位。由于块与物理设备有关，所以又称为物理记录，当一块读入内存时，内存中暂时存放这一块的区域称为缓冲区(Buffer)。遥感 CCT 中块与记录的关系有两种情形：

(1) 不组块记录：一个记录一块，中国地面站提供的 TM 影像数据大多数为不组块记录。图 3-1 是不组块记录的图示。

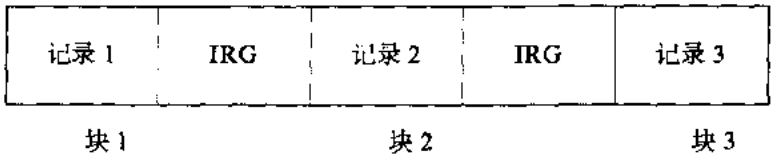


图 3-1　不组块记录

(2) 组块记录：一块含有若干个记录。也有的 TM CCT 产品一般是一块几个记录格式。图 3-2 是组块记录的图示（一块三记录）。



图 3-2 组块记录图示

组块比不组块记录的优点在于：组块记录所留的记录间隙(IRG)少，可以大量节省外存空间，缺点是块大，占用内存缓冲区也越大。

7) 文件(File)。文件是计算机管理数据的单位，文件可以是一个程序，一组数据，一幅影像等。

按照数据载体不同，文件可分为：

(1) 磁带文件。

(2) 磁盘文件。

(3) 光盘文件。

按照文件组织形式和存取方式文件可分为：

(1) 顺序文件：是物理顺序与逻辑顺序一致的文件，其存储数据区在物理上是连在一起的。遥感 CCT 中的磁带文件只能是顺序文件。

(2) 串联文件：串联文件的存储数据区在物理上不相连，而是通过每一个数据区中的连接字来连接。

(3) 索引文件：是带有索引表的文件。索引文件在存储上分为索引区和数据区两部分。数据区在物理上可以是连续的也可以是不连续的，索引区顺序地给出各块记录。

遥感 CCT 多为顺序文件，而一些图像系统的图像文件常为索引文件。

8) 磁带。磁带是顺序存储设备，也是遥感影像数据的主要载体，磁带的标准尺寸是厚×宽×长＝0.02 英寸×0.5 英寸×2400 英尺（或 3600 英尺）（1 英寸＝25.4mm，1 英尺＝12 英寸＝304.8mm）。磁带有七道和九道两种，遥感 CCT 用的是九道，其中 8 位数据加 1 位奇偶校检位，遥感用磁带(2400 英尺）存储密度及最大存储量列于表 3-1。

表 3-1 磁带的最大存储容量一览表

记录密度(BPI)	每卷最大存储量
800	2.3×10^7 字节
1600	4.6×10^7 字节
6250	18×10^7 字节

注：(1) BPI(Bits Per Inch) ——每英寸字位数；(2) 每景 TM 数据量是 7×33 兆字节。

9) 磁盘与光盘。磁盘与光盘也是遥感数字图像处理中最常用的外存设备，磁盘与光盘可以接收顺序文件也可以接收串联文件。

第二节　遥感数据世界标准格式

在遥感图像的数字处理中，除了主要用到遥感的影像数据外，还要用到与遥感图像成像条件有关的其它数据，如遥感成像的光照条件、成像时间等。在遥感数据中除了影像信息外，还包含了其它各种附加信息。遥感 CCT 是以一定的格式向用户提供这些数据的，遥感技术被应用以来遥感数据采用过很多格式，后来 Landsat Technical Working Group 提出了 LTWG 格式，即世界标准格式。从 1982 年以后包括陆地卫星、法国 SPOT 卫星等卫星遥感数据都采用了世界标准格式，目前世界各地遥感数据主要采用 LTWG 格式。

LTWG 格式有 BSQ（Band Sequential ——波段顺序）格式和 BIL（Band Interleaved By Line ——波段交叉）格式两种，下面将分别介绍之。

一、BSQ 格式

BSQ 是按波段顺序记录遥感影像数据的格式，每个波段的图像数据文件单独形成一个影像文件，每个影像中的数据文件按照其扫描时的次序一行一个记录顺序存放，存放完第一波段，再存放第二波段，一直到所有波段数据存放完为止。BSQ 格式的遥感 CCT 包含四种文件类型（图 3-3），即磁带目录文件、图像属性文件、影像数据文件、尾部文件。在一个 CCT 组合中，只有一个磁带目录文件；而图像属性文件的数目则等于一景影像的波段数目，例如 MSS 有四个波段，所以 MSS CCT 组合中有四个图像属性文件；一景影像有几个波段就有几个影像数据文件和尾部文件。对于一个波段为 N 的遥感影像，BSQ 格式的 CCT 应当包含了 $1+N\times 3$ 个数据文件，如 MSS 有四个波段，所以 BSQ 格式的 MSS 应当包含了 $4\times 3+1=13$ 个数据文件。

1）磁带目录文件。磁带目录文件是 BSQ 格式遥感 CCT 的第一个文件，磁带目录文件共有 360 个字节，磁带目录文件说明了磁带内容、记录范围、以及 CCT 的组合格式。

2）像属性文件。像属性文件包括了头部、辅助、以及注释三个记录。

头部记录共有 92 个字节，1—36 字节是像识别；37—62 字节是航天器描述；63—92 字节是成像时间及 WRS 信息。

辅助记录包含了描述卫星特征的模拟数据以及与投影有关的数据。

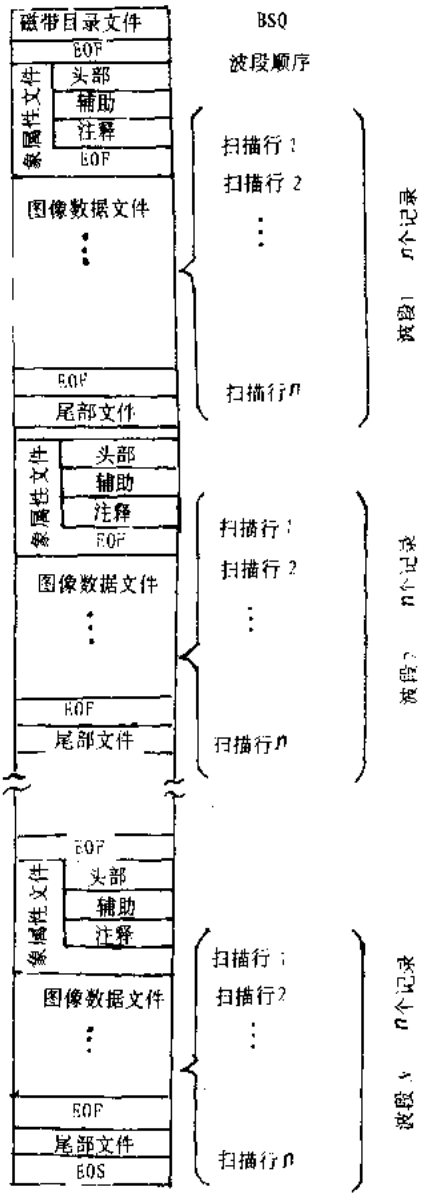


图 3-3　BSQ 格式

注释记录包括所有的印在标准胶片产品底部的字母数字资料，以及校正的成幅图像的信号资料。

3）影像数据文件。影像数据文件是遥感 CCT 的核心文件，影像数据文件按照卫星扫描的次序存放，一个扫描行对应一个记录，记录的长度等于每个扫描行上的像元数，例如 TM 的记录长度为 6967 个字节，每个波段单独形成一个影像数据文件，每个影像数据文件的长度就等于扫描行数，如 TM 每个波段都有 5965 个记录。

4）尾部文件。尾部文件包含了图像数据进行增强处理时所需要的一些基础数据，例如，大气散射校正的基值。

二、BIL 格式

LTWG 的 BIL 格式是一种按照波段顺序交叉排列的遥感数据格式，BIL 格式与 BSQ 格式相似，整个遥感 CCT 也由四种文件组成（图 3-4），即磁带目录文件、像属性文件、影像数据文件以及磁带尾部文件。BIL 格式与 BSQ 格式所不同的是，BIL 格式的遥感 CCT 不管遥感影像有多少个波段，CCT 有四种文件类型，而且也只有四个文件，每一种类型只有一个文件，影像数据文件也只有一个。BIL 格式的遥感 CCT 其磁带目录文件、像属性文件、以及带尾部文件，在内容和记录格式上与 LTWG 的 BSQ 格式完全相同。

BIL 格式的图像数据文件由一景中的 N 个（TM 图像 $N=7$）波段影像数据组成，每一记录为一个波段的一条扫描线，扫描线的排列顺序是按波段顺序交叉排列（图 3-4），如 MSS 有 MSS4，MSS5，MSS6，MSS7 共四个波段，其影像数据文件的排列次序是：首先是 MSS4 的第一扫描线（记录 1），然后是 MSS5 的第一扫描线（记录 2）、MSS6 的第一扫描线（记录 3）、MSS7 的第一扫描线（记录 4）。排完第一扫描线后，排第二扫描线，即 MSS4 第二扫描线（记录 5）、MSS5 第二扫描线（记录 6）、MSS6 第二扫描线（记录 7）、MSS7 第二扫描线（记录 8）。接下去是第三扫描线、第四扫描线、第五扫描线……，直到所有扫描线都排完为止。很明显，BIL 格式的遥感 CCT 中影像数据的记录数等于影像的波段数乘以每个波段的扫描行数，例如，TM 有七个波段（波段六数字放大到与其它波段相同像元大小），其影像数据的记录数为 $5965\times 7=41755$ 个记录；具有 3000 个扫描行的 SPOT 影像数据的记录数则为 9000。

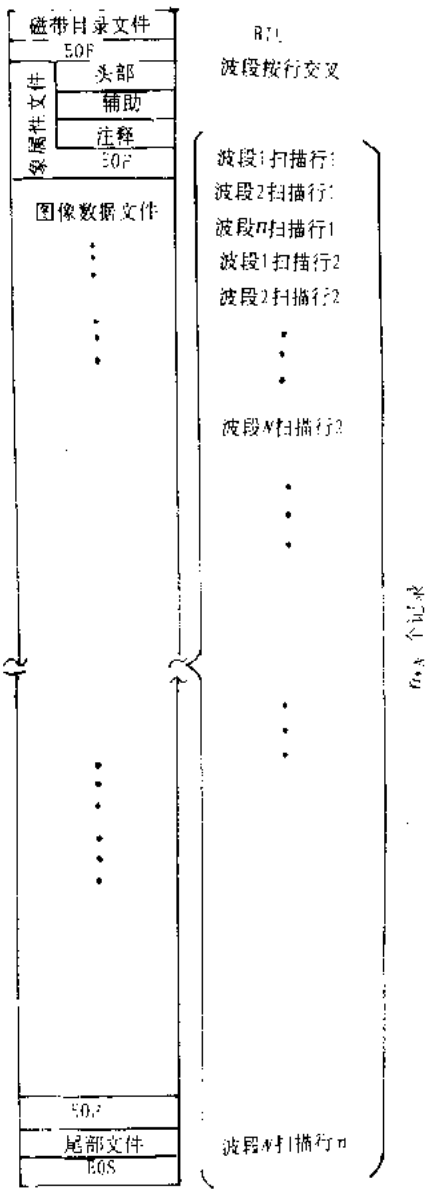


图 3-4　BIL 格式

三、关于 SBL 与 SLB 结构

在图像处理时，特别是磁带输入与输出时，常遇到有关 SBL 与 SLB 结构的问题。SBL 与 SLB(S＝Sample 采样，L＝Linc 行，B＝Band 波段）指的是影像数据的两种叠置结构，SBL 的数据存放方式与 BIL 格式中的影像数据文件的存放方式一致，影像数据按照波段交叉顺序排列，SLB 的数据存放方式与 BSQ 格式中的影像数据文件存放方式一致，影像按照波段顺序排列。无论是 SBL，还是 SLB 结构都无磁带目录文件、像属性文件以及尾部文件。在进行非遥感数据图像处理时，可以首先把非遥感数据转换为无带头文件的 SLB 或 SBL 结构，然后利用现有图像处理系统把它们输入到遥感图像处理系统中。

许多数字图像处理系统中都具有 SLB 或 SBL 结构图像数据文件的简单输入软件，因此在大多数情况下，可以利用这些输入软件从 CCT 上只读取 BSQ 或 BIL 格式中的影像数据文件，而不读磁带目录文件、像属性文件以及尾部文件等。

第三节　Bulk 格式

Bulk 格式又称为BIP_2格式，是早期遥感 CCT 用得较多的数据格式。我国地矿、石油等部门在七八十年代从国外进口的 MSS 磁带的格式均为 BIP_2(Band Interleaved By Two Pixels——按两像元波段交叉)。BIP_2格式的 CCT 现在已经停止生产，TM 图像没有使用过这种数据格式。但考虑到实际的遥感应用专题中还常常用到这种类型的磁带，所以本节将简单介绍早期 MSS 图像使用的 Bulk 格式。

一、BIP_2格式组合 CCT

Bulk 格式与 BIL 以及 BSQ 格式有很大的差别，Bulk 格式中没有采用 BSQ 及 BIL 格式中一个扫描行当作一个记录的数据存放方式，在 Bulk 格式中一方面每个波段的每一个扫描行都被分为四个部分（图 3-5)；另一方面，CCT 中的影像数据文件的每一个记录也不是由一个波段数据组成，而是由四个波段像元交叉排列组成。

一景 MSS 影像有 4 个波段 4 幅影像(4、5、6、7)。每个波段有 2340 个扫描行，每个扫描行有 3264 个像元，覆盖面积大约为 185.2km×185.2km，每幅影像被等分成四个条带，每个波段的对应条带合在一起组成一个影像文件（如，波段 4 第一条带+波段 5 第一条带+波段 6 第一条带+波段 7 第一条带构成了第一个影像文件。图 3-5)。因为每幅影像分为 4 个条带，所以一共有 4 个影像数据文件。最后还有一个影像注记文件，因此，整个 CCT 共有五个文件，文件与文件之间有结束标志 EOF。注记文件 SIAT 后面有两个 EOF 作为磁带终了标志。每一文件又是按照每两像元波段交叉方式存放(如 44、55、66、77、44、55、66、77)。

二、文件

Bulk 格式 CCT 包括四个影像数据文件和一个影像注记文件 SIAT。每个影像数据文件由 2342 个记录组成，包括一个 ID（识别）记录，一个 AN（注记）记录，以及 2340 个影像数据记录。具体组成见图 3-6，SIAT 则由八个记录组成。

三、记录

ID 记录段的主要内容包括图像是由哪颗卫星拍摄的、记录影像时间、属于那一条带、共几条带、记录长度、图像注记带 IAT 标识、数据校正指示和扫描行长度等。

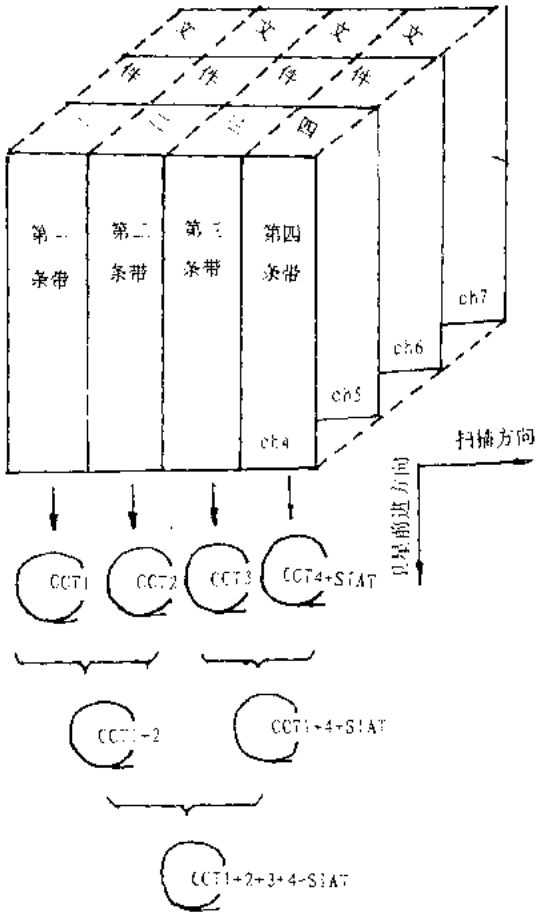


图 3-5 早期 MSS 图像使用的 BIP_2 格式 CCT 组成方式

ID 记录	AN 记录	影像数据记录 1	影像数据记录 2	.....	影像数据记录 2340	EOF
40 Byte	624 Byte	3320 Byte	3320 Byte	.....	3320 Byte	

图 3-6 一个影像数据文件的组成

AN 记录分注记块和影像位置两块。注记块的主要内容是：成像时间，影像中心点的经纬度，影像轨道号和行号，星下点经纬度，传感器及波段数，太阳高度角和方位角，校正状况，覆盖面积，投影方法，预处理否，传感器增益情况，数据压缩情况，属于那颗卫星，已运行天数，实时传送还是回放传送和地面接收站等。影像块的主要内容是：影像四角十字线、影像四边经纬度标记及该标记的经纬度数值。如果需要进一步了解 ID,AN 记录具体内容，可参阅文献[2，12，13]。

对于影像记录 R_{ik} (i = 1,2,3,4 条带号，k = 1,2,3,…,2340 扫描行号)，由于一幅影像共

有 2340 个扫描行，所以一个影像数据文件也有 2340 个记录，每个记录长为 3320 个字节，其中前 3264 个字节为影像数据字节（等于一扫描行像元数），后 56 个字节为校正用的校正数据字节。每个波段影像数据为 816（3264 / 4 = 816）个，依 4，5，6，7 波段顺序两两相间排列组成。每 8 个数据（4，5，6，7 波段各两个）为一组，称为影像数据组（图 3-7）。

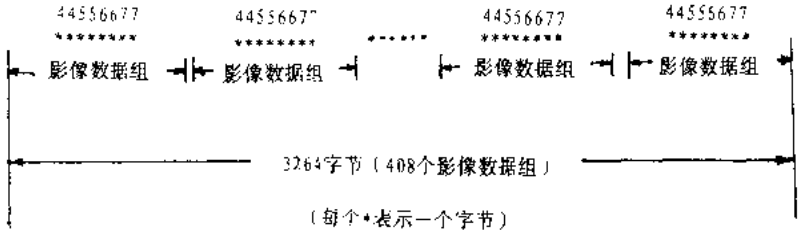


图 3-7　一个记录中的影像数据组、字节分布情况

为了将各扫描行长度调整一致，遥感 CCT 在每个扫描行中添加了 10 个假像元，可用下式求得各个假像元的位置：

$$x = \mathrm{IFIX}\{LLC / [LLA - (LLC + 6)]\} \qquad (3-1)$$

式中，LLC ——未调整扫描行长；

LLA ——调整后的扫描行长；

IFIX ——取整运算；

x ——假像元间距，

经计算这 10 个假像元分别位于每一扫描行的第 325、650、975、1300、1625、2275、2600、2925、3250 像元处，分布在第一个文件（2 个）、第 2 个文件（3 个）、第 3 个文件（2 个）、第 4 个文件（3 个）中，所以在取子图进行图像处理时，首先要将假像元剔除。要更详尽了解 BIP_2 格式，可以查阅有关文献[2，12，13，14]，也可以回放 CCT，打印出一些记录。

第四节　关于 Daedalus 磁带的数据格式①

Dacdalus 磁带是 Daedalus 有限企业公司生产的多光谱扫描仪获取的航空多光谱磁带数据，这种 CCT 在我国应用较多，其 CCT 的通用格式为图 3-8。

带头为磁带上的第一个记录其固定长度为 3060 字节，IRG 是记录间隔，辅助数据块包含 N 个字节（N 由带头的第 105 和 106 字节给出）。辅助数据块是一次扫描全部工作波段的视频数据，这些数据构成一个视频数据块，辅助数据块与视频数据块构成一个数据组。数据组又根据其长度以及物理记录形式进行装填，先装填辅助块，然后记录这个数据组中尽可能多的完整通道直至充满 3000 个字节，如果数据组太长，一个物理记录记不下，则从该数据组的下一个工作通道开始第二个、第三个……记录。每个扫描行内的正常排列是按照通道顺序排列（类似于 BSQ）。有关 Daedalus 带更具体内容请查看有关资

①本节内容根据刘心季所编的《IPOS应用软件包的若干问题》整理。

料，表 2-2 给出了 Daedlaus 多光谱扫描仪的工作波段及与 MSS 波段的对应关系。



图 3-8　通用 Daedalus 磁带格式

表 3-2　Daedalus 工作波段及与 MSS 的对比

通　道	波　段	与 MSS 的对应关系
1	0.38—0.42μm(紫)	
2	0.42—0.45μm(蓝)	
3	0.45—0.50μm(青)	
4	0.50—0.55μm(绿)	MSS4(0.50—0.60μm)
5	0.55—0.6μm(黄)	
6	0.60—0.65μm(橙)	MSS5(0.60—0.70μm)
7	0.65—0.69μm(红)	
8	0.70—0.79μm(近红外)	MSS6(0.70—0.80μm)
9	0.80—0.89μm(近红外)	
10	0.92—1.10μm(近红外)	MSS7(0.80—1.10μm)
11	8.00—14.0μm(远红外)	MSS8(10.4—12.6μm)

第五节　非遥感数据的图像化处理

在遥感专题研究中，利用非遥感数据与遥感数据的复合处理可以改善遥感地学分析的精度[5]。由于图像技术具有快速、直观、易综合等特点，图像处理技术已经在地学数据的处理中发挥着重要的作用[15—22]。

非遥感数据的灰阶编码处理可以采用"削头去尾"编码方式[15]，其计算公式为：

$$g(x,y)=\begin{cases}0 & Z(x,y)<Z_{下}\\ \dfrac{Z(x,y)-Z_{下}}{Z_{上}-Z_{下}}\times Scale & Z_{下}\leqslant Z(x,y)\leqslant Z_{上}\\ Scale & Z(x,y)>Z_{上}\end{cases}\qquad(3-2)$$

式中，$g(x,y)$ ——编码后的灰阶值；

$Z(x,y)$ ——非遥感数据的原始值；

$Z_{上}$，$Z_{下}$ ——编码区间的上下限；

$Scale$ ——图像编码灰级，一般取为 255。

数据格式转换的目的是使非遥感数据与遥感数据具有相同的数据格式，以便于利用遥感图像系统对非遥感数据进行图像处理以及非遥感数据与遥感图像的信息复合处理。通常的作法是把经过编码处理的非遥感数据写成 SLB 结构，即一个数据用一个字节表示，每行为一个记录的形式。

第四章　遥感图像模式与遥感图像信息特征

对遥感图像进行数字处理需要根据不同的专题要求选择不同的方法，因此在探讨遥感图像数字处理方法之前，有必要分析一下各种遥感图像的模式、遥感图像的主要信息内容、遥感图像的信息特征。本章将主要介绍遥感图像的一般模式与图像函数、遥感图像的信息内容及其测度、遥感图像信息特征的概貌分析等。

第一节　遥感图像模式与遥感图像的数字表示

遥感图像记录的是遥感传感器对地观测的结果，遥感图像的灰度值反映了地物的反射和发射电磁波能力，遥感图像的灰度值与工作区地物的成分、结构等以及遥感传感器的性质之间存在某种内在联系，这种内在关系可以用一函数关系来表达，也就是说客观存在着遥感图像的模式。

一、遥感图像函数及其物理意义

遥感图像是遥感对地观测的产品形式之一，它是遥感平台上的传感器在远离地面的高空探测并记录地球表面、大气层以及其它星球表面等物质在特定的电磁波波段内的电磁波辐射能量的大小、分布以及能量随时空因素而变化的产物，地物的电磁波辐射能量及变化在图像上表现为图像的灰度（又称亮度）及其变化，灰度是地物电磁波辐射能量大小的直接反映，是地物识别的重要依据。

遥感中可以根据遥感的观测目标对遥感系列进行分类，资源与环境遥感系列的观测目标是地球表面；而气象卫星（大气遥感）观测目标主要是大气层及其变化；对其它星球观测则是宇航遥感的主要目标。

从上面的分析可以知道，遥感图像中的灰度值具有明确的物理意义，不同的遥感图像其物理意义不尽相同，遥感图像物理意义是多变的，遥感图像是多种多样的。决定遥感图像中灰度值物理意义的主要因素有：遥感所使用的电磁波工作波段、地物类型、成像方式等。

尽管遥感图像存在着复杂的变化，但还是可以从理论的角度归纳为一个带有普遍意义的模式，从遥感图像的定义与遥感图像成像过程可知，遥感图像是关于观测区空间位置变化（即 x,y 坐标）、传感器电磁波工作波段的波长、成像的时间以及电磁波极化性质的函数。遥感图像一般可以用下面这样一个公式来表达：

$$L(x,y;\lambda,t,p)=\rho(x,y;\lambda,t)I(x,y;\lambda,t)+[1-\rho(x,y;\lambda,t,p)]M(\lambda) \qquad (4-1)$$

式中，x,y ——图像的空间位置坐标；

λ ——传感器电磁波工作波段的波长；

t ——图像的成像时间；

P ——电磁波的极化性质；

L ——(x,y)点的波谱辐射量；

ρ ——(x,y)点的波谱反射率；

I ——(x,y)点的入射辐射量；

$M(\lambda)$ ——黑体的波谱发射本领。

在式（4-1）中，波谱的辐射量等于两部分之和，加号前面的部分是(x,y)点的反射辐射量，加号之后部分是(x,y)点的发射辐射量。星载传感器的工作波段主要是可见光及近红外波段，在这些波段中，地物的自身发射辐射相对于它的反射辐射来说，通常很小以至于可以忽略不计，因而对于可见光及红外线遥感来说，式（4-1）可以进一步简化为：

$$L(x,y;\lambda,t,p)=\rho(x,y;\lambda,t,p)I(x,y;\lambda,t) \qquad (4-2)$$

式中，x,y ——空间坐标；

λ ——电磁波波长；

t ——成像时间；

p ——电磁波极化性质；

L ——波谱辐射量；

ρ ——波谱反射率；

I ——入射辐射量。

式（4-2）说明，地物的波谱辐射量等于入射量与反射率之积。众所周知，入射量主要取决于太阳光的光照条件和遥感传感器的几何特征，而反射率则是地物性质的反映。

固定成像时间 t，如果不考虑式（4-2）中 $L(x,y;\lambda,t,p)$的物理意义，地物的辐射量度是一个关于空间坐标位置的函数，也就是说图像就是一个二维的空间分布，可以把图像函数 L 用关于(x,y)的实函数 $f(x,y)$来表示，此时，遥感图像函数除了其代表的物理意义外，与图像处理学中所指的图像函数没有差别。

应该注意的是图像函数$f(x,y)$所代表的实际上是二维空间内物质的辐射电磁波能量的分布，是真实情况的直接反映，还不是传感器记录下来的像片或数据本身，因为传感器所接收的电磁波辐射能量至少还要受到辐射电磁波与大气层的相互作用的影响。因此，遥感平台上的传感器所记录下来的物质辐射特征及几何特征与实际的地物辐射特征之间还有差别，它们之间还存在着一个对应变换关系即：

$$g(x,y)=T\{f(x,y)\} \qquad (4-3)$$

式中，$g(x,y)$ ——描述传感器接受的电磁波辐射特征的函数，即图像函数；

$f(x,y)$ ——反映实际地物电磁波辐射特征的函数；

T ——$f(x,y)$与 $g(x,y)$之间的对应变换关系。

$g(x,y)$就是遥感图像处理中真正要遇到的图像函数，很显然它也是一个关于空间坐标 x,y 的二维空间函数，函数的值就是地面(x,y)点地物的某种物理量的一种度量，函数的值常常被称为灰度、亮度、密度等。

在遥感图像数字处理中需要注意的一个问题是，遥感传感器所记录的物理变量是地物的电磁波辐射能量，经过遥感图像的数字处理后，图像函数值的物理意义已经变得很复杂，例如，对原始图像进行卷积运算，其结果图像的函数值与地物的电磁波辐射能量分布之间很难找到一种确切的对应关系。

在考虑图像模式 $L(x,y;\lambda,t,p)$的简化过程中，图像函数 $g(x,y)$只考虑了空间坐标位置的变化，在实际的遥感图像中，其它三个变量往往通过别的途径来表示：

1）电磁波波长 λ 的变化。在同一地区不同的波段观测，组成了不同波段的图像组合，因而在遥感图像的数字处理中，就将遇到多波段图像的组合问题，如 TM 图像共有七个组合波段。

2）成像时间 t 的变化。成像时间 t 的变化在遥感应用中主要表现在同一地区不同时间的图像重复获取，在实际的遥感图像数字处理过程中，经常会遇到对多时相组合图像的数字处理问题。

3）电磁波极化性质 P 的变化。主要表现在遥感传感器极化工作方式的变化。在实际的处理过程中，也会遇到不同极化性质的组合图像的处理问题，如雷达图像处理问题。

二、遥感图像函数的基本特点

遥感图像函数 $g(x,y)$有以下三个基本的特点：

1）函数值物理意义的明确性。在前面的分析中我们已经知道，遥感图像的灰度值即图像函数的值代表了地物电磁波辐射的一种度量，也就是说图像函数值主要反映的是地物的光谱特征。

2）函数定义域的限定性。由于每一种遥感传感器都具有一定的视域，因而它所获得的图像大小也是有限的，所以图像函数只在实际图像范围内有效。

3）图像函数值的限定性。图像函数 $g(x,y)$一般都在一定的值域内变化，即有：

$$0 \leqslant g(x,y) \leqslant R_{\max} \tag{4-4}$$

式中，$g(x,y)$ ——图像函数；

$R_{\max}$ ——地物的最大辐射量。

式中 $g(x,y)$不小于零的物理意义是地物的电磁波辐射量最小是零，而不应当出现负值。

三、图像函数的数字化与遥感图像的数学表示

图像函数 $g(x,y)$是一种连续变化函数，胶片记录的图像或像纸上记录的图像就是一种连续函数，连续图像函数也就是通常所说的模拟图像。模拟图像是遥感图像光学处理的对象，遥感图像数字处理一般都是在计算机上进行的，因此必须把模拟图像转换为数字图像。

1）遥感图像函数数字化的概念与目的。遥感图像函数 $g(x,y)$数字化就是把连续函数图像即模拟图像转换为数字图像，图像函数的数字化通常包括两个方面的内容，其一是按照一定的网格对连续图像的辐射值进行采样；其二是把采样点的辐射值进行量化编码处理，下面将详细讨论这两方面的内容。

2）一维信号与二维图像采样[23]。为了更好地说明二维图像的采样问题，首先将简单地介绍一下一维信号的采样问题。

(1) 一维信号采样：一维信号的采样过程可以简单地用图 4-1 表示。

在图 4-1 中，$x(t)$是连续信号，对 $x(t)$用理想采样器，并以 Δt 为周期，对信号进行采样，得到了如下序列：

$$\cdots,\ x(-\Delta t),\ x(0),\ x(\Delta t),\ x(2\Delta t),\ \cdots \tag{4-5}$$

式 (4-5) 可以进一步简化为：

$$\cdots,\ x(-1),\ x(0),\ x(1),\ x(2),\ \cdots \tag{4-6}$$

也即

$$x(n), \quad n = \cdots, -1,0,1,2,\cdots \tag{4-7}$$

$x(n)(n=\cdots,-1,0,1,2,\cdots)$就是连续信号 $x(t)$的离散表示，把信号 $x(t)$离散的过程就是所谓的信号采样。

(2) 二维图像采样方法与遥感图像的数字表示：二维图像采样就是把一张影像划分为 $M \times N$ 个像元，并分别取这些像元亮度值的过程称为采样。

把一幅模拟图像划分成一个个像元采样点阵的形式有正方形点阵、正三角形点阵、以及正六角形阵列多种形式（图 4-2）[24]，在遥感图像的数字化过程中主要采用正方形点阵。

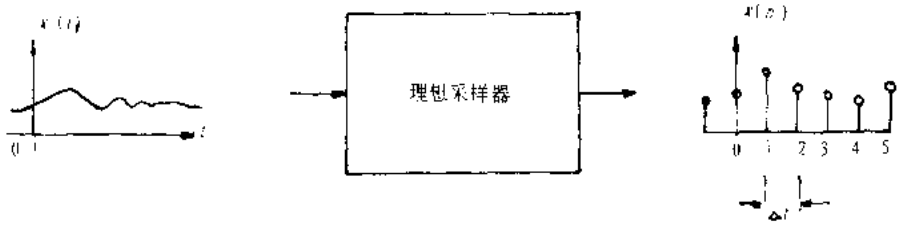


图 4-1 理想采样器功能

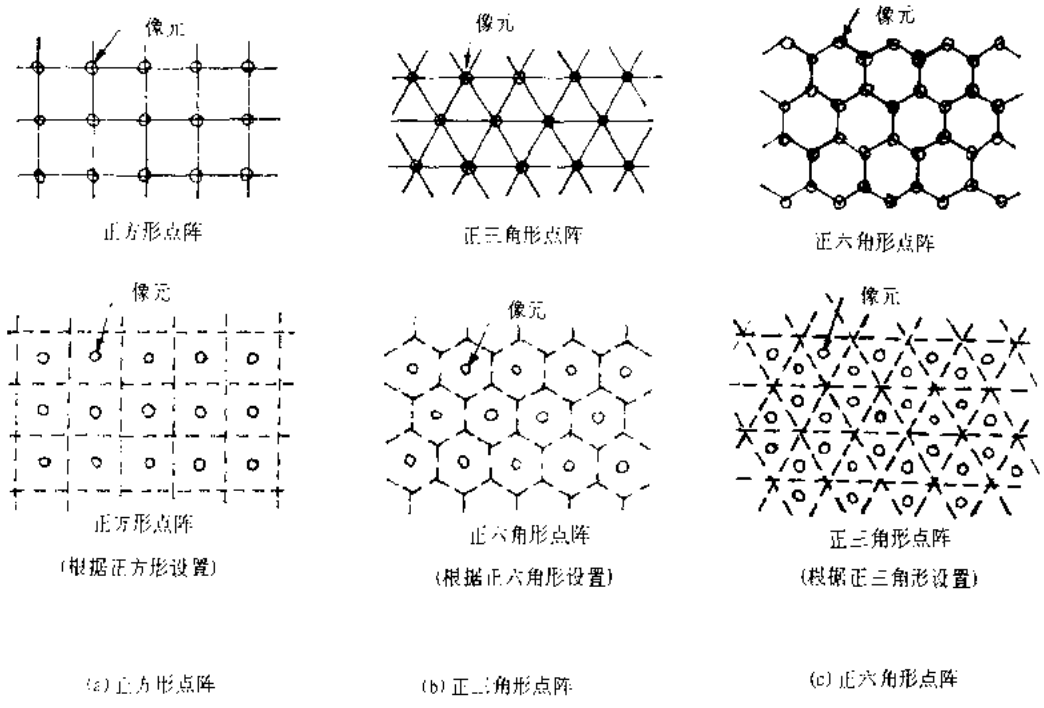


图 4-2 二维图像的采样点阵形式[24]

采样过程中一幅影像被分割的每一个小方块在遥感数字图像处理中被称为一个像元或

像素，采样过程中每个像元的辐射值一般都取小方块的平均辐射值.

上述的遥感图像采样过程，实际上就是对图像函数 $g(x,y)$，在 x,y 方向上分别以 $\Delta x,\Delta y$ 为采样间隔对遥感影像的离散化过程，其结果是获得了遥感图像的数字表示形式即一个二维的数字矩阵:

$$\begin{bmatrix} g(0,0) & g(1,0) & \cdots & g(M-2,0) & g(M-1,0) \\ g(0,1) & g(1,1) & \cdots & g(M-2,1) & g(M-1,1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g(0,N-2) & g(1,N-2) & \cdots & g(M-2,N-2) & g(M-1,N-2) \\ g(0,N-1) & g(1,N-1) & \cdots & g(M-2,N-1) & g(M-1,N-1) \end{bmatrix} \tag{4-8}$$

3) 量化编码，量化就是把采样过程中获得的像元平均辐射亮度值，按照一定的编码规则划分为若干等级，并使在同一级范围内的像元值取其级数的过程，经过量化编码后，数字图像的灰度值不是像元的平均辐射值，而是像元平均辐射值所在的编码区间的级数.

量化使采样后的亮度值 $g(m,n)(m=0,1,\cdots,M-1;n=0,1,\cdots,N-1)$被分为 K 级，则 K 级的范围是 $0,1,2,\cdots,K-1$，为了处理上的方便，K 常常取为 2 的正整数幂即:

$$K=2^{L} \tag{4-9}$$

L 为正整数，通常取为 6、7 或 8，例如 MSS 的量化级是$2^{6}=64$或$2^{7}=128$,而 TM 与 SPOT 的量化级是$2^{8}=256$，量化像元的灰度值用级数表示，例如，已知某采样点平均辐射密度值是 f，而 f又在量化区间d_j和d_{j+1}之间，量化编码后采样点的灰度值为 j.

4) 量化等级和采样间隔的确定。很显然采样间隔越小，数字图像与模拟图像越接近，图像数字化后，图像的失真也就越小，但是采样间隔越小，图像数据量也就越大，这必然要影响遥感图像数字处理的速度，因而这是一个矛盾；灰度等级越多，对地物辐射光谱描述的越精确，但灰度等级的无限增加又会影响到图像的数据量，进而影响遥感图像数据的传输与处理，使遥感图像数字处理复杂化.

遥感系统对遥感影像的采样间隔和灰度等级已经确定，这里主要讨论如何确定照片扫描输入的采样间隔与灰度等级，以及非遥感资料的图像编码灰度等级及采样间隔确定.

(1) 灰度级的确定：确定灰度级主要考虑的对象是整量化误差，对于灰度均匀分布的情况，如果亮度值均匀化的间隔为 Δd，则 Δd 可以取 1 倍或 2 倍信号噪声的标准差，其推导过程有关文献已有介绍[2]；对于灰度非均匀分布情况，可以通过非线性变换把信号变为均匀分布，然后按照均匀分布灰度级的确定原则，确定非均匀分布的灰度级数.

(2) 采样间隔 Δx、Δy 的确定：采样间隔可以按照下式确定:

$$\begin{cases} \Delta x \leqslant \dfrac{\pi}{\omega_{xc}} \\ \Delta y \leqslant \dfrac{\pi}{\omega_{yc}} \end{cases} \tag{4-10}$$

式中，$\Delta x,\Delta y$ ——采样间隔;

ω_{xc},ω_{yc}——空间截止频率。

第二节　遥感图像中的信息内容与测度

图像处理是一个信息的加工与提取过程，在遥感应用研究中，常常需要根据专题要求提取遥感图像中某些特定信息内容并抑制其它的信息内容。遥感图像处理的算法大多也是根据遥感图像信息内容提取要求而设计的，遥感专题所要提取的信息内容通常是遥感图像数字处理方法的选择、方案的制定、处理步骤确定的主要依据。在本章第一节介绍遥感图像模式与遥感图像数字表示的基础上，本节进一步讨论遥感数字图像的三大信息内容（波谱信息、空间信息、以及时间信息）以及它们的测度方法。

一、遥感图像中的波谱信息与测度

遥感图像每个像元亮度值的大小反映了像元所对应的地面范围内地物的平均辐射量度，很显然地物的平均辐射量度受地物成分、结构、状态、表面特征等因素的影响，遥感图像的亮度值随地物成分、结构、状态、表面特征以及电磁波波段的变化而变化的称为地物的波谱特征。

不同的地物亮度值存在差异，例如在 SPOT3 图像上，植物的灰度值大于水的灰度值；同一地物在不同的波段上的辐射值也存在差异，例如，植物在 SPOT3 上的亮度值要比在 SPOT2 上大。遥感图像上的这两种差异就构成了波谱特征信息，又称波谱信息。

在一个地区，地物类型虽然多种多样，但还是有几种地物占有统治地位，这些地物的电磁波辐射水平往往决定着遥感图像的亮暗程度，这种决定图像基本亮度的地物波谱信息被称为一级波谱信息，它是大类地物亮度差异的反映。

虽然决定一级波谱信息的主要地物类型是植被、岩石土壤和水体，但一级波谱信息随时空域的变化很大，在我国南方的大部分省区夏天植被广泛发育，因此遥感图像中的一级波谱信息主要是植被；在水域，如大湖区及海洋等，决定图像基本亮度的地物就是大面积的水体，遥感图像中的一级波谱信息就是水体；常年积雪的极地，其一级波谱信息主要由雪来决定；在我国西北等植被发育较少，岩石出露较好的地区，岩石的波谱信息就构成了遥感图像中的一级波谱信息；在地形变化较大的山区，地形变化引起的亮度差别常常要大于地物波谱特征差别而成为一级波谱信息。

一级波谱信息是图像亮度值的背景值，有时对于专题信息的提取是种干扰成分，因此在实际的遥感图像数字处理工作中，了解图像中的一级波谱信息是很重要的。

在遥感图像中，每一个波段的图像虽然其波谱信息内容有很大的差别，但还是有很大的一部分波谱信息是重叠的，在遥感图像数字处理中，有必要对波段之间的波谱信息进行归类并压缩变量数目，这样的遥感图像数字处理过程被称之为波谱变换，如本书后面将要介绍的 KT 变换就是一种典型的波谱变换。

在遥感解译中，不同地物识别的一个重要标志就是图像的亮度差别，遥感图像中，有时这种波谱信息的差异很小，很难为人的视觉所感知，因而在遥感图像的数字处理中是通过一些增强处理来加大这种差别，这种处理被称为波谱信息增强。

波谱信息是地物识别的重要依据，遥感图像的波谱信息主要是通过灰度等级数目来度量的，灰度级数目越大，反映波谱信息越丰富。

二、遥感图像中的空间结构信息

遥感图像的亮度值代表了波谱特征本身，而遥感图像的空间结构信息则指的是亮度在空间上的变化特征，图像中的点、线、边缘、纹理都属于空间结构信息。

纹理是遥感图像中最重要的空间结构信息之一，它也是地物识别的辅助标志，纹理是遥感影像细节的形状、大小、位置及分布特征。

线性影像与环形影像是地学遥感中两种最重要的空间结构信息，线性影像一般指的是遥感图像上有一定规模的线性状延伸，这种线性状特征是由灰度及色调变化所引起的。线性影像大多是人类活动的产物，如道路、电线、人工河等；或是线性的自然地貌，如山谷线、河流、海岸线等；或是非断裂构造形成的；也可能是断裂构造及其产物。在遥感地质中各种由构造因素形成的遥感线性影像都被称为遥感线性构造。

遥感图像上的环形影像是实心的圆形、空心的环形、准圆形、准环形或未封闭的弧形影像的总称。环形影像的成因多是地质实体；或构造应力场的产物；或是地球化学场的作用结果；也可能是宇宙物质碰撞地球的结果[4,8]。

影响遥感图像空间信息的重要因素是遥感图像的几何分辨率，图像的几何分辨率越高，图像的影纹细节越清晰，图像的空间结构信息越丰富；反之，遥感图像的几何分辨率越低，图像的影纹细节越模糊，图像的空间结构信息越少，几何分辨率既是影响图像空间结构信息丰富程度的主要因素，也是遥感图像空间结构信息的测度。

图像中影纹细节结构可以用放大或其它的数字处理方法（如图像的卷积运算）使之清晰化，在遥感图像的数字处理中，对遥感图像中空间结构信息内容的增强与提取处理被称之为图像的空间信息增强。

三、遥感图像的时间特征信息与测度

遥感图像的时间特征信息指的是不同时相遥感图像的光谱特征与空间结构特征的差异。各种卫星对地观测都有一定的重复周期，如陆地卫星 4 号的周期为 16d，SPOT 卫星的重复周期是 26d，而 NOAA 气象卫星的重复周期只有 12h。卫星对地面物质周期性重复观测使我们能够了解地物波谱特征随时间的变化情况。

一些遥感应用专题，如各种灾害的动态监测及作物生长状况研究，都需要掌握地物随"空"与"时"两个因素的变化情况，这时遥感图像中的时间特征信息就成为了一种重要的专题信息。

时间信息的深入研究，对于遥感图像时像选择有重要的意义，在地质研究专题中，遥感图像的信息特征不是一成不变的，而是随着季节的变化而有所变化，选择地质体遥感信息表现最好的时相图像，对于专题研究和遥感图像的数字处理很有益处，有时可以达到事半功倍的效果。

遥感图像中的时间特征信息在目视解译时，是通过不同时像图像的对比分析来辨识的。在遥感图像的数字处理中，一些处理方法（如不同时像图像的差值与比值运算）能够有效地增强和提取多时像图像中时间信息，增强和提取遥感图像中时间信息的处理称为时间特征增强。

众所周知，卫星对地重复观测的周期越短、频率越高，则对地物光谱特征随时间变化的特征了解得就越多，因此，时间分辨率是衡量时间特征信息丰富程度的一种测度。

第三节　遥感图像信息特征的概貌分析

本章第一节和第二节讨论了遥感图像模式、图像灰度值的物理意义、以及遥感数字图像所包含的信息内容，这些主要特性是以像元为单位的。遥感图像作为一个整体，有其总体的信息特征；遥感图像的亮度值大小受多种因素影响，这些因素的变化又有很大的随机性，因而遥感图像的灰度值在很大程度上是一种随机变量。本节从统计学的角度讨论遥感图像信息特征的概貌分析。

一、遥感图像概貌分析的基本统计量

1）均值。均值是图像中所有像元亮度值的算术平均值，其计算公式为：

$$G = \frac{\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} g(i,j)}{MN} \tag{4-11}$$

式中，G ——图像的灰度平均值；

i,j ——图像行与列坐标；

$g(i,j)$ ——图像中第 i 行，j 列像元的灰度值；

M,N ——图像的行、列数。

均值反映的是地物的平均反射强度，表示了地物的平均反射率，其大小由一级波谱信息决定。

2）中值。图像灰度的中间值。由于遥感图像的灰度级绝大多数情况下是连续变化的，所以中值的计算公式为：

$$g_{med} = \frac{g_{max} + g_{min}}{2} \tag{4-12}$$

式中，g_{med} ——遥感图像的中值；

g_{max} ——图像的最大灰度级；

g_{min} ——图像的最小灰度值。

图像的中值大致反映了图像的总体亮度水平，其物理意义有时与均值相同。

3）众数。众数是图像中出现最多的灰度值。它是一幅图像中最大地物类型反射能量的反映，当图像景区某一地物占绝对优势时，灰度直方图往往是单峰，只有一个众数，地物的平均反射能量主要取决于该类地物的反射强度。图像直方图为多峰时，表面主要地物类型不只一个而是多个。

4）数值域。灰度值的动态变化范围。其计算公式为：

$$g_{range} = g_{max} + g_{min} \tag{4-13}$$

式中，g_{range} ——遥感图像的数值域；

g_{max} ——图像的最大灰度值；

g_{min} ——图像的最小灰度值。

数值域是遥感图像灰度值变化程度的反映，可以间接地反映遥感图像的信息量。

5) 方差和标准差。方差的计算公式为:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}(g(i,j)-G)^2}{MN} \qquad (4-14)$$

式中，S^2,S ——图像的方差和标准差;

M,N ——图像的行、列数;

G ——图像的均值.

方差和标准差描述了像元值与图像平均值的离散程度，是图像信息量大小的重要标志之一.

6) 反差. 图像的反差可以用下面三个公式来计算:

$$g_{c1} = g_{\max} / g_{\min} \qquad (4-15)$$

$$g_{c2} = g_{\max} - g_{\min} \qquad (4-16)$$

$$g_{c3} = S \qquad (4-17)$$

式中，g_{c1},g_{c2},g_{c3}——图像反差;

$g_{\max}$,$g_{\min}$——图像的最大最小灰度值;

S ——图像的标准差。

反差描述的是图像的显示效果，直接影响图像的可分辨性。在三个反差定义中，方差最确切，其它两个受个别极端变化的像元的影响较大。

下面这段程序是用于计算遥感图像基本统计量的，程序中的变量意义为: g代表图像数组; M,N 分别是图像的行列数; MED 均值; RANGE 是数值域; SS 是方差; CON1、CON2、及 CON3 是三个反差值。

```
      subroutine(g,M,N,MED,RANGE,SS,CON1,CON2,CON3)
      integer g(1024,1024)
      real MED
      MED = 0
      RANGE = 0
      SS = 0
      CON1 = 0
      CON2 = 0
      xmax = 0
      xmin = 0
      do 1 i = 1,M
      do 1 j = 1,N
      MED = MED+g(i,j)
      if(g(i,j).lt.xmin) xmin = g(i,j)
1     if(g(i,j).gt.xmax) xmax = g(i,j)
      MED = MED / (M * N)
      RANGE = xmax-xmin
      CON1 = xmax / xmin+0.001
```

```
        CON2 = RANGE
        do 2 i = 1,M
        do 2 j = 1,N
2       SS = SS+(g(i,j)-MED) * (g(i,j)-MED)
        CON3 = sqrt(s)
        return
        end
```

二、图像的直方图

1）图像直方图的基本概念。图像直方图是图像中的每个波段亮度值的分布曲线。图像直方图的横坐标表示图像的灰度级变化，直方图的纵坐标表示图像中某个灰度级像元数目占整个图像像元数目的百分比或累积百分比。

直方图是图像灰度分布的直观描述，它能够反映图像的信息量及分布特征，因而在遥感图像的数字处理中，可以通过修改图像直方图来增强图像中的目标信息。

2）图像直方图的基本类型。在遥感图像的数字处理中，按照图像直方图纵坐标值的物理意义，可以分为两种基本类型即频数直方图和累积直方图。频数直方图的纵坐标值是某个灰度级的像元在图像中出现的百分数，频数直方图相当于概率密度曲线；累积直方图的纵坐标是小于或等于特定灰度级像元在图像中的百分数，累积直方图相当于累积概率密度曲线。

3）图像数据集的理想分布。大量的实践表明：在地物类型差异不很大的情况下，图像数据像自然界的其它现象一样，服从或接近于正态分布。

4）直方图的偏斜与量度。在实际的遥感图像中，遥感图像数据并不完全服从正态分布，遥感图像分布曲线与正态分布曲线的差异就称为直方图的偏斜。

直方图发生偏斜时，遥感图像的均值、中值、以及众数都将明显的不同，直方图的偏斜度可以用S_K来表示，其计算公式为：

$$S_K = \frac{G - mode}{S} \qquad (4-18)$$

$$S_K = \frac{3(G - med)}{S} \qquad (4-19)$$

式中，S_K ——直方图偏斜度；

G ——图像的均值；

$mode$ ——图像的众数；

med ——图像的中值。

三、多波段图像信息特征的概貌分析

多波段图像除了单个波段图像的统计特征以外，波段图像之间也存在关联，波段图像波段之间的统计特征是波段图像分析的重要参数，有是图像合成方案的主要依据之一。

1）协方差与协方差阵。描述波段图像统计特征的第一个参量是协方差与协方差阵。两个图像g_1,g_2的协方差的计算公式为：

$$S_{21}^2 = S_{12}^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(g_{1i} - G_1)(g_{2i} - G_2) \tag{4-20}$$

式中，S_{21}^2, S_{12}^2——图像g_1与图像g_2的协方差、图像g_2与g_1的协方差；

N——每个图像的像元数；

G_1, G_2——图像g_1, g_2的均值。

将N个波段相互之间的协方差排列在一起所组成的数字矩阵就是所谓的协方差阵$\sum$，即：

$$\sum = \begin{bmatrix} S_{11}^2 & S_{12}^2 & \cdots & S_{1n}^2 \\ S_{21}^2 & S_{22}^2 & \cdots & S_{2n}^2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1}^2 & S_{n2}^2 & \cdots & S_{nn}^2 \end{bmatrix} \tag{4-21}$$

2）相关系数与相关矩阵。相关系数是描述波段图像的相关程度的统计量。其计算公式为：

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}^2}{S_{ii}S_{jj}} \tag{4-22}$$

式中，r_{ij}——图像i与图像j的相关系数；

S_{ij}^2——图像i,j的协方差；

S_{ii}, S_{jj}——图像i和图像j的标准差。

将n个波段图像相互之间的相关系数排列组成的数字矩阵称为相关矩阵$\mathbf{R}$即：

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{4-23}$$

相关系数表示了两个波段图像所包含信息内容的重叠程度，是多波段图像彩色合成的重要依据。

3）MSS图像的相关特点。对MSS图像的大量统计分析可知，MSS图像具有如下相关特点[10]：

（1）两个波段之间的相关系数与它们在波谱中的位置成正比。

（2）对植被反映最敏感的是r_{65}，其次是r_{75}，无植被干旱及半干旱地区相关系数较大，植被发育区较小。

（3）MSS4与MSS7的相关系数最小，例外的情形较少。

（4）多数情况下，$r_{76} > r_{65}$。

(5) 地形是影响相关系数的重要因素，地形起伏较大的地区波段之间的相关系数一般都较高。

(6) 图像中含有较大面积水体时，r_{65}、r_{75}、r_{64}显著降低。

(7) 时像的变化，也常常引起相关系数的变化。

4) TM 图像的相关特点。TM 图像的相关特点可以概括为两点:

(1) TM 数据相关分组性。TM 数据明显地分为四组，1、2、3 波段相关系数较大，属于一组；5、7 波段都是红外波段，相关系数较大也成为一组；4 波段与其它波段的相关性都很小，4 波段单独成为一组；6 波段因为其几何分辨率比其它波段都低，因而无法与其它波段进行相关特征分析，也单独为一组。

(2) 波段相关系数大小受自然地理条件、气候、地质环境变化等因素的影响。例如，4 波段与其它波段的相关系数，在干旱地区与山区要比在其它情况下大些。

第二篇　遥感图像处理系统

遥感图像数字处理离不开图像处理系统。本篇将主要讨论遥感数字图像处理系统的构成，并介绍国内目前使用较多的一些典型的遥感图像处理系统。由于I^2S图像处理系统在国内遥感图像处理方面仍然占有很大的用户市场，且I^2S图像处理系统又大多是以美国DEC公司的系列机作为主机，因此，本篇以I^2S图像处理系统和VAX机作为实例，具体介绍遥感系统的配置、VMS操作系统以及DCL命令语言的使用方法。

第五章　遥感图像处理系统概述

进行数字图像处理无疑需要图像处理系统，遥感图像处理系统必须包括具有较高运行速度的计算机主机；大容量的存储器；图像输入设备及图像输出设备。图5-1是一般图像处理系统的基本构成，遥感数字图像处理系统与之基本类似，对于遥感图像处理系统来说，如果运算处理全部由一台计算机来完成，这种遥感图像处理系统被称为通用计算机型遥感图像处理系统；如果运算处理中除了计算机主机外，还需一个硬件来实现图像处理的话，这样的系统被称之为专用处理机型遥感图像处理系统。

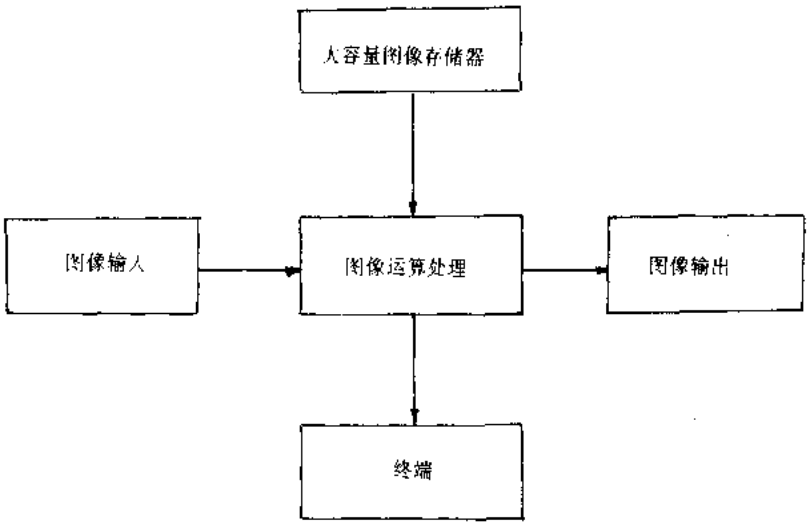


图5-1　一般数字图像处理系统的构成

第一节　遥感图像处理系统基本构成

遥感数字图像处理系统是以计算机为中心的，其系统包括硬件与软件两部分。图 5-2 是遥感数字图像处理系统的组成框图。

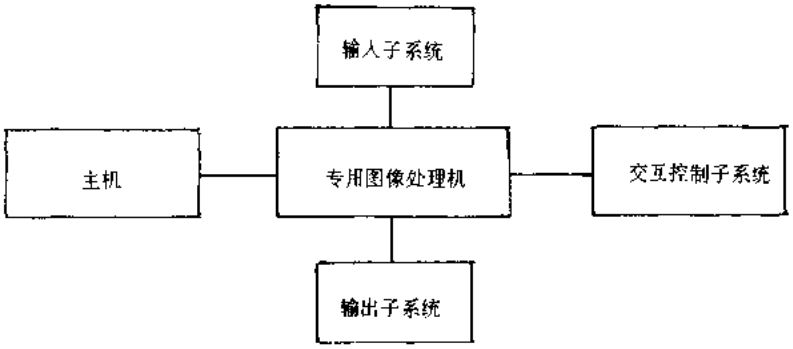


图 5-2　遥感图像处理系统的组成框图

一、硬件

1）计算机。计算机是遥感数字图像处理系统的核心，因此对其机型的选择应该根据不同图像处理的需要决定，可以选择微机、超小型机、工作站作为图像处理主机。目前国内具有各类机型大量图像处理系统，但在遥感领域使用最多的尚为 DEC 公司的 VAX 系列机或与其兼容的其它机型。

2）输入设备。遥感数字图像处理系统常用输入设备有磁带机、磁盘机（包括光盘）、摄像机、胶片扫描仪、析像器、数字化仪等。

3）输出设备。遥感图像处理系统常用的输出设备有磁带机、磁盘机（包括光盘）、胶片扫描仪、彩色显示器、绘图仪、各种类型的打印机等。

4）外存设备。由于遥感数字图像数据量很大，仅靠计算机的内存保存遥感数据和处理结果是不现实的，因此遥感资料的保存还要靠大量的外存设备来完成。遥感数字图像处理系统的主要外存设备有软盘、磁盘和磁带，大容量的光盘现在也开始广泛地用于遥感数据存储。

5）显示和人机对话设备。遥感图像系统使用显示及人机对话设备包括黑白或彩色显示器，带跟踪球和字符键盘的控制台等。

6）专用处理设备。遥感图像系统中的专用处理设备主要是指用硬件设备实现遥感图像处理算法的图像处理机（如 MODEL 75）；进行高速数组运算的阵列机或图像板等。在遥感图像系统中采用专用处理设备的目的是提高图像处理的速度。

二、软件

遥感图像处理系统的软件从功能上可划分为系统软件和应用软件两大类，虽然各个图像处理系统的软件有所差异，但遥感图像系统的软件大致具有图 5-3 所示的结构[24]。

1）系统软件。系统软件是计算机系统资源的集中管理软件，是用户和计算机之间的一个界面。系统软件一般包括操作系统、语言编译、解译程序、服务程序以及网络通讯软

件等。

2）图像数据管理软件。

3）图像输入输出设备控制，指各类图像输入设备与输出设备的驱动程序、管理程序等。

4）基本图像处理软件。主要是指进行各种常规图像处理用的软件。例如，格式转换程序、图像校正程序、各种变换程序、各种增强处理程序、图像分析程序、各种算术和逻辑运算程序等。

5）应用程序。应用程序主要指用户根据专题要求，利用软件开发工具自行开发的应用软件包。

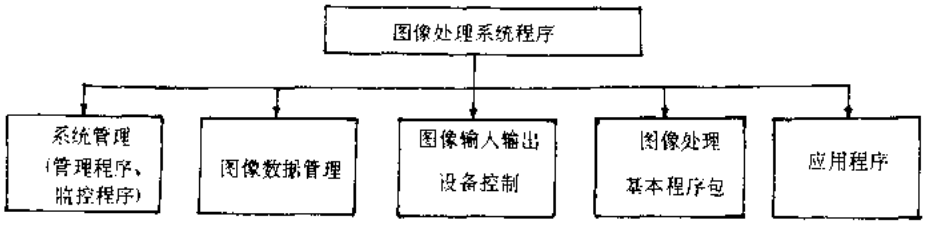


图 5-3　遥感图像处理软件结构示意图

第二节　几种典型的遥感图像处理系统简介

遥感图像处理系统大多数是从国外引进的，从目前的使用情况看，其中又以美国国际图像系统（International Image System）公司I^2S系列的 S600 和 S575 占主导地位。第七章中将对I^2S 600 系统作专门介绍，这一节将对其它一些国内正使用的有代表性的遥感处理系统，主要包括石油遥感中心从加拿大引进的 MERIDIAN 图像处理系统①、核工业遥感公司以 HP 机为主机的 IDIMS 系统①、澳大利亚 Earth Resource Mapping Pty Ltd 推出的 ER Mapper 系统②以及以个人计算机为平台的遥感图像处理系统的基本配置与主要功能作简要介绍。

一、MERIDAN 图像处理系统

MERIDAN 系统是从加拿大 MDA 公司引进的一个功能比较齐全的适合于地质遥感数字图像处理的系统。其主要构成与功能如下：

1. 硬件部分

1）主机。主机为 VAX3600，内存 32MB，速率 2.7MIPS。除 VAX3600 外，同时还带有进行高速数组运算的 ZIP3232 阵列机。

2）外存储器。整个系统外存储量为 3GB。

3）输入设备。包括双密度（6250／1600BPI)磁带机、CALCOMP91480 数字化仪。

4）输出设备。包括 FIRE240 彩色胶片记录仪、CALCOMP 5835 彩色静电绘图

①根据1990年12月第一届全国地质遥感图像处理讲习班资料整理。

②根据加拿大环球贸易公司的资料整理。

仪、宽行打印机、激光打印机。

2. 软件部分

MDA 遥感图像处理系统是建立在 VMS 和 UNIX 操作系统之上的通用图像、图形处理系统。具有结构清晰、使用较方便、处理功能较齐全、再开发环境较好等特点。系统的先进之处主要体现在其全部软件功能都是在一个关系型图像、图形数据库的支持下进行的。其主要功能模块包括:

1) MERIDIAN CORE。它是控制整个系统的核心功能块。CORE 有以下几方面的功能:

- 系统功能。控制 MERIDIAN 的运行环境。
- 作业控制功能。在一个工作站上调配几个作业的运行。
- 数据管理功能。提供 MERIDIAN 图像数据库之间的数据传输。
- 显示功能。显示数据库信息和硬拷贝输出。
- 联机求助功能。帮助用户了解系统中的各种有用信息。

2) MERIDIAN IMAGE。该软件包提供了一套完整的遥感图像处理分析功能。

- 输入功能。不同类型不同格式的数据输入处理，如卫星数据、数字高程模型数据、地理编码数据的输入、摄像数字化输入等。
- 定义功能。定义功能允许操作员去规定和管理MERIDIAN数据库中各种特定数据类型，每个数据类型有一个定义作业。
- 空间变换功能。包括图像纠正、图像镶嵌、一般空间变换（FFT变换、卷积变换等）。
- 遥感图像空间测量功能。包括单个像元定位、单个像元的波谱成分构成、像元距离、区域面积。
- 遥感图像数值变换功能。包括算／逻功能、断点功能、波谱信息增强功能、图像分类等。
- 图像输出。以表格、图片、磁带数据等各种形式输出图像数据、统计结果、中间结果、最后结果等。
- 数字测量功能。

3) MERIDIAN IMAGE MAP。这个软件提供了 MERIDIAN 与 GIS 的联接；提供了用 MERIDIAN 进行专题数据分析的工具。

4) MERIDIAN-SDK。主要包括一些应用子程序，为在 MERIDIAN 环境中开发应用软件提供了一个工具。

二、IDIMS 图像处理系统

IDIMS 是核工业总公司遥感中心所采用的交互式数字图像处理系统。其构成如下:

1) 主机采用 HP-3000，操作系统是 MPE，配置了具有 270 多个子程序的 IDIMS 图像处理软件包、GIS 输入系统软件包等。

2) 磁盘驱动器。HP-7925 磁盘驱动器共两台，每台容量 120MB，HP-7935 一台，容量是 404MB。

3) 磁带机。HP-7970 型，位密度 1600 位／英寸，读写速度 45 英寸／秒；HP-7980，密度 6250 位／英寸，速度 125IPS。

4）系统控制台。HP-2635 打印终端。

5）输出打印机为 HP-2806A。

6）交互终端。HP-2621 型，最大数据传输率是 9600 波特。

7）图像处理机 IP6400。显示器可显示 512×512 大小图像。

8）硬拷贝输出相机。

9）DAV-16E4 视频摄像机。扫描速度 3000—5000 行／s。

10）数字化仪。CALCOMP-9100 数字化仪。

11）G-1000 交互图形显示终端。其分辨率为 1024×792。

12）HP-7500 绘图仪。

13）C-4500 扫描记录仪，12.5μ 光栅。

14）软磁盘机。

15）LSI-Ⅱ计算机 1 台。

三、ER Mapper 图像处理系统

ER Mapper 是澳大利亚 Earth Resource Mapping Pty Ltd 推出的一套较先进的遥感图像处理系统。与早期推出的图像处理系统相比，ER Mapper 图像处理系统具有能够与数据库以及 GIS 动态连接、输入输出功能强大等特色。ER Mapper 是在工作站上运行的基于 X-Window 环境下的能够处理陆地卫星数据、法国 SPOT 卫星数据、各种航空遥感数据、气象卫星数据、雷达数据以及非遥感的地震与重磁数据的大型遥感图像处理系统，这种以工作站为硬件平台的图像处理系统代表了一种新的发展趋势，预计在今后的相当长的一段时间内，遥感图像系统将会以工作站为平台的系统占主要地位，为此将简单介绍一下 ER Mapper 系统的特点。

1）硬件环境。ER Mapper 是一个支持多平台的大型遥感图像处理系统，可以在一系列的使用 Unix 操作系统的工作站上运行，例如，SUN 工作站、SGI 工作站、DEC 的 ALPHA 工作站等，运行环境是 X-Window,通常采用的主机是 SUN SPARstation 10。

图像的输入输出主要是通过 CD-ROM 驱动器，也可以连接磁带机等设备。

硬拷贝设备的配置可根据用户的要求而定，ER Mapper 能够支持 187 种硬拷贝设备，包括各种型号的打印机、激光打印机、笔式绘图仪、静电绘图仪、喷墨绘图仪以及各种各样的扫描输入输出设备。

2）软件。ER Mapper 包括 200 多个标准处理算法，可进行彩色空间变换、植被指数计算、特征增强、分类、主成分分析、颜色覆盖（Color Drape）、边缘增强、镶嵌与合成以及氧化物及粘土含量计算等处理。作为 ER Mapper 特色之一的是用户可以定义与修改算法，以完成复杂的处理任务。

3）系统能够处理的数据类型。ER Mapper 能够处理气象卫星图像、高程数据、地球化学数据、航空遥感数据、重力数据、TM 图像与 MSS 图像、磁力数据、SPOT 图像数据以及其它的非遥感数据等。

4）与 GIS 及 DBMS 的动态连接。ER Mapper 图像处理系统能够直接读取地理信息系统（如 ARC／INFO,GENAMAP 等）中的数据，也能够把图像处理结果直接输出到地理信息系统中，ER Mapper 还可以直接读取 Oracle 中的数据，也可以把图像处理结果输出到 Oracle 中。

四、微机图像处理系统

微机图像处理系统通常指的是以微机为硬件平台的遥感图像处理系统。低档微机是不能作为遥感图像处理系统硬件平台的。近年来随着微机的计算速度、内存容量、存储速度以及图像软件本身等方面的不断发展，微机作为遥感图像处理系统硬件平台的优势越来越明显，这主要是由于微机的性能价格比较高所决定的，微机图像处理系统的研制与开发工作也越来越引起人们的广泛注意。微机图像处理系统优于建立在中型与超小型机的专门图像处理系统之处在于：微机图像处理系统在价格上与专用图像处理系统相比低得多的情况下，能够完成专用图像处理系统中的绝大部分的功能。因此，微机图像处理系统造价较低，适合于推广普及。但是微机图像处理系统在总体功能方面还远不及专用图像处理系统完善，一般商品化程度也较低，可靠性也远不及专用的图像处理系统。另外，内外存储量较小，对于大数据量的遥感数字图像处理来说也是需要解决的问题。

我国在开展微机图像处理系统研制方面作了一系列的有益工作。国内有许多教学、科研、生产单位在开展这方面的工作。并已经推出了一些比较好的微机图像处理及地理信息系统。如北京大学遥感技术应用研究所的微机图像处理系统；地质矿产部三联公司的ICPS微机图像采集与处理系统；石油遥感研究所的遥感图像处理系统等都是些较实用的微机图像处理系统。

第三节　遥感图像处理系统的发展

遥感图像处理系统处在不断的发展变化之中，选择较高的性能价格比的遥感图像处理系统是一般的遥感图像处理用户所面临的一个实际问题，对于从事遥感图像处理及其系统研究的人员来说，掌握遥感技术应用的发展趋势与计算机软硬件的发展状况，是算法设计与系统开发的重要前提之一。

遥感图像处理系统的发展一方面与计算机软、硬件水平的发展密切相关，另一方面由于遥感图像处理系统所面向的对象是遥感技术应用中的图像用户，因此遥感图像处理系统的发展还与遥感技术本身的发展历史与现状密切相关。

遥感图像处理系统的发展主要表现在硬件和软件两个方面，其中又以硬件的发展最为突出，本节将从五个方面探讨一下遥感图像处理系统的发展。

一、遥感图像处理系统中的硬件

遥感图像处理系统硬件的变化主要体现在遥感图像处理系统所选用的主机及外部存储设备两个方面。

1）主处理机。遥感图像处理系统在主机选择方面已经历了三个阶段[2]。

第一阶段为60年代到70年代上半期，遥感图像处理的实现一般都是在已有的大、中型计算机上配备必要的外围设备（如图像的输入与输出设备），利用图像处理软件来完成图像处理与分析功能。

第二个阶段为70年代下半期到80年代初期，专用图像处理机的出现，使得图像处理系统的构成中，除了宿主机外，还配备了一个专用的图像处理机，将许多图像处理算法固化，一部分图像处理与分析功能可以用硬件快速实现，从而使遥感图像处理速度大幅度地提高。

第三个阶段是80年代初到90年代初，这个时期超小型机在图像处理系统中占有统治地位，图像处理系统的宿主机绝大多数采用32位的超小型机，图像运算速度也有了很大的提高。

近年来，图像系统在硬件方面又正在发生一些大的变化，由于具有强大的图形与图像功能的工作站的价格在大规模地下降以及个人计算机的计算速度与存储容量的提高，在遥感图像处理系统的构成方面，硬件发展已经进入了第四个阶段，即在工作站上建立大规模专业化的遥感图像处理系统，如建立在工作站上的ER Mapper。而一般的应用用户，又可以建立以PC机为核心的遥感图像处理系统，如我国地矿、石油以及核工业等部门在90年代中期推出的一些以微机为平台的遥感图像处理系统，专用图像处理机在遥感图像处理系统中的地位已经开始下降。

2）存储设备。遥感图像处理是大容量数据的处理与分析，在遥感数据的存储方面，除了大容量的硬盘之外，需要长期保存的数据与处理结果一般用户依然把磁带与软盘作为存储的主要介质。近年来，个人计算机可以使用的容量达150Mb数据流磁带与超大容量的光盘已经开始应用于遥感数据及其处理结果的存储。

3）多媒体技术的发展对遥感图像处理系统发展的影响。集声、文、图于一体的多媒体技术是计算机应用的又一重大发展。各种各样的多媒体计算机与相应的处理软件已经投入使用，以多媒体技术为核心的地理信息系统研究已经成为重要的课题，随着多媒体计算机价格的不断下降，软件的不断完善，遥感图像处理系统的构成也必然会向多媒体方向靠拢。

二、软件功能

遥感图像处理系统的软件功能反映了遥感技术应用水平，这主要表现在遥感与GIS技术的融合、多种遥感资料处理以及遥感资料与非遥感资料的复合处理三个方面。

1）遥感图像处理系统与GIS的融合。由于栅格与矢量数据在数据库管理等方面存在很大差别，最早以栅格数据处理为主要方向的图像处理系统与研究矢量数据为主要目的的GIS是两个各自独立的系统；以后的发展表明，GIS需要遥感资料更新数据库，遥感处理结果有时也需要以图形方式表示，二者之间存在一定的联系，因此在80年代到90年代初期的遥感图像处理系统中，有地理信息系统的处理功能（I^2S的S600系统），遥感数据与GIS二者之间的数据交换往往要经过一个转换程序来实现，但遥感处理系统还未与GIS真正的结合；到了90年代，GIS技术在遥感应用中的作用越来越为人们所重视，在遥感处理系统中开始真正融合GIS，遥感处理系统中不但有地理信息系统模块，而且还可以方便地处理地理数据。如ER Mapper图像处理系统，对用户而言有些遥感图像数字处理系统没有栅格与矢量数据之分，如荷兰ITC开发的ILWIS（Intergrated Land and Water Information System ——综合土地与水资源信息系统）。可以肯定，融合GIS系统将是遥感图像处理系统的发展趋势之一。

2）多种遥感资料的处理。多平台、多波段、多时相、多方法对地观测是遥感应用现阶段和今后发展的一大特点，遥感图像处理软件也顺应这种发展趋势，原来意义上的遥感图像处理系统基本上指的是处理卫星遥感资料的系统，而现在的遥感系统不仅保留了卫星遥感图像处理的特点，而且还增加了航空遥感数据的输入及处理内容，增加了处理气象卫星图像的功能，如ER Mapper图像处理系统；在处理方法方面，也涉及到如成像光谱仪

这样多达128个波段数据的遥感图像的信息提取处理问题；图像处理功能方面则加强了多时相图像处理能力；在可见光、红外遥感资料处理方法的基础上，增加了颇具特色的微波遥感图像的数字处理与分析功能，如ER Mapper有专门的雷达图像处理模块。

3）遥感图像处理系统中的非遥感资料的图像处理。遥感图像与非遥感图像资料的综合处理以及非遥感资料（如地球物理资料、地球化学资料、地形资料等）的图像处理技术是遥感应用研究中的前沿。非遥感资料的引入，可以显著地提高遥感图像的解译效果与地物的识别与分类精度及可靠性，遥感资料与非遥感资料的综合分析能够提取一些新的有用信息，非遥感资料的图像处理已引起了遥感应用工作者的广泛重视，一些较新的图像处理系统，如ER Mapper已经反映了这种趋势，图像处理系统中有专门的地球物理资料、地球化学资料、地形资料以及其它非遥感资料的图像处理模块。

三、输入输出设备

遥感图像处理系统构成中，输入与输出设备的配置除与计算机硬件发展水平有关外，还与遥感技术的应用水平及深度密切相关。

遥感技术总的发展趋势是遥感的空间分辨率、波谱分辨率以及时间分辨率将越来越高。空间分辨率不断提高的结果使遥感图像中像元所对应的实际地面面积越来越小，同一景区遥感数据量将大规模地增加；波谱分辨率的不断提高意味着遥感的波段将越来越窄，而波段的数目将不断增加，如成像光谱仪可达128个波段，如此多的波段使得遥感图像处理的数据量巨增；时间分辨率的提高意味着遥感对地观测周期的缩短，多时相图像的应用变得越来越重要，这些都说明遥感图像处理的数据量在急剧增长，遥感图像处理系统的有效性，在很大程度上取决于系统对大容量数据的吞吐能力，与此相对应，遥感图像处理系统对输入输出设备的传输速度与容量的要求也越来越高，例如，光盘驱动器将是新一代遥感图像处理系统的必备部件。

随着遥感应用领域拓宽与应用深度的不断提高，遥感精细制图的要求会更高，与此相适应的是对遥感图像处理系统中的硬拷贝设备的灰度分辨率与空间定位精度的要求也越来越高，在遥感制图中基本上已放弃了使用打印机及笔式绘图仪，硬拷贝输出设备主要是彩色分辨率较高的扫描仪与喷墨绘图仪等。

在遥感图像处理系统的软件配置中，应该考虑对各种图像图形数据格式的兼容性，应该能够在各种各样的输出设备上输出专题图像，90年代初的遥感图像处理系统，一般只能够处理几种数据格式，只能够在有限的几种硬拷贝设备上输出，如I^2S600系统，只有在C4500扫描仪上输出的接口；而新一代的图像处理系统，几乎能够在任何硬拷贝设备上输出处理结果，如ER Mapper图像处理系统可以支持187种硬拷贝设备。

四、与GIS及DBMS的动态连接

地理信息系统的不断发展，使地理信息系统在遥感应用与遥感图像数字处理中的作用越来越突出，遥感与地理信息系统的结合更加紧密。新一代的遥感图像处理系统已经考虑了与地理信息系统的动态连接问题，遥感图像处理系统能够方便地读取和处理地理信息系统的数据，也可以将遥感图像处理的结果按照地理信息系统的格式输出到别的地理信息系统中，如ER Mapper,ERDAS,PCI等新一代遥感图像处理系统已经解决了这个问题。

遥感应用与分析是一项系统工程，在遥感图像数字处理与解译中，用户有时还需要调用已经建立起来的其它专题数据库。因此新一代遥感图像处理系统采用的是一种开放式结

构，可以与 DBMS 动态连接，如 ER Mapper 图像处理系统就能够与 Oracle 动态连接。

五、用户界面与用户意识

用户界面友好是所有应用软件的追求目标，新一代遥感图像处理系统软件基本都向窗口环境靠拢，一般都是在 X-WINDOW 下运行。对于用户来说，存在着两个几乎是矛盾的要求，一是系统好学好用，另一个是系统能够很容易地实现用户的一些复杂的算法设计。在这个问题的解决方面 ER Mapper 似乎是个典范，ER Mapper 界面友好，操作简单，掌握了一些最基本的图像处理与遥感知识的人就能够在很短的时间内学会并利用它来开展专题研究。ER Mapper 还推出了一个称之为"算法"的功能，使用户能够对标准处理进行编辑修改以达到复杂处理的目的。

第六章　VAX／VMS 操作系统

VAX 机是美国 DEC 公司（Digital Equipment Corporation)所生产的，自 70 年代问世以来已发展到自小型机到大型机、工作站以及个人电脑等各个系列，VAX 机在世界各地许多应用领域得到了广泛应用。作为世界上公认的优秀机型，已在我国安装各种型号的 VAX 机数千台。由于 VAX 机硬件和软件资源丰富，具有开发各个领域的应用系统所必须的良好开发环境，因而 VAX 机在遥感图像处理系统和地理信息系统中占有很重的位置。据有关文献[25,26]统计表明，到 1992 年为止世界上大部分遥感图像处理系统和地理信息系统都把 DEC 产品作为主要硬件平台。

VAX 系列机的主流操作系统是 VAX／VMS（Virtual Memory System），这是一个从 Micro VAX 到 VAX 所有系列全面兼容的操作系统，而且在其不断的发展中仍保持着兼容性，并增强了开放性。VMS 充分利用了 VAX 硬件与体系结构提供的强有力支持，功能完善，手段灵活，用户界面良好，是当今世界上最具代表性的操作系统之一。文献[25]统计表明 1992 年 GIS 用户选用 VMS 为操作系统的占 14%，虽低于 DOS 的 39%，但与 1990 年相比 DOS 用户在下降，而 VMS 用户却增加了 3%。VAX／VMS 是多用户、实时、多作业流、多道程序的虚拟存储操作系统，它为用户提供了标准的 DCL 命令语言(Digital Command Language)进入 VMS 操作系统。掌握了利用 VAX／VMS 操作系统功能，在任何 VAX 机型上都可以运用自如。

这章选择 VAX 机作为实例介绍开发图像处理应用系统和使用 VAX 系统需要利用的一些系统资源极其基本的使用方法。

第一节　访问系统

为了在 VAX 机上工作，首先要在终端上访问系统。所谓访问系统，就是用户与系统建立联系，以便用户使用系统资源。这样在用户首次上机前一定要向系统管理员提出申请，经管理员在操作系统中为用户建立一个授权记录后（即给出用户名、口令、用户目录及特权），该用户便可根据系统管理员提供的用户名和口令向系统注册。

一、注册过程

注册程序为：

- 打开终端电源
- 在终端键盘上打入 RETURN 健
- 屏幕上出现响应提示：

  Username:（用户名）　打入用户名，然后再按 RETURN 键

  Password:（口令）　打入口令，再按RETURN(当打入口令时，系统为用户保密，不显示打入的口令字符)

当打入的用户名及口令和系统记录中相匹配，则显示通知性消息，接着出现 DCL 命令的提示符(通常是 $)，说明注册成功。否则，显示出错消息，并且不允许访问系统，在

拒绝访问系统的情况下，可再次注册。如果几次都不成功，就应该请系统管理员解决。

二、注销过程

当结束终端会话需要退出系统时，要发出一条 DCL 命令退出系统。

在 DCL 命令提示符（$）下打入命令 LOGOUT 并按下 RETURN 键：

```
$ LOGOUT <RETURN>
```

系统出现提示，表明系统退出成功。

第二节　如何使用命令语言

作为一个交互用户，同系统通讯的手段是在终端上键入命令，DCL 命令象任何语言一样，命令语言有它自己的词汇和语法规则，词汇的组成：

- 命令
- 命令可选项
- 命令限定词
- 参数
- 参数限定词

使用这些字可以完整地规定一条希望执行的操作。举例说明："显示进程的特权"

```
$ SHOW PROCESS/PRIVILEGES <RET>
```

在上面命令中，"$"是系统提示；SHOW 是所要执行的命令；PROCESS 是命令的可选项；"/"是限定词分界符；PRIVILEGES 为命令限定词；<RET>是命令串结束符，即回车键，下同。

如果需要执行一个打印操作，可键入如下命令：

```
$ PRINT FILE1/COPIES=2
```

命令中 FILE1 是参数；COPIES 参数限定词；数字 2 为限定词。

此命令的意思是在打印机上打印文件名为 FILE1 的两份副本，而不是通常的一份副本。

如果想打印 FILE1 及 FILE2 各两份副本，可发出如下命令：

```
$ PRINT/COPIES=2 FILE1,FILE2 <RET>
```

除了类似英语的词汇及语法规则外，DCL 还有一些附加的约定：

(1) 命令、命令可选项及参数之间用一个以上的空格隔开。

(2) 限定词和命令及参数之间用斜杠（/）隔开。

(3) 文件说明各参数之间用逗号隔开。

(4) DCL 可用缩写命令，缩写要求不多于 4 个字符。例如：

```
$ LOGOUT
$ LOGO
$ LO
```

这些都是等效的。

DCL 命令还有一个重要的特点就是它的 HELP 实用程序，在 HELP 实用程序中将得到 VAX/VMS 命令及它们的限定词的信息，这样当使用 DCL 命令遇到困难时，便可

以借助 HELP 来解决。

HELP 的调用方式为:

$ HELP <RET>

屏幕上出现 DCL 命令表，可以选择自己需要查询的命令,例如:

$ HELP COPY <RET>

键入这个命令，屏幕上将显示 COPY 命令的所有限定词和参数。退出 HELP 实用程序时，用户请打入<CTRL/Z> (按住 CTRL 的同时，打入 Z)。

第三节 用户的工作环境

当在 VAX/VMS 系统上开始工作时，就进入一个由设备、程序和数据提供的工作环境。这个环境由以下软、硬件成分组成:

- 终端，通过它与系统通讯
- 交互过程，由它提供工作环境
- DCL 解释程序，由它转换键入和调用程序需要执行的指令
- VAX/VMS操作系统监视用户活动，处理所有的与物理设备的通讯，确保用户之间共享系统资源
- 可以使用的外部设备
- 可以使用的程序和实用程序

工作环境的初始状态是由用户和系统管理员定义的，系统管理员在用户授权文件(UAF)中设置信息以便操作系统能识别用户，用户授权文件记录说明包括:

- 允许用户执行那些操作
- 允许用户消耗多少系统资源
- 怎样迅速地执行用户每个请求

当在系统注册时，系统便建立了一个交互过程，以确定用户在系统上工作时的环境。进程 (Process)是在 VAX/VMS 系统上活动的基本单位，每一个进程有一个唯一的进程识别码 (PID)，可用于识别用户从注册到注销的时间。

用户进程的每个信息都称为进程参数。它们包括:

- 帐户名
- 缺省设备及目录说明
- 交互终端
- 口令
- 进程识别码 (PID)
- 进程名
- 用户识别码 (UIC)
- 用户名

除了这些信息参数外，任一交互进程还有三组参数:

- 优先级
- 特权

· 资源限制

进程优先级决定了系统对用户的 DCL 命令响应的快慢程度，进程特权决定系统允许用户执行 VAX / VMS 系统的那类保护功能，资源限制是系统允许用户消耗多少资源。

一般说来如无特殊需要，用户均为"非特权"用户，优先级均为 4 级，而资源限制则要根据用户的需要和设备的实际情况由系统管理员和用户协商而定。

如果用户想要了解自己的工作环境，可以发出如下命令:

```
$ SHOW   PROCESS / ALL
```

在终端上出现以下信息:

注册时间　　终端号　　USER:　用户名

PID:识别码　　PROC.NAME:进程名　　UIC:用户识别码

PRIORITY:优先级　　DEFAULT FILE SPEC.:缺省设备及目录说明

PROCESS QUOTA: 资源限制

.....

PROCESS PRIVILEGES: 进程特权

TMPMBX:表示可打印作业文件或提交批处理作业

NETMBX:表示可在网络上通讯。

表 6-1 给出了显示用户的终端、进程及系统特性的命令。

表 6-1　用户终端、进程以及系统特性查询命令一览表

VAX / VMS 命令及可选项	说　　明
SHOW TIME	显示时间
SHOW TERMINAL	显示终端特性
SHOW PROCESS	显示进程参数
SHOW PROCESS / QUOTA	显示进程资源
SHOW PROC / PRIVILEGES	显示进程特权
SHOW QUOTA	显示缺省设备上可使用的空间
SHOW SYSTEM	显示系统上正在运行的进程
SHOW USER	显示当前注册的所有的用户名
SHOW DEVICES	显示系统上的设备
SHOW DEV / ALLOCATED	显示已分配的设备
SHOW DEV / MOUNTED	显示已安装的设备

第四节　文件管理及其处理命令

为了完成需要处理的任务，用户必须具备 VAX / VMS 系统上管理文件的能力。

文件管理系统是 VMS 操作系统的一个特点，而文件管理系统的功能是什么呢？用户必须对此有所了解。

在 VAX / VMS 系统中文件管理的基本功能有三种:

· 目录功能，保证系统或用户随时查找、调用所指定的文件

· 复制功能，提供各种工具对文件的内容进行增加、删减、显示、打印等

· 后援功能，以保证文件的存储安全和管理磁盘存储空间

用户不仅可以利用编辑程序或 DCL 命令 CREATE 来建立文件，还可以在程序运行时建立文件。

文件管理系统的管理功能是通过把它所管理的软件资源（程序和数据）组成一个个文件方式来实现的。

文件按性质和用途大致可分为三大类:

1）系统文件。由操作系统及其它系统程序的信息组成的文件，此类文件对用户不直接开放，只能通过操作系统调用为用户服务。

2）库文件。由标准子程序及常用的应用程序组成的文件，允许用户调用，但不允许用户修改。

3）用户文件。由用户委托系统保存的文件。如源程序、目标程序、原始数据计算结果等组成的文件。

为了调用文件，需要提供文件说明（file-spec)来唯一识别一个文件。

一、VAX / VMS 中的文件说明形式

VAX / VMS 中一个完整的文件说明形式如下:

设备:[目录]文件名;版本号　例如:

dua1:[user]Yang.for;2

上述命令中，dua1 是设备名（磁盘）；[user]表明文件所在目录；Yang 是文件名；for 表示该文件是一个 fortran 源程序；2 表示文件的版本号是 2。

一个完整的文件说明应当包括如下参数:

- device(设备）——文件的存储设备的物理名，用":"号表示设备名的结束
- directory(目录）——目录用来编目文件，目录必须用"[ ]"括起来
- filename(文件名）——由用户选定的用来指定一个文件的名字
- filetype(文件类型）——又称文件扩展名。用"."表示文件类型的开始
- version（版本号）——用来区分同类、同名文件的不同版本，每当一个文件被存储或修改时，版本号自动加 1，用";"表示版本号的开始

二、文件说明中的缺省

从以上介绍可以看出一个完整的文件说明是相当烦而又十分冗长的，为了使用方便而又不至于引起混乱，VAX / VMS 对文件说明中的各个字段（除文件名外）均作了缺省规定。也就是说当用户提供的文件说明不完整时，省略部分按系统缺省执行，文件说明缺省规定见表 6-2。

表 6-2　文件缺省规定一览表

文件说明部分	缺 省 规 定
设备	用户注册时指定的设备
目录	用户注册时指定的目录
文件类型	随 DCL 命令而定
版本号	通常为最高版本

当用户注册进系统时，缺省目录是最高层目录，用户可以查看自己的缺省目录或改变

缺省目录。

表 6-3 给出了有关管理缺省目录中文件的命令:

表 6-3 缺省目录中的文件管理命令一览表

命 令	操 作
$ DIRECTORY	列出缺省目录中所有文件
$ DIR 文件说明	检查指出的文件是否存在
例: DIR QIN.FOR	检查是否存在 QIN.FOR 文件
$ DIR / FULL 文件说明	显示指定文件的全部信息
例: DIR / FULL QIN.FOR	
$ DIR / SIZE = ALL	显示所有目录中文件的大小
$ DELETE 文件说明	从目录中清除一个文件
例: DEL OLD.DAT;2	删除 OLD.DAT2 号版本文件，版本号不能省略
$ PURGE	清除所有版本，仅保留最高版本
$ COPY	拷贝（复制）一个或多个文件
例: COPY W.FOR Y.FOR	将 W.FOR 拷贝到 Y.FOR 中
COPY *.FOR [.USER]	将 FOR 文件拷贝到子目录[.USER]
$ CREATE / DIR	建立一个新的目录或子目录
例: CREATE / DIR [.USER]	在当前目录下建立一个子目录[.USER]
$ TYPE 文件说明	在你的终端上显示文件
例: TYPE XL.DAT	显示 XL.DAT 文件
$ PRINT 文件说明	在打印机上输出一个或多个文件
例: PRINT QJ.DAT	打印 QJ.DAT 文件
PRINT / DEV = TTD5 QJ.DAT	在 TTD5 打印机上打印文件: QJ.DAT

以上列举的 DCL 命令，还有许多限定词未给出，可以调用 HELP 命令来进一步学习了解更多限定词的用法和意义。

三、文件保护概念

在系统中通常存放着大量的文件，VAX / VMS 系统对这些都提供了一定的保护，这种保护是通过用户标识符（UIC）和保护码来完成的。

当每个文件建立时，系统都赋于保护码，保护码决定谁能够做如下操作:

- 读文件
- 修改文件
- 执行文件
- 删除文件

缺省保护码由系统提供并在系统管理员的控制之下。

保护码由四部分组成，对应着四种用户类型:

例: 保护码 (S:RWED,O:RWED,G:RE,W)

其中，S 代表 SYSTEM——系统用户； O 代表 OWNER——文件主； G 代表 GROUP——同组用户； W 代表 WORLD——外部用户。

R、W、E、D 分别代表四种文件使用权:

- READ(R) 表示可以读、打印、拷贝文件

• WRITE(W)　表示有修改、写入的权利

• EXECUTE(E)　表示对执行映像有执行的权利

• DELETE(D)　表示对文件有删除的权利

上述保护码对各种类型用户的权利规定为:

系统用户（S)：允许读、写、执行、删除

主权用户（O)：允许读、写、执行、删除

同组用户（G)：允许读、执行

外部用户（W)：不允许执行任何操作

在建立文件和目录时，如果用户不指定其保护码，系统自动将缺省保护码赋给该目录或文件。

下面给出用以确定和改变文件保护码的 DCL 命令（要改变文件的保护，操作者必须是该文件的主人或具有系统特权)。

$ SHOW PROTECTION　　显示赋于文件的保护码

$ SET PROT=(代码) /DEFAULT　　改变赋于文件的保护码

例: $ SET PROT=(O:RWED,G:RWED,S:R,W:R)/DEF

上面这个例子是操作者将保护码修改为自己和同组用户可以读、写、执行、删除，而系统与外部用户只能读，应该注意的是尽管这样对系统用户的设置是合理的也是成立的，但系统用户一般还是最少可以执行映像文件。

例: SET　PROT=(O:RWED,G,S,W)　OLD.DAT

将文件 OLD.DAT 改变为只允许文件主读、写、执行、删除，其余三类用户不允许执行任何操作。

第五节　外部设备的使用

VAX/VMS 系统是由大量的设备填充的，通常所配备的设备主要有:

• 磁盘机

• 磁带机

• 绘图仪（滚筒式和静电式)

• 数字化仪

• 打印机

• 终端

• 图像处理系统(S600 系统)

• 图形处理子系统（VS11)

要使用某一设备，必须用设备说明向操作系统描述设备的位置。设备说明是表示单个设备或一组设备的名字。例如 LPA0:表示系统上一具体的打印机，在数字图像处理中用的最多的通用外部设备就是磁带机。

磁带机由于容量大、记录格式统一、互换性强。因此广为应用。目前使用的磁带有许多种，如果按照磁带宽度分类，主要有 1/4 英寸、1/2 英寸和 1 英寸三种；按照磁带长度分类有 3600 英尺、2400 英尺、1200 英尺和 600 英尺等，按照记录密度分类有

800BPI、1600BPI、6250BPI 几种（BPI＝每英寸记录位数）。按照磁带表面并行记录信息的道数分类有 7 道、9 道、16 道几种。遥感 CCT 大多采用的是 1／2 英寸、1600(或 6250)BPI 的 9 道磁带。

下面将介绍磁带机的使用以及如何建立用户私有卷:

建立用户私有卷的主要用途是保存用户建立的文件；将文件从一个系统送到另一个系统，并提供一个私有的工作环境。

使用磁带机的步骤如下（假定系统定义磁带机的设备名为 MSA0:):

1）设备分配。

$ ALLOCATE　设备名[:]　[逻辑名] <RET>

2）初始化磁带。

$ INITALIZE [／限定词]　设备名　卷标　<RET>

3）安装一个卷。

$ MOUNT [／限定词]　设备名[:]　卷标　<RET>

而后，可以利用设备进行读、写、拷贝。

4）卸去安装。

$ DISMOUNT／[／限定词]　设备名[:]　<RET>

5）释放设备。

$ DEALLOCATE　设备名[:]　<RET>

有关命令解释如下:

1）ALLOCATE　设备名。

例: ALLOCATE　MSA0:　<RET>

这个命令是请求分配设备名为 MSA0 的磁带机。当 MSA0:ALLOCTAE 系统响应后说明已分配 MSA0 给用户使用，可安装磁带。

2）INITIALIZE 对磁带进行初始化建立一个卷标号。

格式: INIT　设备名[:]　卷标号

例: $ INIT　MSA0: YS　<RET>

需指出的是，一个新卷或一个已用过的旧卷要重新记录数据时，都要对这个卷进行初始化，它的作用是清除原卷上的文件结构，建立一个新的文件结构，形成一个新的卷标，在初始化时必须给出卷标号，卷标号由用户自己定义。

3）安装一个卷。

MOUNT　设备名[:][,…]　[卷标[,…]]

MOUNT 命令的限定词包括:

／SYSTEM　所有用户可以访问该物理设备

／FOREIGN　表示该卷不使用 VAX／VMS 所使用的标准格式

／NOLA　表示无标记

例: $ MOUNT／FOR　MSA0:　<RET>

% MOUNT-I-MOUNTED,YS MOUNTED ON-MSA0:

表示设备已安装就绪可以使用。注意，遥感 CCT 读入时，磁带装载命令一般是:

$ MOUNT／NOLA　MSA0:

4) 释放一个用 MOUNT 命令安装的磁带。

DISMOUNT 设备名[:]

这个命令的限定词包括:

/NOUNLOAD 选择此参数表示磁带不卸载

例: $ DISMOUNT/NOUNLOAD MSA0: <RET>

5) 释放专用设备，使其返回系统，提供其它用户使用。

DEALLOCATE [设备名[:]]

例: $ DEALLOCATE MSA0: <RET>

应该注意的是: 一旦用 ALLOCATE 命令分配设备，实际上也就是独占了设备，因此在全部操作完成以后，应立刻用 DEALLOCATE 命令释放设备，以便提供给其它正在等待的用户使用。

上述命令的其它限定词可查看 HELP 命令。

第六节 常用命令列表

1) ALLOCATE 分配某设备为某一用户的专用设备，其它用户暂不能使用。

格式: ALLOCATE 设备名[:]

例: $ ALLOCATE MSA0: <RET>

将磁带机分配给某用户作专用设备。

2) DEALLOCATE 释放专用设备，使其返回系统供其它用户使用。

格式: DEALLOCATE [设备名[:]]

限定词 /ALL 使用此限定词，且不指定设备名，则表示释放所有设备。

例: $ DEALLOCATE MSA0: <RET>

3) COPY 复制文件。

格式: COPY 老文件说明 新文件说明

主要限定词有:

/BACKUP 根据最近一次拷贝时间选择文件

/BEFORE[=时间] 拷贝指定时间以前建立的文件

/SINCE[=时间] 拷贝指定时间以后所建立的文件

例: $ COPY XL.FOR;2 QJ.FOR;1 <RET>

4) CREATE 建立一个或多个顺序磁盘文件或定义一个新的目录或子目录。

格式: CREATE 文件说明

限定词包括:

/DIRECTORY 建立目录

/LOG 显示建立目录的说明

/PROTECTION=代码 建立目录的保护码

例: $ CREATE/DIR [.SLJ] 建立一个名为 SLJ 的子目录

$ CREATE/DIR [.SLJ]=(O:RWED,G:RWED,S:R,W)

建立[.SLJ]子目录，目录的保护允许同组和文件主进行读、写、执行和删除，系统用

户只能读，其它用户不能进行任何操作。

5) DELETE　从磁盘卷上删除一个或多个文件。

格式:　DELETE　文件说明[,…]

命令的限定词有:

/ BEFORE(=TIME)　规定在特定日期之前的文件被删除

/ SINCE(=TIME)　规定在特定日期之后的文件被删除

/ LOG　显示被删除的文件

例: $ DELETE　*.OBJ;*　删除所有版本扩展名为 OBJ 的磁盘文件

6) DIRECTORY　显示一个文件或有关一个文件或一组文件的信息。

格式: DIRECTORY　[文件说明[,…]]

命令限定词主要包括:

/ DATE [=任选项]

ALL，从左到右依次列出每个文件的CREATED,MODIFED,EXPIRED,BACKUP 的日期

CREATED 列出每个文件的建立日期

MODIFED 列出每个文件的最后修改日期

EXPIED 列出每个文件的期满日期

/ FULL　列出每个文件的详细情况

/ TOAL　列出文件的总计

例: $ DIR　<RET>　列出缺省目录下面的所有文件

$ DIR / FULL　YS.FOR 列出 YS.FOR 的详细情况

7) DUMP　用 ASII 码、十进制、十六进制、八进制等形式显示一个文件或一卷文件的内容。

格式:　DUMP　文件说明 [,…]

8) PRINT　打印文件。

格式:　PRINT　文件说明[,…]

命令限定词有:

/ DEVICE=设备名[:]　在指定的设备上打印

/ QUEUE=队列名　在规定设备上打印，与 / DEV 限定词同义

/ COPIES=N　指定打印文件的份数

例: $ PRINT / COPIES=2 / DEV=TTC1:　XL.FOR在TTC1打印机上打印 2 份文件 XL.FOR

9) PURGE　删除文件所有版本，除指定保留版本外。

格式: PURGE　[文件说明，[,…]]

限定词:　/ KEEP=N　保留第 n 本（缺省为最高版本）

例:　$ PURGE / KEEP=4　QJ.COM　保留版本 4，删除其它版本

10) RENAME　改变文件说明。

格式:　RENAME　老文件说明[,…]　新文件说明

例:　$ RENAME　TA.FOR　TV.FOR　<RET>　将文件TA.FOR 改

名为 TV.FOR

11) SET DEFAULT 更换现行进程的缺省设备和目录名。

格式: SET DEF 设备名[:]

例: $ SET DEF [.COM] <RET> 置当前缺省到.COM 子目录级

12) SET PASSWORD 允许用户更换自己的口令。

例: $ SET PASSWORD <RET>

OLD PASSWORD: 输入旧的口令

NEW PASSWORD: 输入新的口令

VERIFICATION: 再输入新的口令

为了用户保密，口令输入时，屏幕上并不显示所输字符。

13) SET PROCTION 建立文件保护。

格式: SET PROTECTION[=(代码)] 文件说明[,…]

例: $ SET PROT=(S,O,G,W) ABC.DAT;3 <RET>

此时，用 DELETE 命令不能删除文件 ABC.DAT;3.

14) TYPE 在终端上显示一个或多个文件的内容。

格式: TYPE 文件说明 [,…]

例: $ TYPE QJ.DAT <RET> 在终端上打印显示 QJ.DAT

15) SHOW 终端显示现行进程状态、系统及设备的有关信息等。

格式: SHOW 选择项

选择项规定终端上将显示的信息内容，利用 SHOW 可以查看的信息内容主要包括:

DEFAULT	显示缺省目录
DEVICES	显示当前设备
MEMORY	显示存储器的系统资源
LOGICAL	显示逻辑名表
PROCESS	显示进程名
PROTECTION	显示文件保护
QUEUE	显示对列名
SYSTEM	显示系统中进程及其状态的列表
QUOTA	显示磁盘份额
TERMINAL	显示终端特性
TIME	显示时间
USER	显示用户名、终端名、进程标识码
WORKING-SET	显示进程工作集的定额

例: $ SHOW QUOTA 显示磁盘份额

$ SHOW DEFAULT 显示当前目录

以上列举的 DCL 命令，是遥感数字图像处理过程中经常要用到的一些基本命令，这些命令仅仅只占 DCL 命令的一小部分，实际工作中，若需要用到别的命令可以求助于系统中的 HELP 实用程序。

第七章 I^2S600 数字图像处理系统

I^2S600系统是一个多用途的数字图像处理软件包，我国地矿、石油、核工业以及煤炭等行业的科研与教学部门在80年代从美国引进了十几套I^2S的图像处理系统。I^2S图像处理系统仍是我国目前遥感图像数字处理用得最多的图像处理系统。这个系统的图像主机一般采用VAX系列机或其兼容系列机。I^2S图像处理系统有S101、S575、S600等，S600图像处理系统比S101、S575增加了许多的命令和功能。由于I^2S 600系统完全保留了S101与S575系统的功能与命令，掌握了S600系统，对于其它系统也就有了一定程度的了解。本章将根据I^2S所提供的资料并结合作者多年来利用S600系统进行遥感图像数字处理的教学与科研实践的体会，介绍一下S600系统的基本构成、S600的功能以及S600系统的操作使用。

第一节 S600图像处理系统的主要硬件配置

S600图像处理系统的构成与其它图像处理系统的构成基本相同。主要组成部分见图7-1。

一、图像系统的主计算机

S600系统的主机一般选用VAX系列机。硬件系统的主要构成是：

1）计算机（Host Computer)。以VAX机为例，S600系统对于计算机的基本要求有：VAX／VMS的版本不得低于4.0；计算机的内存容量不得少于2MB。

2）磁带机（Tape Driver)。S600系统要求计算机系统至少有一台以上的1600BPI或6250BPI的磁带机。用作图像的输入与输出设备。

3）行打印机（Line Printer)。用于图像处理过程中的各种数据、表格的输出。

4）终端机（Terminal)。由于图像处理系统为多用户系统，因此需要配置一定数量的用户终端实现资源共享。

二、专用图像处理设备部分

1）图像处理机(Image Processor)。S600系统的图像处理机是MODEL 75其硬件的基本构成将在下面详细介绍。

2）视频输入部分（Video Input System)。主要包括视频记录器（VTR)、照相机(Camera)、扫描仪(Scanner)。

3）视频输出部分（Video Output System)。主要包括图像显示器或称视频显示器(Video Moniter)、照相输出系统(Photographic Output System)、绘图仪输出部分（Plotter Output System 如彩色静电绘图仪)。

三、交互控制部分(Interactive Control System)

1）与主机(VAX)相连的终端(Terminal)。

2）跟踪球（Trackball)及操作面板。

对于这些硬件配置，有些是构成最小系统所必须具备的。如，主机，磁带机，打印

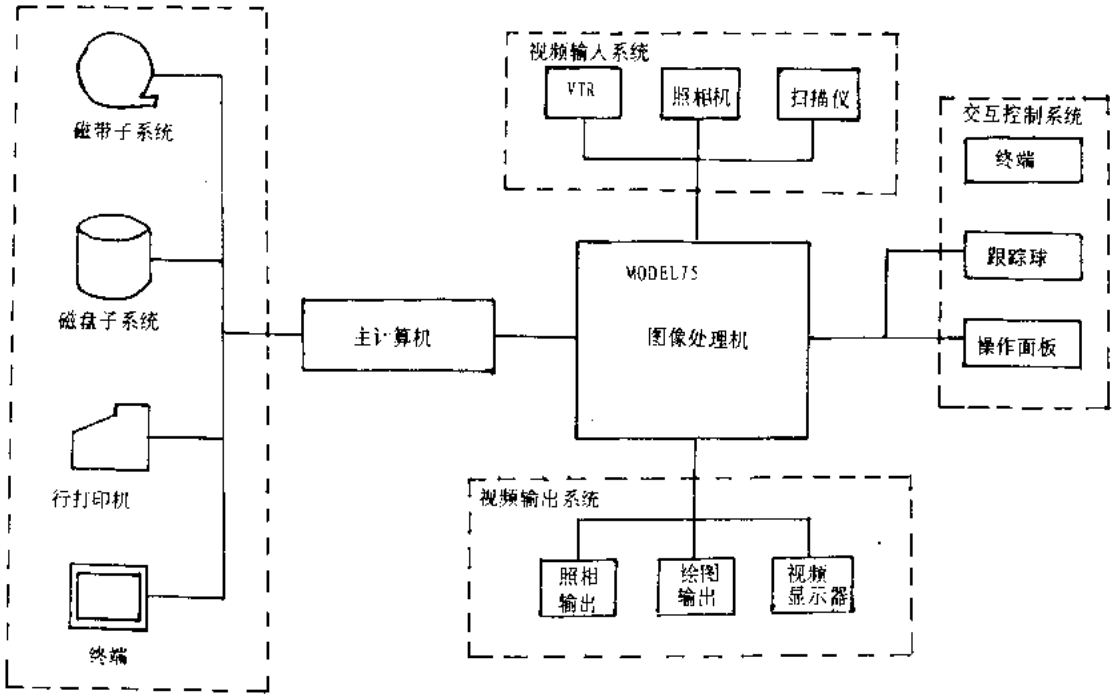


图 7-1　典型的图像处理系统的构成

机，终端，图像处理机 MODEL 75 等。有一些并非不可缺少，如扫描仪等。S600 图像系统的专用处理机其硬件组成如图 7-2，下面择其主要的部分简要介绍之。

1）PMA(Parameter Memory Adressing)参数存储器地址映射部件。用于从（或向）更新存储器快速存取窗口数据或向量数据。

2）RM(Refresh Memory)更新存储器。更新存储器用于存放图像数据。

3）LUT(Look Up Tables)查找表。用于更新存储器中的视频数据的功能转换。

4）OFM(Output Fuction Memories)输出功能存储器。用于把输入数据转换为红、绿、蓝数据流，低 8 位传输到 D／A 转换器。

5）IFM(Input Fuction Memory)输入功能存储器。用于把 12bit 图像数据转换成 8bit 数据传送到更新存储器（RM)或图形存储器。

6）Feedbak 控制寄存器。

7）Zoom Register 放大寄存器和 Scroll register 翻卷寄存器。

8）Videometer 视频标尺。

9）Sum Processor 和处理器。

10）ALU(Arithmetic Logic Unit)算逻部件。用于算术和逻辑运算。

11）Programable Cusor／tablet 可编程光标／图形面板。

12）DLP(Display List Processor)显示列表处理器。

13）Trakball／Keypad 跟踪球与小键盘。

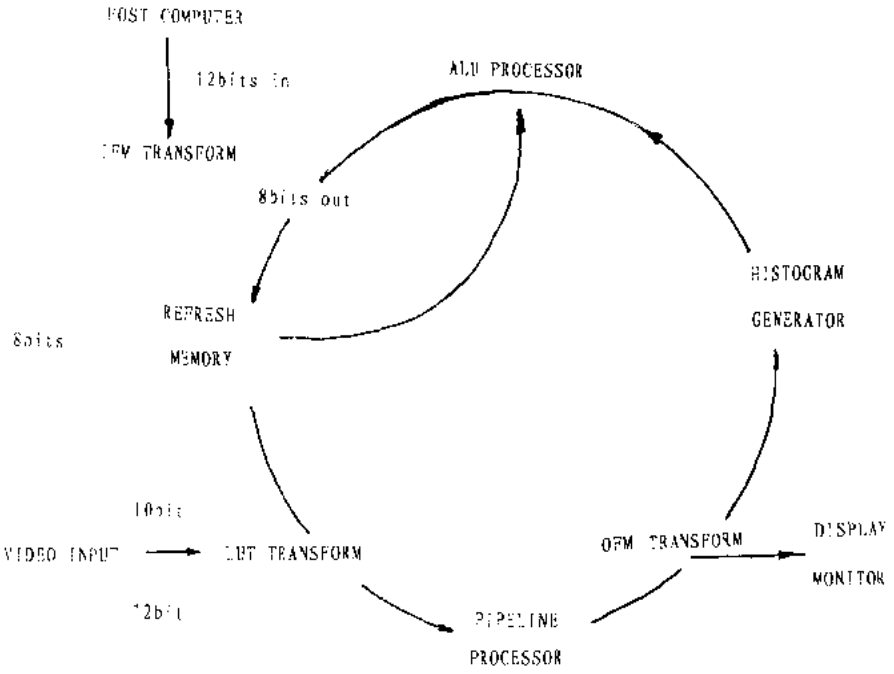


图 7-2　MODEL 75的硬件组成

14）Video Digitizer 视频数字化器（即照相机输入部分）。

第二节　S600 系统的主要功能模块

S600 系统图像处理程序及管理程序按照模块进行管理，各个模块功能各异，但相互支持。一个完整的 S600 系统由下面一些模块组成。

一、核心模块（Core Module)

核心模块保证系统基本功能的实现。如屏幕界面，目录管理，I／O 子系统，多作业管理及设备管理。

二、基本图像处理模块（General Image Processing Module)

主要包括一些基本的图像处理功能。如图像显示与检查，图像统计，放大运算，辐射校正，几何与光谱空间变换，图像平面管理。基本模块需要核心模块的支持。

三、高级图像处理模块（Advanced Image Processing Module)

这个模块提供更进一步的图像处理和分析。功能包括逻辑运算、比值、KL 变换、立体显示及等值线。高级处理模块需要核心模块和一般模块的支持。

四、图像分类模块(Image Classification Module)

这个模块提供多光谱数据的分类处理。主要包括训练区的定义，训练区统计值的观测和编辑，监督分类和非监督分类等。分类模块需要核心模块和一般处理模块的支持。

五、与地图配准模块（Map-Based Registration)

用于图像与地图的配准运算。主要包括图像与地形图控制点选择、控制点对多项式配准分析、控制点编辑、地形图立体显示。这个模块需要核心模块与一般处理模块的支持。

六、高级滤波模块（advanced filtering module)

执行空间域和频率域滤波。包括傅立叶正逆变换、Walsh-Hadaman 变换、Prewitt 卷积、roberts 梯度、Sobel 梯度、Tukcy 中值滤波、频率域的指数滤波和高斯滤波。图像恢复、去模糊、加噪声、模式消去等。

七、地理数据输入系统（Geographic Data Entry System-GDES)

该系统完成地图上点、线、面等的数字化。GDES 需要核心模块的支持。

八、自动制图系统（Automatic Mapping System-AMS)

该系统提供建立、维护、管理地理数据库的能力。

九、地理信息系统（Geographic Information System-GIS)

它可以对空间模型进行便利的分析及多边形处理。

十、数据库信息系统（Data Base Information System-DBMIS)

该系统可方便地与图像或地图相关的表格数据集进行存储和重新获取。

十一、网络控制系统模块（Network Control Module)

提供主机之间，系统之间的通讯。

第三节　S600 系统的操作使用

一、如何进入与退出 S600 系统

要进入 S600 系统，首先需进人具有图像环境的用户帐号即先要进行用户登记（这一部分内容已在第六章介绍过)。当系统提示符（一般为"$"）出现后即可进人 S600 系统。进人 S600 系统有两种方式：DE（Display Executive-显示运行）方式与 BE(Background / Batch Executive-背景 / 批运行）方式，可供用户选择。选择 DE 方式就是在"$"下敲入 DE 与回车键，选择 BE 方式就在"$"下敲人 BE 与回车键。假定现有一帐号，用户名（username）是 USSR，命令字（passwoord)是 USA,现在要从这个帐号进人 S600 系统的 DE 运行方式，其步骤是：

- 打开终端电源，并键入 RETURN 键
- 待屏幕上出现 uscrname:时，键入用户名 USSR 和回车键 RETURN
- 待屏幕上出现 password:时，键入口令字 USA 和回车键
- 待屏幕上出现 VMS 提示符 $ 时，键人 DE 和回车键

完成上述操作后，终端屏幕变为图 7-3 状态，这表明用户已经进入了 S600 系统。

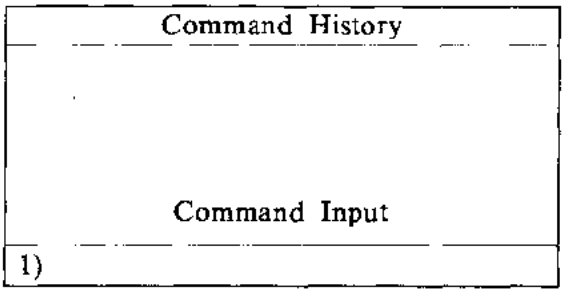


图 7-3　DE 运行模式的屏幕窗口(1)

从图 7-3 可看出，进人 S600 的 DE 运行方式状态，显示器屏幕就被分为两部分，其

上半部是命令历史即前面已执行完的命令，下半部分是命令的输入部分，用于命令提示、命令的输入及系统向用户发送信息。为了更好地了解命令历史和命令输入部分的意义，图7-4给出了在执行三条命令：1)system'allocate m75、2)m75'display a b、3)m75'scale b之后的屏幕显示内容。从图中可看出命令历史部分显示了已执行完的三条命令，命令输入部分显示下一个执行的命令是第四个，S600系统正处于等待状态，用户已输入m75'sel作为下一个执行功能。

退出S600系统是在S600提示符下键入System'quit与回车键，例如，图7-4在执行第四条命令之后，命令输入部分出现"5)"此时键入system'quit就可以从S600的运行状态返回到VMS。

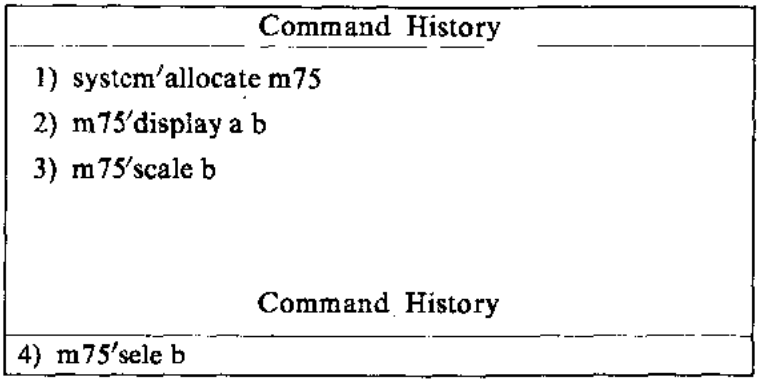


图7-4 DE运行模式窗口(2)

二、S600命令语法

在S600系统中，任何一个图像处理功能的完成都可以通过输入完整命令的方式来进行。因此，要利用S600系统进行遥感数字图像处理就必须掌握好S600命令的语法格式。所有S600命令具有相同的格式：由命令字和操作数两部分组成，命令字和操作数具有一系列的限定词。命令字指明命令将要干什么，操作数表示命令作用的对象（一般是图像）。下面通过一实例来加以说明，如命令行：

5) m75'feedback / color = yes a1

"5)"表示系统提示符；m75'feedback是命令字，表示这个命令的作用是反馈图像；"/"是命令与限定词之间的分隔符（限定词与限定词之间分隔符也是/）；Color是命令的限定词；yes是限定词color的值；a1是操作数也就是命令的作用对象。这个命令要完成的功能是：反馈显示器上现有图像并生成一幅驻留MODEL 75的彩色图像a1。

1）命令。S600的命令语法格式是：

命令/[限定词] [操作数1[限定词]] [操作数2[限定词]]……

此处，方括号表示任选项。任选项表示在命令行输入时参数可以省略而由系统提示菜单输入。有关菜单使用将在本节第四部分介绍。此处介绍的命令都是完整的命令行。下面这个命令就是一个完整的命令行：

6) cpu'add / weight = (1,-1,1) a,b,c d

这个命令的功能是完成d = a-b+c。此处，cpu'add是命令名，这个命令的功能是求和，weight是这个命令的限定词，a,b,c是输入操作数，d是输出操作数。

2）操作数。操作数指定了命令的作用对象，多数情况下，操作数是图像，操作数的

集合就构成了操作集。第一个操作集是输入操作集，第二个操作集是输出操作集，操作集内的操作数之间用逗号隔开，操作集与操作集之间用空格隔开。下面给出一个有关操作集使用的完整命令行。

15) cpu′add a,b,c,d e

这里，命令名是 cpu′add，功能是图像求和运算，其输入操作集由 a,b,c,d 四个操作数组成，它们之间是用逗号隔开的，输出操作集只有一个操作数即 e，输入与输出操作集之间用空格隔开。

需要指出的是 S600 系统中有许多命令只有输入操作集而无输出操作集。例如命令：

m75′ratio a,b,c,d

3) 限定词。限定词规定命令或操作数的执行动作。其格式是：

/标识符[=值]

命令限定词的值有六种基本类型：①整型常数（如 size= (3, 3)）；②实型常数（如 kernel= (1.3, -1.3)）；③字符串（如 anno="ok"）；④布尔值（yes 或 no）（例如 color=yes）；⑤数据类型说明（bit, byte, short, int, real, double, complex）（例如 out__dtype=byte）；⑥文件标识（如 prepare__file=ok）。

三、S600 文件

S600 一般用户接触到的文件是图像文件和命令文件。S600 使用的文件形式是：

文件名.扩展名；版本号

例如：tm1.image;2 copy.com;5 都是标准的文件。S600 中对文件进行操作时，如果不指定版本号，则系统自动设定为文件的最高版本。

1) 图像文件。图像文件是扩展名为.image 的数据文件，S600 中图像文件是包含四个维的数据集即：采样 (x),行(y),波段(z),时象(w)。要想了解一幅图像文件的大小和内容可以使用如下命令：

25) system′dir/full 图像文件名

2) 关于取图像的子区和间隔采样。一幅遥感影像数据量往往很大，在实际处理工作中，常常需要对一幅图像取子区（取图像中的一部分）或对图像进行间隔采样。S600 中对一幅图像选子区和间隔采样的格式是：

图像名(x-list;y-list;z-list;w-list)

x,y,z,w 就是前面提到的维数，如 tm(B:E#512;b:E#512;1 2 3)。进行图像文件维操作的限定词有：

"( )"子区表示符，用于把 x,y,z,w 的四维表列括起来；";"维分隔符;"to"、"t"、":"绝对数值分隔符；"for"、"f"、"#"等价为相对数值分隔符；"step"、"s"、"@"为子区增值；"begin"或"b"维首元素；"end"或"e"维尾元素；下面通过一些实例来说明维操作限定词的意义和使用：

例 1 1) m75′display tm(1:1024@2;1:1024@2;1 3 5) tmcolor

命令的功能是将磁盘图像 tm.image 左上角 1024 * 1024 大小的区域按照以 2 为步长间隔采样，取其 1、3、5 波段，形成一幅显示图像 tmcolr.image，其大小是 x×y×z×w=512×512×3×1。在上面的命令行中冒号":"可以用 to 或 t 代替；@可以用 step 或 s 代替；b:1024 可以代替命令行中的 1: 1024。

例 2　2) cpu'copy　tm(b:e#512;b:e#512)　tmok

上面命令把 tm.image 整幅图像复制为一行（x)是 512，列(y)是 512，波段，时象不变的磁盘图像 tmok.image。从这个实例中还可以看出，不进行操作的维的表列可以不列出只需写出维分隔符即可，如果某维后的其它维不改变，则它以后的表列都可以省略，如上面的 z 维与 w 维表列都省略了。如果上面的复制要求不改变 sample(采样）大小，则上面命令可以改为：

例 3　3) cpu'copy tm(; b:e#512)　　tmok

3）命令文件。命令文件是扩展名为.com 的文件，命令文件是由一系列命令组成的，调用执行命令文件时，需要在文件名的前面加"@"。下例是一个命令文件 ok.com:

```
system'allocate　m75
system／full　dir
deallocate　m75
quit
```

在 DE 运行模式中，调用 ok.com,可以发如下命令：

12) @ok

执行这个命令相当于依次执行命令文件中的四个命令。

四、提示菜单

S600 中有三种菜单，这里只介绍用户经常要遇到的两种菜单：提示菜单和跟踪球菜单。大部分 S600 命令都有提示菜单，而跟踪球菜单仅限于 MODEL 75 显示命令。每个命令的菜单是不同的。

1）提示菜单。表 7-1 是一个命令菜单实例，

表 7-1　Piecewise 命令菜单

菜单提示	限定词（或操作数）	用户输入
"input images?"	输入操作数	TM <RET>
"output image?"	输出操作数	TM1 <RET>
"Piecewise breakpoint pairs (0,0,255,255)"	/ break-points	<RET>(取缺省值)
" ROI Combination string defing region in which to take histogram(use entire image)?"	/ iblotch	<RET>(取缺省值)
"ROI combination string for piecewise affect (do entire image)?"	/ obloctch	<RET>(取缺省值)

S600 系统中命令的执行可以用本节第二部分介绍的输入完整命令行的方式来完成。但是，对于一般的用户来说，要记住一条命令的所有限定词和取值范围是很困难的。所以实际图像处理工作中一般不采取输入完整命令行的方式而是采取：①只输入命令与回车键，根据系统菜单提示输入命令的操作数、命令限定词值，用对话的方式来完成命令的输入执行。②输入完整命令行时，在命令行后加一个"?"，可以强制一个菜单提示以便用户检查操作数和限定词值是否输入正确。

当用上述两种方法输入命令时，系统对于每个操作数和限定词都有一个提示，用于请

求输入。S600 系统为了方便用户，对于绝大多数的限定词都规定了一个系统缺省值。出现菜单提示请求输入，如果用户直接键入回车键，则系统默认限定词为缺省值。当用户根据系统要求输入操作数、限定词值时，若输入错误，系统提示出错信息，并再次出现菜单提示要求用户重新输入。表 7-1 是命令 m75′piecewise 的提示菜单、操作数和限定词以及用户输入值。

表 7-1 的执行过程如果用本节第二部分介绍的命令行方式则为:

3) m75′piecewise / break = (0,0,255,255) / interactive = y tm tm1 <RET>

下面是一个设定一 32 像元大小、红色、"+"型光标的两种输入方式

A.菜单提示输入方式

12)m75′Cursor ?

cursor size in pixels(64)?	32 (用户输入 32)
square-shaped cursor(no)?	(系统缺省值)
circle-shaped cursor(no)?	(系统缺省值)
plus-shaped cursor(no)?	yes (用户输入值)
cross-shaped cursor(no)?	(系统缺省值
blinking cursor(no)?	yes (用户输入)
blink the current cursor RAM(no)?	(系统缺省值)
red,green,blue color components for cursor(1,1,1)	1,0,0 (输入颜色为红)

B.完整命令行输入方式

12) m75′cursor / size = 32 / plus = yes / blink = yes / color = (1,0,0)

到此为止，我们已经知道 S600 命令执行方式有三种即：完整命令行方式、只键入命令根据系统提示输入操作数与限定字方式、完整命令行后面加"?"方式。

2) 跟踪球菜单。S600 中许多 MODEL 75 命令由交互式完成，在这个过程中，操作者可通过移动跟踪球或跟踪球面板按键来干预和控制图像处理过程。跟踪球菜单提示用户如何使用跟踪球及每个按键的功能。每一个命令的跟踪球提示菜单是不相同的。当需要查看跟踪球显示菜单内容时，只需轻踏脚踏板监视器上便显示菜单内容，放开脚踏板菜单消失。图 7-5 是 M75′Piecewise 的跟踪球菜单。

五、list 与 help 命令

S600 系统一共有 200 多条命令，要全部记住每个命令名及限定词是很困难的，当需要查阅 S600 系统的功能命令时，可以在 DE 与 BE 执行模式下发命令 system′list。系统在用户终端上分类打印列出 S600 系统中的所有功能命令。

如果用户对某一命令的使用或某一限定词的使用或命令执行序列不清楚时，可以在 DE 或 BE 执行模式下，调用 HELP 求助命令。格式是:

system′help 要查的命令名

当发出求助命令后，系统将在用户终端上列出这个命令的详细内容。主要包括:

1) 命令功能。

2) 命令语法。包括输入、输出操作数说明，命令限定词名及取值类型、取值范围及系统缺省值。

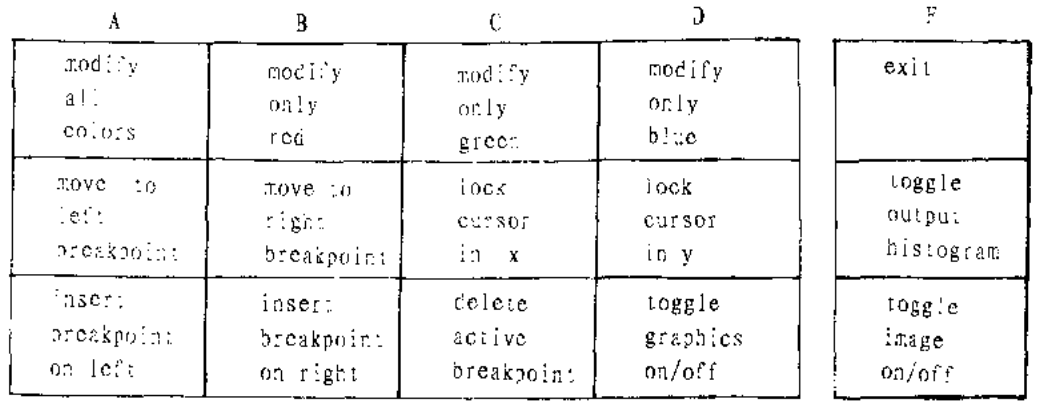


图 7–5　M75′piecewise 的跟踪球菜单

3) 命令输入实例。

4) 命令描述。功能与简单原理。

5) 限定词。每个限定词的菜单提示、取值类型、取值范围、系统给定的缺省值。

6) 与这一命令功能类似或有关的其它命令。

7) 命令的执行序列。有些图像处理工作是由一系列命令来完成的，这里将说明这些命令的执行序列。例如，当用 help 命令求助 cpu′kl 命令的使用时，就会发现 cpu′kl 命令的执行序列是：cpu′statics,cpu′kl。

六、图像目录管理与设备分配

1) 图像目录管理。S600 系统借用 VMS 操作系统的树状目录结构。与目录管理有关的命令主要有两个：一是 system′showdef,这个命令的功能是查看当前所处目录层次；二是 system′setdef，改变目录路径命令。例如现处目录层次是 dua2:[ussr.geo],若要进入下一级子目录 ok，可以发命令 system′setdef [ussr.geo.ok]，与它等效的命令是：system′setdef dua2:[ussr.geo.ok]及 system′setdef [.ok]。若要进入上一层次目录可以发命令 system′setdef [–]或 system′setdef dua2:[ussr]。

2) 设备分配。S600 系统的软件在使用硬设备前必须先对设备进行分配。例如，读带命令要用到磁带机（设备名为 tape0），因此在执行 taper′enter 命令之前，应先分配磁带机。S600 系统中分配硬设备的命令是 system′allocate,如分配磁带机，可用命令：

1) system′allocate　tape0

S600 系统对每一硬设备都规定了一个逻辑名，S600 中常用硬设备的逻辑名是：

MODEL 75 显示器–M75;磁带机–tape0;数字化仪–tdig0；扫描仪–opx0。

设备用完后应当马上释放该设备。S600 中设备释放命令是 system′deallocate 。如 system′deallocate　tape0。

七、S600 系统功能扩展

S600 系统以处理多光谱图像为其主要目的，地学图像处理与图像分析的许多方法 S600 系统不能够实现，只有扩展完善其功能才能满足一些特定专题研究图像分析的要求。S600 系统为用户功能扩展提供了一整套的工具，我们可以用 Fortran 或 C 语言编写处理程序，然后按照下列步骤将新的图像分析功能加到 S600 系统中：

1) 用 C 或 Fortran 语言编写原文件，用 600 提供的命令定义语言编写命令定义文件，命令定义文件包括命令名、命令接口、命令限定词描述等。

2) 编译原文件生成目标文件；用 vms 的 CDC 编译命令定义文件，生成命令定义目标文件，并产生到命令定义表文件的入口。

3) 用 vms 的 Buildexec 命令产生一个执行程序，并调试执行程序。

4) 将原文件及命令定义文件拷贝到 S600 指定目录。

5) 用 vms 的 Update 命令编译原文件。

6) 用 vms 的 CDC 编译命令定义文件。

7) 用 buildexec 命令重新连接 S600 并生成包括新功能命令的 S600 执行程序。

第四节　S600 系统功能命令表列

一、MODEL 75 功能命令（m75′）

add　图像相加

annotate　图像注记

average　摄像数字化（照相）输入

wilinear_zoom　双线性插值放大

binary　单波段图像二值化

boxprint　打印 16×16 窗口内像元灰度值

cluster class　聚类分析

colors　交互式产生、定义一彩色表

compass　方向滤波

constant　产生一常值图像

convolve　二维空间卷积

cpwarp　利用控制点进行几何纠正

cursor　定义光标大小、形状、颜色

delete　显示图像删除命令

directory　列目录

display　将磁盘图像送到监视器上显示

divide　两幅图像对应像元相除

draw　在图像上画线

dump_header　显示或打印图像文件头

exponential　指数变换

feedback　将监视器上的图像反馈到更新存储器

fetch　恢复和从磁盘文件读出的给定输入图像 m75 的表格内容

fliker　闪现。快速扫描多幅显示图像

gauss　高斯变换

greyscale　灰度标尺。重新设置输入图像，在长方形区域内输入一个灰度标尺

grid　在监视器上画网格

hectare　计算每类面积所占的百分数
histogram　计算并显示图像的直方图
image_edit　一维 Tukey 中值滤波
kl　kl 变换（主成分分析）
lahc　局部自适应增强
laplace　拉普拉斯变换
layout　由多幅图像经马赛克效应形成一幅平滑的输出图像
level_slice　密度分割。在显示图像上，对一定的灰度范围内的像元着色
life　寿命游戏
linearfeatures　线性特征
loadlut　加载查找表文件到查找表（LUT）中
lock　封锁。用于保护更新存储器中的图像
logrithm　对图像进行对数形式的灰度变换
loupe　放大镜功能。采用放大镜检查图像。
matrix　矩阵变换
maximum　图像最大值
mdclassify　用硬件实现最小距离分类
median_filter　二维中值滤波
minimum　图像最小值
mode_filter　二维模板滤波
multiply　图像相乘
negate　求反。图像黑白颠倒
noise　给图像加高斯噪声
palette　调色板。图像着色
pattern_removal　生成一个点传播函数或恢复核
pause　暂停
perspective　图像透视
piecewise　分段线性拉伸
points　定点。确定图像中点的行列坐标
process　处理
profile　绘制灰度剖面
pseduo_color　假彩色
quantitative measure　定量测量。处理前后图像定量比较
ratio　标准比值
register　配准
reorganize　图像重新组织
restoration　图像复原
rgb_yiq　彩色空间变换
roam　图像漫游

roberts 计算 roberts 梯度
roi 定义感兴趣的区域
rotate 旋转与放大
save 保存。把一幅更新存储器图像传输到磁盘上
scale 线性扩展
scattergram 二维频度分布图
select 选择显示一幅或多幅存在于更新存储器的图像
sobel sobel 梯度
split 屏幕分割
stash 将 m75 对照表和各控制器的内容存入磁盘
statistics 统计。计算图像的统计值
sum 求和
svdcomprss svd 压缩。执行图像压缩测试或增强
tlm 对照表。对输入图像进行正的或负的线性灰度变换
train 训练。用于有监督的多光谱数据分类中的特征提取处理
transpose S600 版本转换
unlock 释放。用于释放一已被封锁的图像
vegtation 植被信息
video_loop 循环显示。用于闪现图像，每个图像存放在一个或几个 RMS
wallis wallis 变换。对显示图像进行空间的对比度扩展
zoom 变焦放大。进行人机交互式的变焦放大
kauth-thomas 缨帽变换 (K-T 变换)

二、CPU 功能命令(CPU')

absolute_value 计算绝对值
add 加法运算
and 与运算
complex_to_reals 复数向实型数转换
contour 生成灰度等值线图
convole 卷积运算
copy 图像文件复制（可以采子区）
cpwarp 几何纠正
destripe 去条纹。消除图像中的条带
divide 图像相除
dump_image 转出图像数据
ellipse 生成椭圆型分布的浮点数据阵列
exponential 指数变换
frame_correct 帧校正。执行摄像机校正
generate 生成图像
hamming_window 定义一个圆型或矩型 hamming 窗口滤波器

histogram　直方图
input__image　用人机交互方式生成灰度图像
Kauththomas　kauththomas 变换（缨帽变换）
kernel__symmertry　由输入核生成对称的输出核
kl　kl 变换（主成分分析）
logarithm　对输入图像进行对数形式的灰度变换，使图像"对数化"
matrix　矩阵变换
maximum　最大值。取输入图像像元灰度最大值为输出值形成一组分图像
mdclassify　对输入图像进行最小距离分类
merge　合并。在 x,y 方向或 z 方向将多个输入图像进行合并
minimum　最小值。取输入图像像元最小值为输出值产生一幅单通道图像
mlclassify　最大相似分类。由 m75 对任意大小的磁盘图像执行最大相似分类
mosaic　镶嵌。将几幅输入图像拼接在一起形成一幅输出图像
multiply　图像相乘
negate　对图像进行反转的线性灰度变换，使像元灰度倒置
normalize　对图像的每个波段进行规格化处理
not　逻辑非
or　逻辑或
piecewise　分段线性扩展
ppclassify　按像元分类。逐个像元按最大最小值进行分类
print__statistics　打印统计文件
ratio　标准比值（要求输入 4 个单波段图像）
readaux　读入辅助系统 600 格式文件
reals__to__complex　实型数向复型数转换
rotate　旋转与放大
scale　线性扩展
square__root　求平方根
standarize　对磁盘图像进行标准化处理
statistics　计算图像的统计特征值
sunangle　太阳高度角
tukey__window　tukey 窗口
ucs__calculate　计算ucs。计算用户坐标转换并将磁盘图像文件坐标映射到用户坐标
validate　确认。确认已经选择的分类
xor　半加（异或）。将两幅图像按位半加

三、系统(system)功能命令(SYSTEM')

allocate　申请设备
bell　响铃
convert　使用 convert 实用程序从一个文件拷贝记录到另一个文件

deallocate 释放设备
define 定义逻辑名
delete 删除磁盘文件
directory 列目录
help 求助，提供命令解释文件
monitor 统计监视命令
quit 退出 S600 状态，回到 vms
rename 改变图像名
setdefault 目录改变命令
showdefault 显示缺省目录
showlogical 显示逻辑名表
spawn 设置子进程命令
type 屏幕显示打印文件
version 显示 S600 版本

四、磁带输入输出命令(Tape')

czcs__nops 输入 czcs 磁带
daedalus 输入 daedalus 磁带
enter 输入任何具有 slb 或 sbl 结构的磁带
transfer 将磁盘图像以 slb 或 slb 结构传输到磁带

五、FFT 变换与频率域滤波处理命令(硬件实现：m75'fft)

1d__inverse__transform 一维快速傅立叶逆变换
1d__power__sperctrum 功率谱计算
1d__transform 一维 FFT
averge__power 生成图像的平均功率谱
divide 频域除法
exponential__filter 频率域指数滤波
gauss__filter 频率域高斯滤波
inverse__transform 二维快速傅立叶逆变换
multiply 频率域图像相乘
power__spectrum 功率谱计算
raisepower 增强傅立叶系数，用于图像尖锐化
transform 二维快速傅立叶变换

六、直方图修改功能命令（cpu 实现：cpu'histogram)

adjust 直方图调整(改变中值和标准偏差)
cqualize 直方图均衡化

七、直方图修改功能命令（m75 实现：m75'histogram)

adjust 直方图调整（改变中值和标准偏差）
cqualizc 直方图均衡化
match 直方图匹配

normalize　直方图标准化

八、图像分类处理功能命令（cpu 实现:cpu'class'）

and　计算分类图的像元布尔和

boundaries　分类边界

compare　分类图的比较

divergence　输入图像波段的不同组合

editextract　编辑 extract 文件

editprepare　编辑统计

extract　拷贝多光谱像元值以产生分类文件

histogram　生成各类的直方图

or　分类图的或运算

prepare　产生 prepare 文件

九、图形平面管理命令(m75'graphics')

blank　擦去图形平面内容

feedback　图形反馈

flicker　图形闪烁

off　关闭图形平面

on　导通图形平面

perspective　立体观察

save　存储图形

write　写

十、GCP(地面控制点）生成命令（cpu 实现．cpu'gcp'）

byhand　交互式生成 gcp 文件

collect　利用数字化仪生成控制点文件

十一、MAP 命令（cpu'map'）

composite　图形和彩色图像的结合

updat　用 M75'MAP'EDIT 命令形成的信息，修改图像文件

十二、控制点命令(M75 功能．m75'gcp')

display　交互地生成一个控制点文件

map　利用跟踪球和漫游方式选择控制点

match　控制点匹配

terminal　生成一个控制点文件，从终端上输入经纬坐标

十三、快速傅立叶变换命令(cpu 实现：cpu'fft')

inverse transform　二维快速傅立叶逆变换

transform　二维快速傅立叶变换

十四、命令管理命令(cpu'command')

list　命令列表

searchlist　建立命令执行序列

第三篇　遥感图像计算机处理

第八章　遥感图像的前处理

遥感是通过对反映地物电磁波辐射水平的灰度信息的处理分析与解译来进行地物识别和专题研究的。由于遥感成像过程中各种因素（例如，卫星速度变化、大气与地物反射与发射电磁波的相互作用、随机噪声等）的影响，实际的图像灰度值并不完全是地物辐射电磁波能量大小的反映，其中还包含着上述因素作用的结果，因此在进行遥感图像处理前，还需要进行校正处理（图像恢复处理）以消除上述因素的影响。上述因素对遥感图像的影响可归结为两大类：即遥感图像的辐射失真和遥感图像的几何畸变。输入到计算机的遥感数字图像必须经过几何畸变处理（包括几何粗校正与几何精校正）、图像的辐射校正、噪声压制处理等预处理后才能根据实际问题的需要进行其它的专门处理（例如图像的增强处理和图像的分类处理）。我国卫星地面站提供给用户的卫星磁带产品都是经过了几何粗校正的。因此，本章的图像恢复处理部分只介绍几何精校正和辐射校正算法。由于各种遥感CCT磁带的计算机输入是一般用户所面临的一个问题，因此特定图像系统中各种遥感CCT的读取也是本章的重要内容；遥感数字图像镶嵌与合成通常在其它增强处理与分类之前完成，因而，这一部分内容也归类到遥感图像的前处理部分；对于图像中的随机噪声的抑制，可以用图像平滑的方法去实现，平滑处理实质上还是一种图像增强处理方法，从这个方面考虑把有关图像平滑处理的内容放在了第十章。

第一节　辐射量校正

一、概述

遥感的目的是利用遥感传感器有效地收集来自地物的电磁波辐射能量，然而由于电磁波在大气中的传输和传感器的测量过程中，受到遥感传感器本身灵敏特性、地物光照条件（如太阳高度角及地形变化等）以及大气作用等的影响，遥感传感器的测量值与地物实际的光谱辐射率是不一致的，测量值存在着辐射失真。为了正确的评价地物的电磁波辐射特征，需要消除这些失真的影响，即进行辐射量校正处理。根据辐射失真的原因对遥感图像进行辐射校正处理可采取三种方法，见图8-1，即传感器校正、太阳高度角和地形引起的畸变校正以及大气散射校正。

传感器校正主要是校正由传感器灵敏特性变化所引起的辐射失真，包括光学系统的特性引起的失真和光电转换系统特性引起的失真，这一部分的辐射失真校正一般是在地面站由专门的处理系统来完成，其原理和方法可以参看文献[2]。

太阳光照条件引起的辐射失真校正主要包括：对卫星视场角和太阳角的关系引起的失

真校正、对地形起伏引起地形阴影等辐射失真校正。地形阴影引起的辐射失真常常通过遥感图像波段之间的比值处理来抑制，太阳高度角的影响是通过太阳角的改正来校正的。

大气校正的主要目的是消除大气散射对辐射失真的影响。

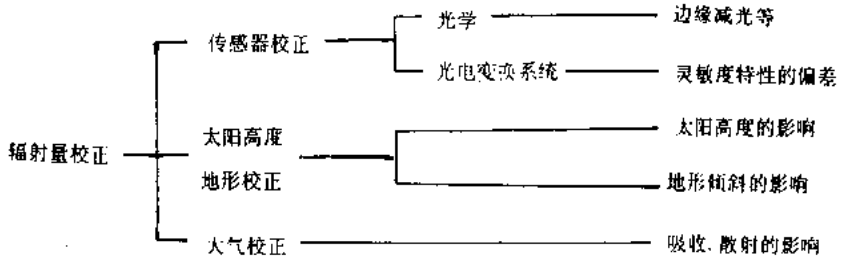


图 8-1　辐射校正方法示意图[1]

二、太阳光照条件的校正

1）太阳高度角校正。太阳高度角校正就是校正由于太阳高度角的不同而造成的不同时间成像图像的地物辐射水平（也即图像亮度）的差异，其计算公式为:

$$g'(i,j)=\frac{g(i,j)}{\sin\alpha} \qquad (8-1)$$

式中，$g(i,j)$ ——校正前图像 i 行 j 列的灰度值;

$g'(i,j)$ ——校正后图像在 i 行 j 列处的灰度值;

α ——太阳高度角。

2）对不同时相的图像镶嵌时太阳光照条件的一致性校正。在遥感专题研究中有时需要把两景或多景的遥感图像镶嵌成一幅图像，由于成像时间不同，光照条件存在差异，镶嵌图像的重叠区域内两景图像的灰度级水平相差较大从而影响了镶嵌图像的效果，因而需要对两景不同时相图像进行太阳光照条件的一致性校正。校正的方法是以一幅图像为标准，把其它镶嵌图像的光照条件校正成标准图像的光照条件。计算公式为:

$$g'(i,j)=g(i,j)\times\frac{\sin\alpha_0}{\sin\alpha_1} \qquad (8-2)$$

式中，$g(i,j)$ ——待校正图像的灰度值;

$g'(i,j)$ ——校正后图像的灰度值;

α_0——标准图像成像时的太阳高度角;

α_1——校正图像成像时的太阳高度角。

3）S600 系统下太阳高度角的校正处理。S600 系统中有一个 CPU 命令 CPU'Sunangle 用于太阳高度角校正处理，公式（8-1）方式的太阳高度角校正可以直接用 CPU'Sunangle 命令来完成；不同时相图像光照条件的一致性校正可以预先规定一个标准的太阳高度角，然后用 CPU'Sunangle 命令把镶嵌图像的太阳高度角都转换为规定的太阳高度角。

三、大气散射的校正

地物反射太阳光与地物发射电磁波在到达遥感传感器之前，需要经历一个在大气中的

传输过程，地物辐射电磁波在大气中传输时将与大气发生作用，一方面这种作用将造成地物辐射电磁波被大气部分吸收，且散射使地物辐射电磁波能量衰减；另一方面大气散射光到达地物也将产生反射，因而传感器接收的电磁波辐射能量除了地物反射电磁波能量外还包括散射波的反射能量[27]。在进行遥感图像的专题处理以前，常常需要消除大气散射对图像亮度的影响，即需要进行大气校正。大气校正的方法有三种，即利用辐射传递方程式计算、野外波谱测试资料回归分析法以及波段之间的数据分析法。

利用辐射传递方程式的方法是以辐射传递方程为基础的公式计算法，即对辐射传递方程给出适当的近似值求解，由于解辐射传递方程必须测定可见光与近红外区的气溶胶的密度及热红外区的水蒸气的浓度，但现实中要准确地测量这些数据又很困难，所以虽然这种计算方法的理论基础可靠，但实际中使用的较少。

野外波谱测试法的原理是在遥感传感器进行测量时，在地面同一地点用相同的仪器，同步地测量各种地物的反射率，利用实测的反射率数据与图像亮度作回归分析，求出大气散射量，用图像亮度减去大气散射量达到大气散射校正的目的，这种方法由于实际操作上的困难，一般也很少使用。

对大气散射进行校正处理用得最多而且也是最简单的方法是波段间的数据分析法。其理论依据在于大气散射的选择性，即大气散射对短波影响大，对长波影响小，在 TM 图像中，蓝光波段的 TM1 大气散射最大，红外波段的 TM7 散射最小。因此图像中的深大水体与地形阴影在 TM7 中是黑的，如果不存在散射，深大水体与阴影在其它波段也应该是黑的，据此可以进行大气散射的校正，具体作法有两种。

1）回归分析法。这种方法假定 7 波段无散射影响，然后以 7 波段为基准进行散射校正。例如对 TM1 进行散射校正，首先在 TM1 和 TM7 上分别找出几个很黑的地区（例如地形阴影区），然后取出 TM7 和 TM1 在黑区的灰度值，并求 TM1 关于 TM7 的拟合直线方程 L（图 8-2），直线方程为：

$$T_1 = a_1 + b_1 T_7 \tag{8-3}$$

式中，T_1，T_7——TM 图像 1 波段和 7 波段的灰度值；

a_1，b_1——直线 L 的截距和斜率。

利用黑区数据，用最小二乘法作直线拟合计算得到：

$$\begin{cases} b_1 = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(T_7 - X_7)(T_1 - X_1)}{\sum_{i=1}^{n}(T_7 - X_7)^2} \\ a_1 = T_1 - b_1 T_7 \end{cases} \tag{8-4}$$

式中，a_1,b_1——所求直线的截距和斜率；

n——黑区像元点数；

X_1,X_7——黑区 TM1 和 TM7 灰度的平均值。

用上述同样的方法可以对 TM2、TM3、TM4 进行大气校正，用回归分析法进行散射校正的前提是图像中存在全黑区域，否则用回归分析法进行大气散射校正将受到限制。

2）直方图对比法。当图像中有深大水体或地形阴影时，7 波段的灰度值为 0，其它波段如果不受散射影响，也应存在灰度值为 0 的像元，因此可以首先绘出每个波段的灰度直

方图，如果 7 波段存在灰度值为 0 的像元，其它波段用原始图像灰度值减去每一个波段中的最小灰度值，就达到了散射校正的目的。

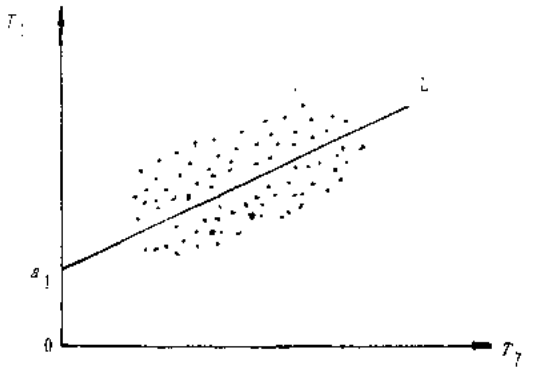


图 8-2　回归分析法进行大气校正示意图

3）在 S600 系统下进行大气散射校正。利用 S600 进行大气散射校正可以分三步进行:

(1) 第一步利用 S600 的 Cpu'histogram 命令打印出每个波段的直方图，并在直方图上找出最小灰度值;

(2) 第二步对每个波段按照其直方图上找出的最小灰度，生成一个与原始图像同样大小，灰度值等于最小灰度的常值图像;

(3) 用 Cpu'add 命令把原始图像减去一个常值图像就达到了大气校正的目的。

第二节　图像的几何精校正

一、遥感图像的几何畸变原因与几何校正方案

遥感图像在其成像过程中发生几何变形是难以避免的，引起遥感图像几何畸变的因素有三个方面[2]，即传感器方面的原因、遥感平台（卫星）方面的原因以及地球本身的原因。

遥感传感器引起遥感图像的几何畸变因素包括扫描镜线速不均匀、扫描镜起止采样时间不同造成扫描长度的不一致、检测器采样延迟造成各个波段间的不配准与同一波段扫描行之间的错动等以及全景畸变。

卫星引起遥感图像畸变主要包括卫星高度变化、速度变化、卫星运动造成图像歪斜以及卫星姿态变化造成图像的畸变。

地球本身对遥感图像成像的影响主要包括地球的自转、高程变化以及地球的曲率等引起图像的畸变。

对遥感图像进行几何畸变校正处理有三种方案，即系统校正、利用控制点校正以及混合校正。

系统校正就是把遥感传感器的校准数据、传感器的位置、卫星姿态等测量值代入理论校正公式进行几何畸变校正。

控制点校正就是利用一些变形的遥感图像与标准地图之间的对应点（即控制点数据

对)，用一种数学模型来近似描述遥感图像的几何形变过程，通过几何控制点求出几何畸变模型，然后进行图像的几何校正。

混合校正是一种分阶段的校正方案，这种方案是星载遥感图像常采用的几何校正方案，该方案首先利用几何畸变的理论公式进行系统的几何校正，即几何粗校正，然后再用地面控制点对几何畸变作进一步的校正即几何精校正处理。

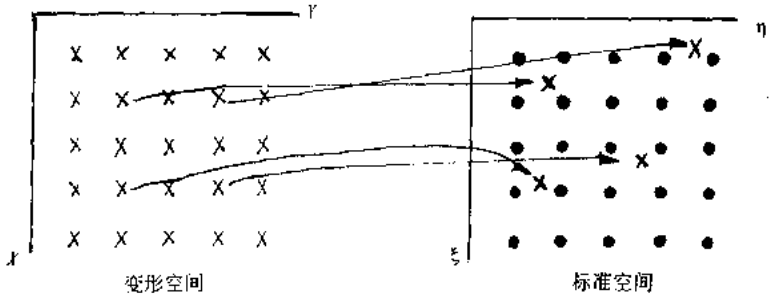
混合校正是最常采用的方案，一般地面站提供的遥感 CCT 已经完成了第一阶段的几何粗校正，用户所要完成的仅仅是对图像作进一步的几何精校正，因此，本节只讨论遥感图像的几何精校正。

二、几何精校正原理

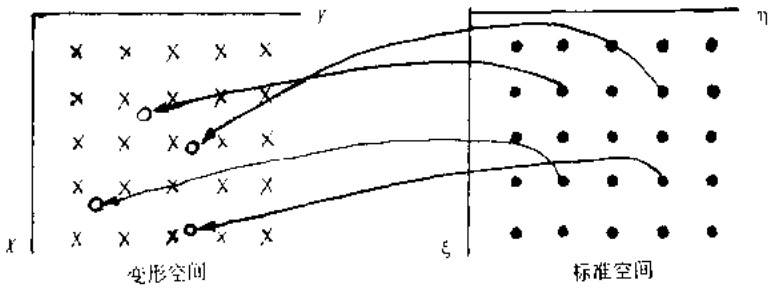
几何精校正就是利用地面控制点(GCP ——Ground Control Point 空间)对因各种因素引起的遥感图像几何畸变进行纠正。其原理是用 GCP 数据对原始卫星图像的几何畸变过程进行数学模拟，建立原始的畸变图像空间与地理制图用标准空间(亦即校正空间)之间的某种对应关系，利用这种对应关系把畸变空间中的全部元素变换到校正图像空间中去，从而实现几何精校正。在我国校正空间为高斯-克里格投影空间。

设原始图像空间为 F，其纵坐标为 X（卫星前进方向），横坐标为 Y（扫描方向），校正后的二维图像空间为 G，其纵坐标轴为 ξ（南北方向），横坐标为 η（东西方向），L 是某种变换关系，$f(x,y)$是 F 空间中像元 $F(X,Y)$的亮度值，$g(\xi, \eta)$是该像元在 G 空间中对应像元 $G(\xi, \eta)$的亮度值。

实现上述两个空间的转换通常采用两种方法，即直接变换法与重采样法（图 8-3）：



(a) 变形空间的各要素在标准空间上的投影



(b) 灰度值的投影

图 8-3 几何精校正中的空间转换示意图

1) 直接转换。首先求出原始图像空间 F 中各像元 $F(X,Y)$在 G 空间中的对应位置 $G(\xi, \eta)$，然后将相应亮度值移过去，即：

$$G(\xi,\ \eta) = L\{F(X,Y)\} \tag{8-5}$$

$$f(x,y) \rightarrow g(\xi,\ \eta) \tag{8-6}$$

从图 8-3（a）中可看出，变形空间网格上的点，直接投影到标准空间后，点的规则排列被打乱，求标准空间网格结点的灰度值可以用插值与网格化方法来实现，更详尽的内容可参看文献[28]。

2）重采样法。该方法的特点是用校正图像空间中的点 $G(\xi,\ \eta)$反求出其在畸变空间的共轭点$F(X,Y)$,然后再利用某种方法确定这一共轭点的亮度值 $f(x,y)$,共轭点亮度值也就是校正空间共轭点 $G(\xi,\ \eta)$的亮度。即：

$$F(X,Y) = L^{-1}G(\xi,\ \eta) \tag{8-7}$$

$$\text{求 } f(x,y) \tag{8-8}$$

$$f(x,y) \rightarrow g(\xi,\ \eta) \tag{8-9}$$

重采样法是通过校正空间点反找原始空间共轭点来实现校正的，这种方法能够保证校正空间中网格像元点呈均匀分布输出，因而是最常用的几何精校正方法之一。

三、重采样法的几何位置转换和亮度值确定

从上述分析可看出重采样法的主要工作有两个：一是几何位置的确定；二是计算共轭点亮度值。下面将分别介绍之。

1）几何位置转换。几何位置的转换有三角形线性法和多项式拟合法两种。

（1）三角形线性法。虽然图像几何形变的模型很复杂，但还是可以假定在一个很小的区域内图像的几何失真是线性变化的。我们可以用 GCP 构成一系列的小三角形区域，并使它们的全体覆盖整个校正区域（图 8-4）。把每个小三角形区域几何畸变看作是线性的，利用原始空间和校正空间每一对三角形区域的三个 GCP（三角形的顶点），一一求出每对三角形内的转换关系，进行转换。即有如下数学模型：

$$\begin{cases} x = L_1(\xi,\ \eta) = a\xi + b\eta + c \\ y = L_2(\xi,\ \eta) = d\xi + e\eta + f \end{cases} \tag{8-10}$$

式中，x,y ——原始图像空间中的像元坐标；

$\xi,\ \eta$ ——校正图像的空间网格坐标。

上述变换关系式有 a、b、c、d、e、f 6 个未知系数，由于已知 3 个 GCP（三角形顶点）与其校正空间的点对应，因此解方程：

$$\begin{cases} x_1 = a\xi_1 + b\eta_1 + c \\ x_2 = a\xi_2 + b\eta_2 + c \\ x_3 = a\xi_3 + b\eta_3 + c \\ y_1 = d\xi_1 + e\eta_1 + f \\ y_2 = d\xi_2 + e\eta_2 + f \\ y_3 = d\xi_3 + e\eta_3 + f \end{cases} \tag{8-11}$$

可求出 6 个未知系数，也就是说建立了位置转换的数学模型，假定已知校正空间像元坐标为 ξ_0,η_0。用上述变换关系可求出其在原始图像空间中的共轭点x_0,y_0。

三角形线性法的前提是假定小区域内几何畸变是线性的，为了提高校正精度，划分区

域应以越小越好，但是实际工作中选取 GCP 并非易事，也很难保证使 GCP 分布均匀，因此三角形法在实际中用得不多。

(2) 二元多项式法。二元多项式法的原理是假定图像的几何畸变过程满足二元多项式。

该方法实质是用二元多项式来描述几何畸变，其数学模型为：

$$\begin{cases} X = L_1(\xi,\ \eta) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n-i} a_{ij}\xi^i\eta^j \\ Y = L_2(\xi,\ \eta) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n-i} b_{ij}\xi^i\eta^j \end{cases} \tag{8-12}$$

($i=0,\ 1,\ 2,\ \cdots,\ n$ 为二元多项式的次数，$j=0,1,\cdots,n-i$)

式中，X,Y ——原始图像空间像元的坐标；

$\xi,\ \eta$ ——校正图像空间网格坐标；

n ——二元多项式的次数；

a_{ij},b_{ij} ——待定的二元多项式系数。

利用 L 个 GCP 数据运用最小二乘法进行曲面拟合求系数，令：

$$\varepsilon = \sum_{l=1}^{L} X_l - \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n-i}(a_{ij}\xi_l^i\eta_l^i)^2 = \min \tag{8-13}$$

对各系数求一阶偏导并令其为 0 可以得到关于未知系数的联立线性方程组，解方程组可求出多项式系数，从而建立了校正空间与原始空间位置转换的数学模型。根据这个数学模型当已知校正空间某一位置时，可反求出其在畸变空间的位置。

2) 计算共轭点的灰度。校正空间网格上的亮度值等于原始空间共轭点的亮度值，即 $g(\xi,\ \eta)=f(x,y)$,因此求校正空间网格结点上的亮度值，只要求出其在原始空间共轭点的亮度值即可。通常有三种方法用于确定共轭点的亮度值 $f(x,y)$。

(1) 最近邻点法。最近邻点法是把变形空间中离共轭点最近像元点的灰度值作为共轭点的灰度值（图 8-5）。

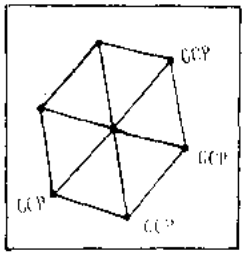


图 8-4 三角形线性校正处理示意图

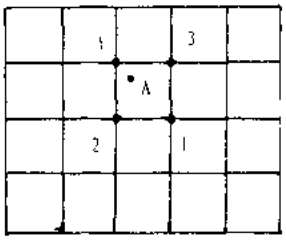


图 8-5 最近邻点法确定灰度值示意图

最近邻点法的计算公式为：

$$f(x,y) = f(\mathrm{IFIX}(x+0.5),\mathrm{IFIX}(y+0.5)) \tag{8-14}$$

式中，$f(x,y)$ ——共轭点灰度值；

IFIX ——取整运算。

该方法的优点是算法简单易行，有一定的精度；缺点是，处理后的图像具有不连续性的特征。

(2) 双向线性插值。该方法原理是假定共轭点四周的四个点组成区间内的灰度变化是线性的，从而利用线性插值的方法求得共轭点的灰度值（图 8-6）。

对共轭点四个邻近像元进行双向线性插值求出该点亮度值的计算公式为：

$$\begin{aligned} f(x,y) &= (1-u)(1-v)f(i,j) + (1-u)vf(i,j+1) \\ &+ u(1-v)f(i+1,j) + uvf(i+1,j+1) \\ &(u=x-i, v=y-j, 1-u=(i+1)-x, 1-v=(j+1)-y, \\ &i=\mathrm{IFIX}(x), j=\mathrm{IFIX}(y)) \end{aligned} \tag{8-15}$$

式中，x,y 为共轭点坐标；i,j,u,v 的意义见图 8-6。

该方法的优点是图像连续且精度较高；缺点是此算法具有低通滤波性质压抑高频成分，使图像出现模糊现象。

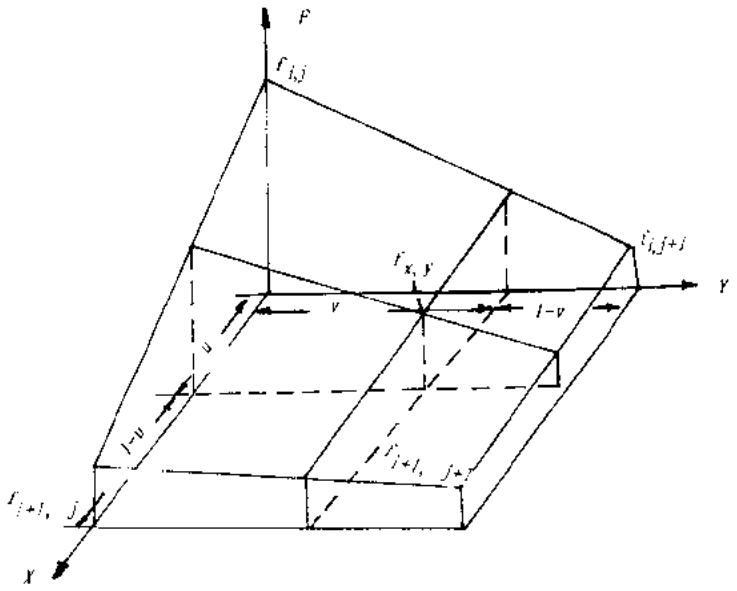


图 8-6 双向线性插值法求共轭点灰度值示意图

3) 三次褶积法。三次褶积方法的实质是利用一个三次多项式来近似理论上的最佳插值函数$\mathrm{sinc}(x)=\frac{\sin \pi x}{\pi x}$（图 8-7），这个三次多项式的表达式为：

$$s(x)=\begin{cases} 1-2|x|^2+|x|^3 & |x|<1 \\ 4-8|x|+5|x|^2-|x|^3 & 1\leqslant|x|\leqslant 2 \\ 0 & |x|\geqslant 2 \end{cases} \tag{8-16}$$

三次卷积内插法一般采用共轭点 16 个邻点来进行计算（图 8-8）。其计算公式为：

$$F(x,y)=[s(Y_1)s(Y_2)s(Y_3)s(Y_4)]\begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & f(1,3) & f(1,4) \\ f(2,1) & f(2,2) & f(2,3) & f(2,4) \\ f(3,1) & f(3,2) & f(3,3) & f(3,4) \\ f(4,1) & f(4,2) & f(4,3) & f(4,4) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} s(X_1) \\ s(X_2) \\ s(X_3) \\ s(X_4) \end{bmatrix} \quad (8-17)$$

式中，$X_1=1+u, X_2=u, X_3=1-u, X_4=2-u, Y_1=1+v, Y_2=v, Y_3=1-v$，$Y_4=2-v$，$s(X_1),s(X_2),s(X_3),s(X_4),s(Y_1),s(Y_2),s(Y_3),s(Y_4)$由式 8-16 得出。

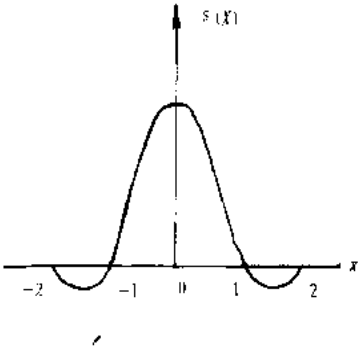


图 8-7　最佳插值函数曲线

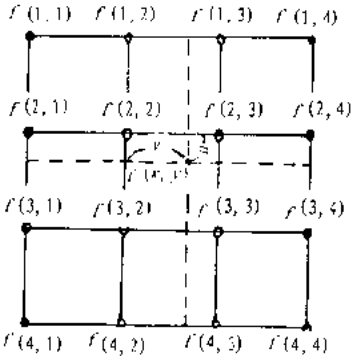


图 8-8　利用立方卷积法求共轭点灰度值示意图

该方法的优点是灰度连续且能保留高频成分，缺点是计算工作量太大。

四、几何精校正的实施步骤

几何精校正可以分五步进行:

1) 建立原始图像与校正图像坐标系;

2) 寻找 GCP,建立地面空间点文件;

3) GCP 定位精度检查，如果定位精度较差，重新确定 GCP;

4) 利用控制点对建立形变数学模型，利用形变模型对原始图像进行几何精校正;

5) 几何精校正的精度分析，利用标准地图检验几何精校正的精度。如果偏差较大，找出偏差原因，例如偏差可能是 GCP 太少引起的，或是 GCP 分布不均匀造成的，或是校正模型不能够很好地描述几何畸变过程等，针对这些原因，加以改进，并重新进行几何精校正，直到满足精度要求为止。

五、在 S600 系统下进行遥感图像的几何精校正处理

S600 系统下进行几何精校正的第一步是利用下述命令之一选择控制点并建立控制点文件。这些命令是 cpu'gcp'byhand、cpu'gcp'collect、cpu'gcp'display、m75'gcp'map、m75'gcp'match、m75'gcp'terminal; 第二步是利用 S600 系统中的几何校正命令 cpu'warp 或 m75'warp 命令对原始图像进行几何校正处理; 第三步是分析几何精校正效果、找出影响精校正结果的因素与改进方法。

第三节　数字图像的镶嵌处理

一、图像镶嵌的基本概念

图像镶嵌一般指的是把单幅图像根据某些标志拼接成一幅大的图像。同一成像时间相同成像条件的两幅或多幅图像的镶嵌问题比较简单，因为要镶嵌的图像辐射亮度水平没有太大的差异，镶嵌只要把重叠区中的对应点找出来，然后建立图像的对应关系就可以从几何上把图像拼接起来；不同时相或成像条件存在差异的图像镶嵌则要复杂得多，镶嵌首先要解决几何镶嵌问题，也就是在重叠处把图像拼接起来，由于要镶嵌的图像辐射水平不一样，图像的亮度差异较大，仅仅进行几何镶嵌，则图像存在明显的镶嵌线，而且镶嵌线两侧的灰度差别很大，既影响视觉效果，又不利于进一步的图像处理工作。例如，卷积运算时，在镶嵌线附近可能会出现明显的而实际上根本不存在线与边缘特征，因此，这种图像的镶嵌，除了几何镶嵌外，还要进行灰度镶嵌，也就是说使镶嵌线两侧的灰度平稳过渡。

二、接边线的选择

图像镶嵌的一个很重要问题是在待镶嵌图像的重叠区内选择出一条曲线，按照这条曲线把图像拼接起来，待镶嵌图像按照这条曲线拼接后曲线两侧的灰度变化不显著或最小，这条理论上存在的曲线常常被称为接边线或镶嵌线。

假定现要对两个左右相邻的图像g_1与g_2进行镶嵌，这两幅图像存在一宽为L的重叠区域（图 8-9），要在重叠区内找出一个接边线，只要找出这条线在每一行的交点即可，为此可以取一个长度为d的一维窗口，让窗口在一行内逐点滑动，计算出窗口在每一点处各个像元点的g_1和g_2的灰度绝对差值和，最小的即为接边线在这一行的位置，其计算公式为：

$$\sum_{j=0}^{d-1}|g_1(i,j_0+j)-g_2(i,j_0+j)|=\min \qquad (8-18)$$

$$(j_0=1,2,\cdots,L-d+1)$$

式中，$g_1(i,j_0+j),g_2(i,j_0+j)$——图像$g_1$与$g_2$的灰度值；

j_0——窗口的左端点；

i——窗口所在的图像行数。

满足上述条件的点(i,j_0)就是接边点，所有接边点的连线就是接边线。

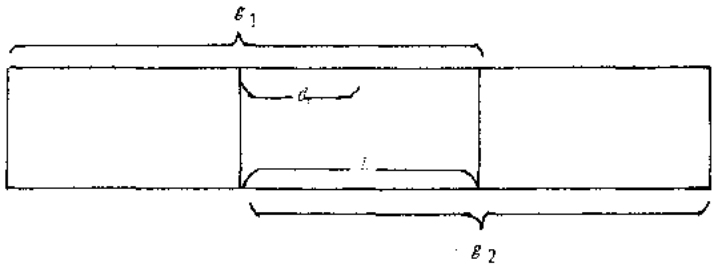


图 8-9　图像镶嵌的接边线确定示意图

三、镶嵌图像重叠区的亮度确定

亮度镶嵌往往是通过改变镶嵌图像重叠区内像元点亮度值的方法来实现，其计算方法有三种。

(1) 把两幅图像对应像元的平均值作为重叠区像元点的灰度值，即：

$$g' = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \tag{8-19}$$

式中，g'——重叠区镶嵌以后的图像灰度值；

g_1, g_2——待镶嵌的两幅图像在重叠区的灰度值。

(2) 把两幅待镶嵌图像中灰度值最大的一个灰度值作为镶嵌区像元点的灰度值，即：

$$g' = \max(g_1, g_2) \tag{8-20}$$

式中，g', g_1, g_2——意义同式 (8-19)；

max ——表示取最大运算。

(3) 取两幅图像对应像元灰度值的线性加权和，即：

$$g = w_1 g_1 + w_2 g_2 \tag{8-21}$$

式中，w_1, w_2分别是两幅图像的加权系数，其大小在 0—1 之间变化，很显然离图像g_1近的像元，则w_1大；离图像g_2近的像元，w_2大。假定重叠区宽为 L 则加权系数可以按照式 (8-22) 计算：

$$\begin{cases} w_1 = 1 - \dfrac{x-1}{L-1} \\ w_2 = \dfrac{x-1}{L-1} \end{cases} \tag{8-22}$$

$$(x = 1, 2, \cdots, L)$$

四、利用 S600 系统进行图像镶嵌处理

S600 系统中图像镶嵌可用命令 cpu'mosaic 来完成，对于单幅图像彼此间灰度一致性较好，对要求不太高的图像可以用命令 cpu'merge 来完成镶嵌工作。S600 系统中用 mosaic 命令进行镶嵌处理，一般分两步进行：

(1) 用命令 cpu'layout 确定待镶嵌图像的镶嵌边界。

(2) 用命令 cpu'mosaic 命令进行多幅图像的数字镶嵌处理，最终完成图像的拼接。

第四节　1^2S 600 系统中各种遥感 CCT 磁带的输入

遥感 CCT 磁带的输入是遥感图像计算机处理的第一步，一般的输入处理，可以按照第三章介绍的遥感图像的数据格式编写程序，把 CCT 上的影像数据读入计算机即可，本节主要介绍如何在 S600 系统中读入各种数据格式的遥感 CCT 磁带。

一、早期（1978 年以前）MSS 磁带的输入

地矿、石油等部门在 80 年代初期从国外进口了大量这种格式的 MSS 磁带。这种遥感 CCT 的记录格式是 BIP_2,S600 系统下读取这种类型的 MSS 磁带可用命令

Tape'mss'Pre78_EROS;用这个命令读带时，屏幕上能显示 ID 记录与 AN 记录的部分内容供用户作图像处理时用。同时，用户还可根据需要读任何大小的子区。

用 S600 命令读早期的 MSS 磁带的序列是:

第一步，装载磁带，用 DCL 命令:

$ Mount / nola msa0: <RET>

第二步，进入 S600 系统,用 DCL 命令:

$ DE <RET>

第三步，分配磁带机，用 S600 命令:

1) Allocate Tape0 <RET>

第四步，读带，用 S600 命令:

2) Tape'Mss'pre78_EROS Tape0 Inputimage <RET> (Inputimage 是输入到计算机里面的图像文件名)

如果已进入了 S600 系统，且磁带已装载，则第一、第二步可以不作。

二、影像数据为 SBL 或 SLB 结构 CCT 输入

世界标准格式的 MSS CCT,TM CCT, SPOT 卫星磁带及其它任何具有这种结构的图像数据的输入在 S600 系统中的读入比较简单。由于卫星地面站提供用户的磁带产品(MSS 或 TM)影像数据文件都是 SBL 或 SLB 结构，SPOT 卫星磁带影像数据格式为 SBL 结构。因此实际上用户所接触的绝大多数磁带的影像数据文件不是 SLB 结构就是 SBL 结构。因此具有这两种结构的遥感 CCT 的输入问题，对于一般用户来说是最为重要的。S600 系统读这两种结构的影像数据文件用的是同一命令 Tape'Enter,用这个命令可以读任何大小的子区，可以间隔采样，重采样等。这个命令的重要的参数有 Sample(影像 CCT 的采样数)，Line(影像数据文件的行数，即扫描行数),Band(波段数目),File(要读的影像数据文件是磁带上的第几个文件),SBL(是否为 SBL 结构，是，则选择 Yes,否则表示影像数据文件的结构是 SLB)选择 No。下面是这种结构的影像数据文件输入的命令执行序列:

第一步，装带，

$ Mount / nola msa0: <RET>

第二步，进入 S600 系统，

$ DE <RET>

第三步，分配磁带机，

1) Alloc tape0 <RET>

第四步，读带，

2) Tape'enter / file = 1 / s = 512 / l = 512 / b = 1 tape0 Inputimage <RET>

如果已进入 S600 系统且磁带已装载，可以不执行第一与第二步。下面是一个读带的实例:

$ Mount / nola msa0: <RET>

$ DE <RET>

1) Allocate Tape0< <RET>

2) tape'enter / file = 2 / sample = 1024 / linc = 1024 / band = 3 / sbl = y

tape0(1 to 1024 step 2;1 to 1024 step 2) Tm123 <RET>

上面的命令序列是将磁带机（逻辑名为 Tape0)上的第二个具 SBL 结构，大小为 1024 × 1024 × 3(S × L × B)的影像数据文件用间隔采样(步长为 2）方式读到计算机中并取名为 TM123,其大小为 512 × 512 × 3(磁带上影像数据文件实际大小是 1024 × 1024 × 3)。

三、Dadealus 磁带输入

I^2S 600 系统对于 Dadealus 格式磁带的输入有一专门的命令，即 Tape′daedlaus,该命令无参数选择项。其命令执行序列是:

$ Mount / nola　msa0: <RET>

$ DE　<RET>

1) Alloc　tape0

2) Tape′Dadealus　tape0　Inputimage　<RET>

四、其它遥感 CCT 的读带命令

1) 读澳大利亚格式的 MSS 磁带。

tape′mss′australia

2) 读 ESA 的 MSS 卫星磁带。

tape′mss′esa

3) 读 REVA TM 磁带。

tape′tm′lgswog__reva

4) 读 REV0(1982) TM 磁带。

tape′tm′las__rev0

5) 读 coastal zone 彩色扫描磁带。

tape′czcs__nops

第九章　图像变换

图像变换指的是将遥感图像从空间域转换到变换域，例如频率域。图像变换是遥感图像处理和分析的重要内容之一，对遥感图像进行变换处理的目的之一是为了简便而有效地对遥感图像进行增强处理，因为在变换域进行图像增强处理要比在空间域中处理简单易行，以此为目的变换处理，其结果一般还需要经过反变换回到空间域中；另一方面变换常常被用作图像特征分析的工具，例如，本书第十二章将要讨论的利用图像的功率谱特征来分析遥感图像中的纹理结构信息。本章讨论的是遥感图像处理和分析中经常用到的一些变换方法，如傅立叶变换、正交变换以及经验变换等。

第一节　傅立叶变换

图像处理过程中常需要对图像进行傅立叶变换，因为在傅立叶变换前的空间中复杂的卷积运算在傅立叶变换后的频域中变为简单的运算，使算法非常简洁，有利于处理速度的提高。此外傅立叶变换还可以与其它变换如对数变换结合起来完成在空域中很难实现的图像增强处理。例如，我们知道亮度值是照度和反射率的乘积，频域中照度和背景相关联对应于低频成分，而反射率和目标信息相关联并对应于频域中的高频成分。直接对图像进行处理使背景减弱又同时增强目标信息是很困难的。但可以通过取对数的方法，则亮度值的对数等于照度的对数和反射率的对数之和，前者成为后两者的叠加[2]。通过对它们进行傅立叶变换和高通滤波，就可以实现所要求的目标增强。

一、一维连续函数的傅立叶变换[28—30]

一维连续函数傅立叶变换是一积分，其计算公式为：

$$F(u)=\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\mathrm{e}^{-j2\pi ux}\mathrm{d}x \tag{9-1}$$

式中，$f(x)$ ——一维连续函数；

$F(u)$ ——$f(x)$的傅立叶变换；

j——为虚数$\sqrt{-1}$。

傅立叶逆变换也是一积分，其计算公式为：

$$F^{-1}(u)=f(x)=\int_{-\infty}^{\infty} F(u)\mathrm{e}^{j2\pi ux}\mathrm{d}u \tag{9-2}$$

从式（9-1）可以看出，傅立叶变换是一复数，即：

$$F(u)=R(u)+jI(u) \tag{9-3}$$

式中，$F(u)$ ——函数 $f(x)$的傅立叶变换；

$R(u)$ ——傅立叶变换的实部与虚部；

$I(u)$ ——傅立叶变换的虚部。

式（9-3）用指数形式表示为：

$$F(u)=\begin{cases}|F(u)|e^{j\varphi(u)}\\ |F(u)|=\sqrt{R^2(u)+I^2(u)}\\ \varphi(u)=\mathrm{tg}^{-1}(\dfrac{I(u)}{R(u)})\end{cases} \tag{9-4}$$

式中，$|F(u)|$ ——傅立叶变换的振幅谱；

$\varphi(u)$ ——相位谱。

傅立叶变换的实部与虚部的平方和$E(u)$称为能量谱，即：

$$E(u)=|F(u)|^2=R^2(u)+I^2(u) \tag{9-5}$$

二、二维连续函数的傅立叶变换

二维连续函数$f(x,y)$的傅立叶变换定义为：

$$F(u,v)=\iint_{-\infty}^{+\infty}f(x,y)e^{-j2\pi(ux+vy)}dxdy \tag{9-6}$$

式中，(x,y) ——空间域变量；

u,v ——频率域变量；

$f(x,y)$ ——空间域的二维连续函数；

$F(u,v)$ ——$f(x,y)$的傅立叶变换。

二维傅立叶逆变换计算公式为：

$$f(x,y)=F^{-1}(u,v)=\iint_{-\infty}^{+\infty}F(u,v)e^{j2\pi(ux+vy)}dudv \tag{9-7}$$

二维傅立叶变换的振幅谱、相位谱以及能量谱的计算公式为：

$$\begin{cases}|F(u,v)|=\sqrt{R^2(u,v)+I^2(u,v)}\\ \varphi(u,v)=\mathrm{tg}^{-1}(\dfrac{I(u,v)}{R(u,v)})\\ E(u,v)=R^2(u,v)+I^2(u,v)\end{cases} \tag{9-8}$$

式中，$F(u,v)$ ——傅立叶变换；

$R(u,v),I(u,v)$ ——傅立叶变换的实部和虚部；

$\varphi(u,v)$ ——相位谱；

$E(u,v)$ ——傅立叶变换的能量谱。

三、离散傅立叶变换

遥感图像是由灰度值组成的数字矩阵，是二维的离散数据，对遥感图像进行傅立叶变换，就应当了解离散傅立叶变换。离散傅立叶变换实际上就是将上述连续傅立叶变换中的积分号改成累加号即可。

一维离散傅立叶正逆变换计算公式为：

$$F(u)=\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1}f(x)e^{-j2\pi ux/N},\quad u=0,1,\cdots,N-1 \tag{9-9}$$

$$f(x)=\sum_{u=0}^{N-1}F(u)e^{j2\pi ux/N},\quad x=0,1,\cdots,N-1 \tag{9-10}$$

式中的 N 是频率域或空间域中的坐标间隔数，式(9-9) 是正变换，式 (9-10) 是逆变

换。

对于二维离散数据，其傅立叶变换的正逆变换的计算公式分别为：

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)}$$

$$(u=0,1,2,\cdots,M-1;\quad v=0,1,2,\cdots,N-1) \tag{9-11}$$

$$f(x,y)=\sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1}F(u,v)e^{j2\pi(ux/M+vy/N)}$$

$$(x=0,1,2,\cdots,M-1;\quad y=0,1,2,\cdots,N-1) \tag{9-12}$$

离散傅立叶变换的振幅谱、相位谱以及能量谱的计算也可以用连续傅立叶变换的计算公式（9-4）、（9-5）以及（9-6）来计算。

四、傅立叶变换的基本性质

傅立叶正变换与逆变换构成一个傅立叶变换对，傅立叶变换具有一些良好的性质，以下给出的是与遥感数字图像处理有关的性质。

1）线性性。若函数 $f(x)$可以用函数$f_1(x),f_2(x)$线性表示，即$f(x)=af_1(x)+bf_2(x)$，则函数$f(x)$的傅立叶变换也可以用函数$f_1(x),f_2(x)$的傅立叶变换线性表示，其计算公式为：

$$F(u)=aF_1(u)+bF_2(u) \tag{9-13}$$

式中，a_1,a_2——常数；

$F(u),F_1(u),F_2(u)$——函数$f(x),f_1(x),f_2(x)$的傅立叶变换。

2）比例变换。

$$F(ku)=\frac{1}{|k|}F(\frac{u}{k})\quad (k\text{为非零常数}) \tag{9-14}$$

3）位移性。如果$f(x)=f_1(x-x_0)$，则有：

$$F(u)=e^{-j2\pi x_0}F_1(u) \tag{9-15}$$

4）周期性和对称性。

周期性：$$F(u)=F(u+N) \tag{9-16}$$

对称性：$$F(u)=F^*(-u) \tag{9-17}$$

5）卷积定理。如果$f(x)=f_1(x)*f_2(x)=\int_{-\infty}^{+\infty}f_1(t)f_2(x-t)dt$，则有：

$$F(u)=F_1(u)F_2(u) \tag{9-18}$$

如果$f(x)=f_1(x)f_2(x)$，则有：

$$F(u)=F_1(u)*F_2(u) \tag{9-19}$$

这些傅立叶变换性质是关于一维函数的，很容易证明二维傅立叶变换也具有这些性质。

五、快速傅立叶变换(FFT)[23]

1）一维离散情形。根据式（9-9）和式（9-10）有：

$$e^{-j2\pi(x+mN)(u+lN)/N}=e^{-j2\pi xu/N},\quad (m,l=0,\pm1,\pm2,\cdots) \tag{9-20}$$

因此指数部分是周期性重复的。如果 N 是偶数，在实际计算时有些可不重复计算，也可

以把 N 个序列分成两个 $N/2$ 个序列，分别作傅立叶变换，以减少计算工作量。如果 $N/2$ 还是偶数的话，可以把 N 个离散数据组成的序列分成 4 个由 $N/4$ 个数据组成的序列，分别作傅立叶变换则计算时间将进一步减少，这样就可以用快速算法计算一维离散数据的傅立叶变换。快速傅立叶变换是 Cooley-Tukey 在 1965 年提出的，具体的实现方法有很多，可以参看文献[23]。

2）二维离散数据的快速傅立叶变换。二维离散傅立叶变换公式（9-11）和式（9-12）可以改写为：

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{N-1}e^{-j2\pi ux/M}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)e^{-j2\pi vy/N}$$

$$(u=0,1,\cdots,M-1;\quad v=0,1,2,\cdots,N-1) \tag{9-21}$$

$$f(x,y)=\sum_{u=0}^{N-1}e^{j2\pi ux/N}\sum_{v=0}^{N-1}F(u,v)e^{j2\pi vy/N}$$

$$(x=0,1,2,\cdots,M-1;\quad y=0,1,2,\cdots,N-1) \tag{9-22}$$

因此，对式（9-21）有：

$$F(u,v)=\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1}F(x,v)e^{-j2\pi ux/M} \tag{9-23}$$

其中

$$F(x,v)=\frac{1}{N}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)e^{-j2\pi vy/N} \tag{9-24}$$

对二维离散数据的列和行方向进行两次一维快速傅立叶变换，就能够得到二维离散图像的傅立叶变换，由于正、逆傅立叶变换只差一个符号和常量系数，所以正逆变换计算方法是一样的。

六、S600 系统中的傅立叶变换的实现问题

在 S600 图像处理系统中，用于完成图像傅立叶变换有如下命令：正变换用命令 m75'fft'transform 或 cpu'fft'transform；逆变换用命令 m75'fft'inverse__transform 或 cpu'fft'inverse__transform。

在 S600 系统中计算图像的功率谱命令是 m75'fft'power__spectrum；频率域对图像进行指数滤波（高通滤波）的命令是 m75'fft'exp；频率域对图像进行高斯滤波（高通、低通以及带通滤波）的处理命令是 m75'fft'gauss__filter__2d。

第二节　K-L 变换

K-L(Karhunen-Loeve)变换是遥感数字图像处理中最常用的一种也是最有用的一种变换算法。实质上 K-L 变换是一种线性变换，图像的线性变换是遥感图像处理与分析的一个重要手段，本节先对线性变换作一简要介绍，然后再介绍 K-L 变换。

一、线性变换

变换就是坐标系的平移与旋转，通过变换往往可以使矢量在新的坐标空间中具有一些好的性质，从而便于问题的分析研究。线性变换是图像处理中常用的变换，其表达式为：

$$\mathbf{Y} = \mathbf{AX} \tag{9-25}$$

式中，**X**——变换前矢量；

Y——变换后矢量；

A——变换矩阵。

矢量 **X** 是一个一维列向量，例如对于 TM 图像有：

$$\mathbf{X} = (\mathrm{TM1,TM2,TM3,TM4,TM5,TM7})^{\mathrm{T}} \tag{9-26}$$

变换系数矩阵 **A** 可由变换的性质决定，很容易证明线性变换具有如下性质：

(1) 线性变换前后保持空间的维数不变。

(2) 变换后的期望矢量为：

$$\mathbf{M}_y = E(\mathbf{Y}) = \mathbf{A}E(\mathbf{X}) = \mathbf{AM}_x \tag{9-27}$$

(3) 变换后的协方差矩阵为：

$$\sum_y = E\{(\mathbf{Y}-\mathbf{D})(\mathbf{Y}-\mathbf{D})^{\mathrm{T}}\} = E\{[\mathbf{A}(\mathbf{X}-\mathbf{M})][\mathbf{A}(\mathbf{X}-\mathbf{M})]^{\mathrm{T}}\} = \mathbf{A}\sum_x \mathbf{A}^{\mathrm{T}} \tag{9-28}$$

(4) 变换前矢量服从正态分布，变换后：距离函数保持不变；变换后还是正态分布。

二、K-L 变换的系数矩阵

遥感图像线性变换的特征与效果决定于线性变换所采用的系数矩阵 **A**，K-L 变换所采用的变换系数矩阵 **A** 是由多波段图像的协方差阵的特征矢量矩阵所组成的一个系数矩阵。

变换系数矩阵 **A** 的计算过程是：首先按照式（4-21）计算多波段图像的协方差阵；然后再求协方差阵的特征值与特征向量；最后按照特征值的大小排列特征向量，形成 K-L 变换所用的变换系数矩阵 **A**。

三、K-L 变换性质

K-L 变换在遥感图像处理中又称为主成分分析或叫主分量分析，K-L 变换是在统计特征基础上的多维（遥感图像处理中即为多波段)正交线性变换。多波段图像通过这种变换后产生出一组新的组分图像，组分图像数目可以等于或少于原来图像的波段数目。对于一幅多波段图像，波段之间往往存在很大的相关性，从直观上看，不同波段图像之间很相似。从提取有用信息的角度看，有相当大的数据量是多余的、重复的。K-L 变换的主要特性之一就是能够把原来多个波段中的有用信息尽量集中到数目尽可能少的新的组分图像中；K-L 变换的另一个重要特性是 K-L 变换不仅能够对图像信息进行归并处理使图像数据量得到有效的压缩，而且还能够使新的组分图像中的组分之间互不相关，也就是说各个组分包含的信息内容是不重叠的。总之，在遥感图像处理中进行 K-L 变换的目的有二：一是压缩数据量，节省计算机的内存，加快图像处理速度；二是除相关和图像增强。例如 SPOT 的多波段图像只有三个波段，从彩色合成处理和图像增强处理的角度看，对三个波段的 SPOT 图像进行 K-L 变换是没有必要的，实际上 SPOT 图像的三个波段的信息内容存在很大重叠，波段与波段之间的相关性较大，从而影响了视觉效果与目视解译，对 SPOT 图像进行 K-L 变换，可以达到去相关的作用，从而改善图像的视觉效果和可解译性。

K-L 变换也是一种线性变换，是就均方误差最小来说的最佳正交变换。K-L 变换同样可以用公式 **Y = AX** 表示，变换矩阵 **A** 是由各个变量（各波段）之间的协方差矩阵所产生的由特征值向量所组成的矩阵。K-L 变换详尽的算法及其推导过程可参阅文献[2]。

K-L 变换的主要特点是：①变换前后方差总和不变，而是把原来方差不等量地再分配到新的组分图像中；②第一组分取得方差的绝大部分（一般占 80%以上），也就是说 K-L 变换的结果使得第一主成分几乎包含了原来多个波段信息的绝大部分内容，其它组分图像的方差依次减少，包含的信息量也剧减；③各组分之间相关系数为 0 或近于 0，也就是说各组分图像所包含的信息内容在很大程度上是不同的；④第一主成分相当于原来各波段的加权和，而权值又与该波段的方差大小成正比（方差大，则图像所包含的信息量大），反映了地物总的反射强度。其余组分相当于不同组分的加权差值图像；⑤对第一组分进行高通滤波，有利于细部特征的增强和分析；⑥多数情况下第一主组分主要包含的是地形和植被方面的信息，因此第一组分图像并非是地质解译的最佳组分图像。也就是说不能依据组分图像的方差大小来确定其在地质上的应用价值。有时甚至第五、第六组分对于特定的地质解译都有很重要的意义；⑦由于 TM 图像具有分组特征，TM1、TM2、TM3 为一组，TM4 为一组，TM5、TM7 为一组，TM6 为一组，利用 K-L 变换组分图像进行彩色合成处理时，可以首先分别对 TM1、TM2、TM3 和 TM5、TM7 两个波段组进行 K-L 变换，然后用 TM4 和这两个波段组 K-L 变换后的组分图像进行彩色合成处理。

四、K-L 变换的一般流程

K-L 变换一般分四步进行：

1）多波段图像的统计特征分析。对多波段图像数据进行统计特征分析，计算波段图像的灰度动态范围、均值与中值、波段图像的相关系数矩阵、波段图像的协方差阵。

2）形成 K-L 变化的系数矩阵 A。求出多波段图像的协方差阵的特征值与特征向量，用特征向量构成 K-L 变换的系数矩阵 A。

3）K-L 变换的后处理。这主要是根据专题研究目的，选择包含专题信息的组分图像、包含专题信息组分图像的增强处理、组分图像的彩色合成处理以及组分图像与其它处理结果或波段图像的信息复合分析。

五、在 S600 系统下对多波段遥感图像进行 K-L 变换

S600 系统下进行 K-L 变换一般也分四步进行：

1）用 CPU 命令 STATISTICS（统计）计算多波段图像的协方差矩阵、均值向量、特征值、特征向量矩阵等。形成 K-L 变换所必须具备的统计文件。

2）用命令 K-L（M75 或 CPU）对多波段图像进行 K-L 变换，形成一个同原图像波段数一样多的组分图像。

3）用 CPU'SCALE 或 CPU'PIECEWISE 命令将实型的组分图像，转换为能在显示器显示的 BYTE 型的组分图像。

4）根据实际情况合理选择将采用的组分，并分别对每一组分进行一些增强处理。如，线性扩展(SCALE)、非线性扩展(PIECEWISE)、WALLIS 变换，力求各个组分亮度达到平衡。然后进行一些假彩色合成增强处理，或用组分图像与原图像中某些波段进行假彩色合成处理等。

第三节　缨帽变换

缨帽变换又称 K-T（Kauth-Thomas）变换，是一种经验性的多波段图像的线性变换，它是 Kauth 和 Thomas（1976）通过分析 MSS 图像反映农作物或植被生长过程的数据结构后，提出的一种正交线性变换。

一、遥感图像的数据结构特征

Kauth 和 Thomas(1976)在研究 MSS 图像反映农作物和植被的生长过程中发现[31]，在由 MSS 四个波段组成的四维光谱空间中，植被的光谱数据点呈现规律性形状（缨子帽状），在光谱空间中，植被光谱数据点的时间轨迹是一个"缨帽"（Tasselled Cap）图形，而土壤的光谱则构成了一条从坐标原点向外的辐射线，称为土壤亮度轴，光谱空间中的"缨子帽"图形上，土壤与植被的光谱特征互不相关，植物的绿度也是一个相对独立的变量，植被光谱具有较明显的三维结构。

二、MSS 图像的缨帽变换

Kauth 和 Thomas(1976)在总结了 MSS 图像的数据结构后提出了如下的一种经验性的线性变换，即缨帽变换：

$$\mathbf{Y} = \mathbf{RX} + \mathbf{r} \tag{9-29}$$

式中，**X** ——由 MSS 四个波段数据组成的列向量；

Y ——缨帽变换结果组成的列向量；

R ——缨帽变换的系数矩阵；

r ——偏移值向量，用于避免 **Y** 出现负值。

Kauth 和 Thomas 提出的变换系数矩阵 **R** 为：

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.433 & 0.632 & 0.586 & 0.624 \\ -0.290 & -0.562 & 0.600 & 0.491 \\ -0.829 & 0.522 & -0.039 & 0.194 \\ 0.223 & 0.012 & -0.543 & 0.810 \end{bmatrix} \tag{9-30}$$

变换后的第一组分图像是 MSS 四个波段的加权和，它反映了地物总的电磁波辐射水平，称为"亮度"；第二组分图像等于 MSS6 与 MSS7 的加权和再减去 MSS4 与 MSS5 的加权和，它反映了植被的生长情况，称为"绿色物"；K-T 变换所得到的第三组分图像是 MSS5 与 MSS7 的加权和减去 MSS4 与 MSS6 的加权和，称为"黄色物"。

三、TM 图像的缨帽变换

1984 年 Crist 和 Cicone 在对 TM 数据基本结构的研究基础上提出了 TM 图像的缨帽变换算法[32]，他们的研究结果认为 TM 数据的基本结构可以用三维空间中的一个植被平面、与植被平面垂直的土壤平面以及介于这两个平面之间的过渡带来表示。

根据一些地区图像实例分析，他们给出了 TM 图像六个波段（不含 TM6）的缨帽变换系数（表 9-1），TM 图像六个波段经过缨帽变换处理后每个组分图像所代表的特征意义分别是亮度、绿度、湿度，三个特征内容具有较明显的差别：

1）亮度是 TM 图像六个波段数据的加权和，代表总的反射比的差异。

2）绿度反映了可见光波段与近红外波段之间的差异。

3）湿度反映了1、2、3、4波段与5、7波段之间的对比。

TM图像缨帽变换处理后的后三个组分图像代表的信息内容还需要进一步的研究。

表9-1 TM数据K-T变换系数一览表

特征	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
亮度	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
绿度	−0.2848	−0.2435	−0.5436	0.7243	0.084	−0.1800
湿度	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	−0.7112	−0.4572
第四	−0.8242	0.0849	0.4392	−0.0580	0.2012	−0.2768
第五	−0.3280	0.0549	0.1075	0.1855	−0.4357	0.8085
第六	0.1084	−0.9022	0.4120	0.0573	−0.0251	0.0238

四、利用S600系统对陆地卫星图像进行K-T变换处理

利用S600系统对陆地卫星图像进行K-T变换处理，可以分四步进行：

1）用S600的cpu'merge命令将MSS图像的四个波段合成为一个图像文件，如果要对TM图像进行缨帽变换，应将TM图像中除六波段外的六个波段图像(TM1,TM2,TM3,TM4,TM5,TM7)合成为一个波段数目为六的图像文件。

2）用S600的cpu'kauth__thomas命令对MSS四个波段图像或TM的六波段图像进行缨帽变换处理，如果输入图像是四个波段，则命令把输入图像看作是MSS图像，并自动用式（9-30）给出的变换矩阵对图像进行缨帽变换；如果输入图像有六个波段，那么命令把输入图像看作是TM数据，并自动用表9-1所给出的系数矩阵对图像进行缨帽变换。

3）用S600的cpu'scale或cpu'piecewise命令把实型图像的缨帽变换结果转换为显示器能够接受的字节型图像。

4）用m75'display命令检查缨帽变换结果，并对缨帽变换结果进行假彩色合成处理以及信息复合处理。

第四节　其它的矩阵变换

在遥感图像处理中，除傅立叶变换、K-L变换以及缨帽变换等常用的变换处理外，还有一些矩阵变换在遥感图像处理中也有很大的用途，例如，波段间的一维傅立叶变换、哈达玛变换、斜变换以及离散余弦变换等。

一、波段间的一维傅立叶变换

本章第一节所介绍的一维离散傅立叶变换既可以用于单波段图像数据的处理与分析，也可以用于分析多波段图像之间的信息特征。利用一维傅立叶变换对波段图像进行分析时，波段图像的波段数目必须等于2^m（m为正整数），即波段数目必须是2，4，8等，而输出图像往往只取三个分量（红、绿、蓝）。例如波段数为4（MSS的波段数目为四），则一维离散傅立叶变换式（9-9）变为：

$$F(u)=\frac{1}{4}\sum_{x=0}^{3}f(x)e^{-2\pi ux/4} \qquad (9-31)$$

式（9-31）用矩阵形式表示则为：

$$\begin{bmatrix} F(0) \\ F(1) \\ F(2) \\ F(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(0) \\ f(1) \\ f(2) \\ f(3) \end{bmatrix} \tag{9-32}$$

式中，$F(0),F(1),F(2),F(3)$ ——图像间的一维傅立叶变换值，复数；

$f(0),f(1),f(2),f(3)$ ——四个波段图像的灰度值，实数；

a_{ux}——变换系数矩阵，复数，其计算公式为：

$$a_{ux} = e^{-2\pi ux/4} \qquad (u,x = 0,1,2,3) \tag{9-33}$$

利用式（9-33）可以计算出式（9-32）的变换系数矩阵 A，A 分为实部与虚部两部分，实部为：

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \tag{9-34}$$

虚部为：

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{9-35}$$

波段之间的一维傅立叶变换结果是复数，可以取不同量形成彩色图像，在I^2S图像处理系统中，将第一频率的实部作为红色，其虚部作为蓝色，直流分量作为绿色进行彩色合成处理。

二、沃尔什-哈达玛（Walsh-Hadamard）变换

沃尔什-哈达玛变换也是一种正交变换，式（9-25）中的变换系数矩阵 A 采用哈达玛矩阵时，线性变换就是沃尔什-哈达玛变换，哈达玛矩阵是对称矩阵，矩阵元素由 1 和-1 组成，二阶的哈达玛矩阵为：

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \tag{9-36}$$

把式（9-36）作为子阵，可以构成更高阶的哈达玛矩阵，例如四维的哈达玛矩阵为：

$$\mathbf{H}_4=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1\\ 1 & -1 & 1 & -1\\ 1 & 1 & -1 & -1\\ 1 & -1 & -1 & 1\end{bmatrix} \tag{9-37}$$

在遥感图像处理中常用四维哈达玛变换对 MSS 的四个波段图像进行波段间的特征分析，MSS 四个波段图像经过哈达玛变换后，第一组分是四个波段的和，它反映了地物总的辐射水平；第二组分是 4、5 波段的差值与 6、7 波段差值的和；第三组分是 4、5 波段与 6、7 波段的差。

三、斜变换

斜变换（Slant 变换）也是一种正交线性变换，式（9-25）中的变换系数矩阵 **A** 采用斜变换矩阵，四维斜变换矩阵为：

$$\mathbf{S}_4=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1\\ \frac{3}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{-1}{\sqrt{5}} & \frac{-3}{\sqrt{5}}\\ 1 & -1 & -1 & 1\\ \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{-3}{\sqrt{5}} & \frac{3}{\sqrt{5}} & \frac{-1}{\sqrt{5}}\end{bmatrix} \tag{9-38}$$

斜变换也可以用于 MSS 图像的波段之间的特征分析。

四、余弦变换

余弦变换也是一种正交变换，可用于对遥感图像波段之间的特征分析，例如用四维余弦变换分析 MSS 图像波段之间特征，四维余弦变换矩阵为：

$$\mathbf{C}_4=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 1\\ \sqrt{2}\cos\frac{\pi}{8} & \sqrt{2}\cos\frac{3\pi}{8} & -\sqrt{2}\cos\frac{3\pi}{8} & -\sqrt{2}\cos\frac{\pi}{8}\\ 1 & -1 & -1 & 1\\ \sqrt{2}\cos\frac{3\pi}{8} & -\sqrt{2}\cos\frac{\pi}{8} & \sqrt{2}\cos\frac{\pi}{8} & -\sqrt{2}\cos\frac{3\pi}{8}\end{bmatrix} \tag{9-39}$$

第十章　图像增强处理

图像增强处理是遥感图像数字处理的最基本方法之一，通过增强处理可以突出图像中的有用信息，使图像中感兴趣的特征得以强调，使图像变得清晰，图像增强处理的主要目的是为了提高图像的可解译性。

图像增强处理按照增强的信息内容可分为波谱特征增强、空间特征增强、以及时间信息增强三大类，波谱信息增强主要突出灰度信息；空间特征增强主要是对图像中的线、边缘、纹理结构特征进行增强处理；而时间信息增强主要是针对多时相图像而言的，其目的是提取多时相图像中波谱与空间特征随时间变化的信息，图像增强处理方法就是按照这三种信息的提取而设计的，一些方法只用于特定信息的增强，而抑制或损失了其它信息，例如，定向滤波是用来增强图像中的线与边缘特征，在增强专题信息的同时，是以牺牲图像中的波谱信息为代价的；一些方法可以用于几种信息的同时增强，例如对比度扩展，对比度扩展能够突出特定的灰度变化信息，同时由于图像对比度的加大，图像中的线与边缘特征也得到了加强。

图像增强处理可以在空间域进行，也可以在频率域进行。从这个意义上来说，图像的增强处理又可以分为空间域增强和频率域增强两大类。一般说来，频率域方法与空间域方法从实质上没有太大差别，只是频率域的算法一般无边缘像元点损失，而以窗口方法为主的空间域方法，常常要造成图像边缘像元点的损失。

从图像处理的数学形式看，遥感图像的增强处理技术可以划分为点处理与邻域处理两大类。点处理是一种较简单的图像处理形式，点处理把原图像中的每一个像元值，按照特定的数学变换模式转换成输出图像中一个新的灰度值，例如多波段图像处理中的线性扩展、比值、直方图变换等等；邻域处理中，输出图像的灰度值不仅仅只与原图像中所对应像元点的灰度值有关，邻域处理是针对一个像元点周围的一个小邻域的所有像元而进行，输出值的大小除与像元点在原图像中的灰度值大小有关外，还决定于它邻近像元点的灰度值大小，例如，卷积运算、中值滤波、滑动平均等都是邻域处理的例子．如果邻域不断扩大直至整个图像就成了整图处理。

图像特征增强是一个相对的概念，特定的图像增强处理方法往往只强调对某些方面信息的突出，而另一部分信息(主要是对解译无益的信息，有时也含有其它的有用信息）受到压抑．同时一种图像增强方法的效果好坏，除与算法本身的优劣有一定的关系外，还与图像的数据特征有直接关系．这就是说，很难找到一种算法在任何情况下都是最好的．实际工作中应当根据图像数据特点和工作要求来选择合理的图像增强处理方法．图像增强处理方法很多，但从信息提取的角度看，有些方法彼此之间的差异很小．本章只介绍几个遥感图像处理中最常用且有效的方法。

第一节　对比度增强

人们对于图像的识别主要是通过图像中各个像元之间的亮度（灰度）差异来实现的，

由于受生理条件的限制，只有当灰度差异达到一定程度时人眼才能识别地物在图像上的差别。因此，扩大图像的灰度动态范围，也就是说加大图像的对比度，能达到使图像信息增强的目的，这就是对比度增强的基本原理。事实上，日常生活中电视图像的清晰程度也是通过调节画面的对比度来实现的。

对比度增强处理是一种点处理方法，与窗口处理方法的最大不同之处是：点处理无边缘损失，窗口处理要损失一些边缘像元。在点处理中，输出图像中每个像元的输出值（变换结果）与原图像中像元点灰度值相对应。如果用 r 和 s 分别表示遥感图像原图灰度级与对比度增强处理后的灰度值，对原始遥感图像进行对比度扩展实际上就是利用一个变换函数 $T(r)$ 把灰度级转换为灰度 s，即：$s = T(r)$，这种变换的结果是使原始图像的一些区域变亮，一些区域变暗，整个图像的对比度变大（图 10-1a）。对比度扩展的一种极端情况是把原始图像变成黑、白二值图像（图 10-1b），这种处理就是所谓的二值化处理。

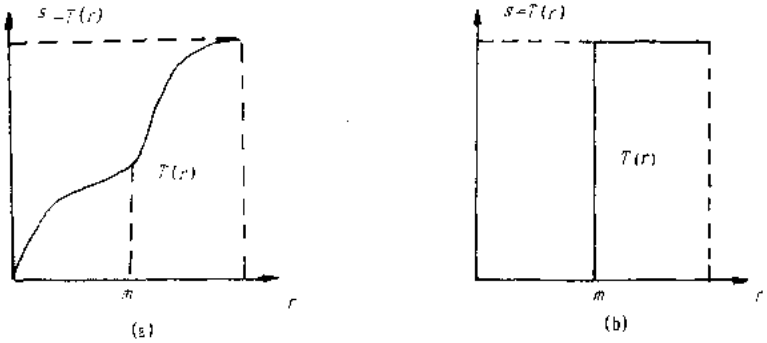


图 10-1　对比度变换示意图

这节将介绍的对比度增强方法主要包括：线性扩展法、非线性扩展法以及修改直方图增强等。

一、线性扩展

遥感图像的亮化级一般为 256（TM 与 SPOT 为 256，MSS 为 64），然而实际遥感图像数据很少能利用到 256 个灰度级，用线性变换方式来扩展图像灰度动态范围可以加大图像的对比度。线性扩展的变换函数 $T(r)$ 是一元线性函数，线性扩展将原始图像的各亮度值按照线性关系进行扩展，使图像数据的动态范围与方差变大，增加图像的可解译性。亮度范围可扩展到任意范围（遥感图像处理中显然是不能超过 0—255 这个范围）。假定原始图像的灰度范围是 $[a,b]$ 将原始图像灰度范围扩展为 $[c,d](c<a,d>b)$ 的计算公式为：

$$x_1 = \frac{(d-c)}{(b-a)}(x-a)+c \qquad (10-1)$$

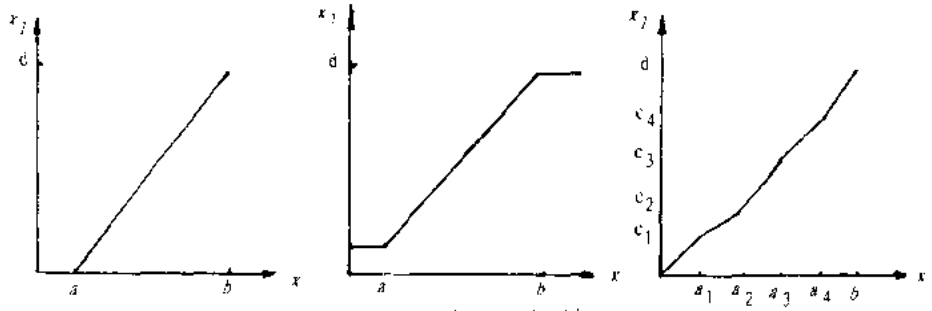
式中，x ——原始图像的亮度值；

x_1 ——线性扩展增强后的亮度值。

按照式（10-1）对图像进行扩展是对原图中的灰度范围不加区别的扩展到整个图像灰度的动态范围（图 10-2a）。但实际处理中为了更好地扩展图像的对比度，有时需要把图像的低亮度值和高亮度值像元的灰度级进行适当的归并，例如只对原图像整个灰度范围中的一部分 $[a,b]$ 进行线性扩展（图 10-2b），这种扩展方法又称为"去头去尾"线性扩展[15]，这时的扩展计算公式为：

$$x_1=\begin{cases}c & x\leqslant a\\ \dfrac{(d-c)}{(b-a)}(x-a)+c & a<x<b\\ d & x\geqslant b\end{cases}\qquad(10-2)$$

在实际的遥感图像数字处理工作中，有时候只对原始图像的整个动态范围进行扩展，而不考虑有用信息可能包含在整个动态范围的几个不连续区域内这一特点，就不能有效地利用有限个灰度级，达到最大限度增强图像中有用信息的目的。因此有时需要将整个灰度范围划分为几个区间，分区间进行线性扩展。这种方法在图像处理中被称为分段线性扩展或称之为分段线性拉伸处理。分段线性扩展的每一区域都有自己的变换函数$T(r)$（图10-2c),计算公式的推导与前面介绍的线性扩展类似。



(a) 线性扩展　(b) 去头去尾线性扩展　(c) 分段线性扩展

图 10-2　几种线性扩展方法示意图

二、非线性扩展

非线性扩展与线性扩展不同，线性扩展的灰度变换在变换区间内对原图像的灰度级是不加区别对待的，非线性扩展对于要进行扩展的灰度范围是有选择性的。常用的非线性扩展方法有指数变换法（增强原始图像的高亮度值部分，即亮区扩展）、对数变换法（扩展原始图像的低亮度部分，常称之为暗区扩展）、高斯变换(扩展图像中间灰度范围，常称之为中区扩展)、正切变换（暗、亮区扩展）等。

把原始图像灰度区间[a,b]扩展为[c,d]的指数扩展公式为:

$$x_1=\frac{d-c}{e^b-e^a}(e^x-e^a)+c\qquad(10-3)$$

式中，x ——变换前的灰度值;

x_1——变换后的灰度值。

把原始遥感图像的灰度区间[a,b]用对数扩展方法扩展为[c,d]的计算公式为:

$$x_1=\frac{d-c}{\log b-\log a}(\log x-\log a)+c\qquad(10-4)$$

用正切变换把原始图像的灰度区间[a,b]扩展为[c,d]的计算公式为:

$$x_1=\begin{cases}c & x=a\\ \dfrac{d-c}{f(b-0.5)-f(a+0.5)}[f(x)-f(a+0.5)]+c & a<x<b\\ d & x=b\end{cases}\qquad(10-5)$$

其中$f(a+0.5)$，$f(b-0.5)$，$f(x)$按照式（10-6）计算获得:

$$f(y) = \lg(\frac{y-a}{b-a}\pi) - \frac{\pi}{2} \qquad (10-6)$$

三、直方图均衡化处理

图像直方图是图像总貌的描述，对图像直方图的形式进行修改可以改善图像的面貌，达到图像增强的目的。这种处理方法的增强效果往往取决于所指定的直方图形式。

直方图均衡化又称为直方图平坦化就是通过变换函数$T(r)$将原始图像的直方图调整为一个新的均衡的(平坦的)直方图（图 10-3）。一般原始遥感图像的概率密度函数曲线为一起伏的曲线，直方图均衡化就是使概率密度函数变为一平坦的直线。直方图均衡化能达到增强图像的目的，这种处理方法有利于大的背景色调中有用信息的提取，其效果类似于中区扩展。

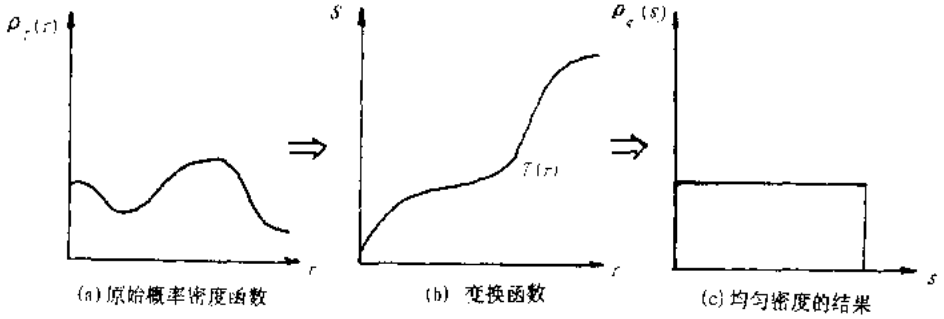


图 10-3 遥感图像直方图均衡化处理示意图

直方图均衡化也是一种对比度扩展算法，对图像进行均衡化处理的关键问题是求得变换函数$T(r)$,下面分别讨论连续和离散两种情况变换函数的确定方法。

1）连续图像函数均衡化处理变换函数的确定。

设 r 是已经进行过归一化处理的图像亮度值，则有:

$$0 \leqslant r \leqslant 1 \qquad (10-7)$$

直方图均衡化处理的变换函数为$T(r)$，图像均衡化处理后的灰度值为s $(s = T(r))$，假定变换函数$T(r)$满足下述条件:

(1) 变换函数$T(r)$在区间 $0<r<1$ 内是一单调递增函数;

(2) 对于 $0<r<1$,有 $0<T(r)<1$ 成立。

同样，变换函数的反函数$r = T^{-1}(s)(0<s<1)$ 也满足上述两个条件。

由概率论知识得:

$$\rho_s(s) = \rho_r(r)\frac{dr}{ds} \qquad (10-8)$$

式中，ρ_r——原始图像的概率密度函数;

ρ_s——均衡化图像的概率密度函数。

对于归一化和均衡化的图像有:

$$ds = \rho_r(r)dr \qquad (10-9)$$

两边取定积分得:

$$s = T(r) = \int_0^r \rho_r(r)\mathrm{d}r \qquad (10-10)$$

至此推导出了连续图像函数均衡化处理的变换函数$T(r)$，从式（10−10）可以看出，连续图像函数均衡化处理的变换函数就是原始图像的累积概率密度函数。

2）离散数字图像均衡化处理变换函数的确定。

对于离散图像概率密度函数可用每个灰度级像元出现的频数来近似，即：

$$\rho_r(r_k) = \frac{n_k}{n},\ 0 \leqslant r_k \leqslant 1 \quad k = 0,1,2,\cdots,L-1 \qquad (10-11)$$

式中，L——图像的亮度级数目；

n_k——灰度 k 级的像元数；

n——图像的总像元数；

$\rho_r(r_k)$——灰度级为 k 的像元出现频数。

离散图像的变换函数公式$T(r)$就是原始图像中像元的累积频数，变换后图像的灰度计算公式为：

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n} \qquad (10-12)$$

$$(0 \leqslant r_k \leqslant 1,\ k = 0,1,2,\cdots,L-1)$$

按照式（10−12）对遥感图像进行均衡化处理时，直方图上灰度分布较密的部分被拉伸；灰度分布稀疏的部分被压缩，作为一个整体图像的对比度将得到很大的增强[24]。

四、直方图归定化处理

直方图规定化又称直方图的归一化，顾名思义就是将原始图像的直方图调整为一事先规定的形式(如正态分布)，通过这种变换可以对原始图像的特定亮度范围进行增强处理。

对于连续图像函数，设$\rho_r(r)$，$\rho_z(z)$分别是原始图像和规定化图像的概率密度函数，对它们分别作直方图均衡化处理，即：

$$s = T(r) = \int_0^r \rho_r(w)\mathrm{d}w \qquad (10-13)$$

$$v = G(z) = \int_0^z \rho_z(w)\mathrm{d}w \qquad (10-14)$$

由于两个图像的均衡化结果是相等的，所以

$$z = G^{-1}(v) = G^{-1}(T(r)) \qquad (10-15)$$

对于离散的数字图像，可以首先分别对原始图像与规定图像作均衡化处理，然后再找出规定图像的灰度级与原始图像之间的对应关系，从而达到对原始图像进行规定化处理的目的。

五、利用 S600 系统对遥感图像进行对比度增强处理

1）线性扩展。S600 系统中为用户提供了两个进行图像线性扩展增强的程序。一个是 scale(cpu 与 m75)命令，用这个命令可以对图像进行全动态区间线性扩展增强处理；一个是 piecewise（cpu 与 m75)命令，这个命令主要用于对图像进行分段线性扩展增强，用户可以根据需要定义区间进行线性扩展增强。例：已知一幅图像其亮度动态变化范围是 70—200，若将这个区间分为 70—140 与 141—200 两个区段，使第一个区间亮度线性拉伸为 0—150，第二个区间线性拉伸为 151—255，以便达到增强图像有用信息的目的。在

S600 中我们可以用下面命令来完成:

10) cpu'piecewise / breakpoint = (70,0,140,150,200,255) input output

"10"代表命令行号，input,output 是线性扩展前后的图像文件名。

我们还可以用 m75'picewise 命令来完成这个功能，当使用 m75'picewise 进行分段线性扩展时，可以通过移动跟踪球来选择拉伸断点。

2) 非线性扩展。S600 系统中可以用于进行非线性扩展的功能命令有：expentional(cpu 与 m75)指数变换、对数变换 logrithm(cpu 与 m75)及高斯变换 cpu'gauss。

3) 直方图变换处理。S600 系统中用于直方图均衡化的命令是 histgram'equalize (cpu 与 m75)。S600 系统中的直方图均衡处理命令较简单，无命令参数可供选择；直方图归一化处理的命令是 cpu'histgram'normalize，归一化处理命令也无命令参数。

第二节 图像的平滑处理

就一幅图像而言，图像的背景如河流、主干及大型线性构造等亮度变化是渐变的(边缘变化除外)、区域性的，它们往往与图像中的低频相对应；而一些小地貌变化、小断裂的发育、岩石蚀变往往是在图像亮度的突变处，与图像中高频密切相关[2]。由于研究目的不同，有时需要突出主干区域性断裂的分布特征，有时则需要增强局部变化信息。前者可以通过压抑高频成分的方法实现称为图像的平滑；后者可以用增强高频成分的方法来实现称之为图像的尖锐化。本节将介绍图像的平滑处理方法，图像尖锐化处理方法将在下节介绍。图像平滑方法主要包括滑动平均、中值滤波、频率域低通滤波处理等。

一、滑动平均法

滑动平均法就是把输入图像中像元(i,j)的邻域平均灰度作为输出图像中像元(i,j)的灰度值。用这种方法可以降低由于图像中的噪声而引起的灰度偏差。邻域的大小与平滑的效果直接有关，邻域越大平滑的效果也就越好；但邻域过大，平滑使边缘信息损失就越大，从而可能使输出图像变得模糊。若取邻域为一 $N\times N$ 大小的正方形的区域时，则(i,j)点输出灰度值可按照下式来计算:

$$f_1(i,j)=\frac{1}{N^2}\sum_{k=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{l=j-N/2}^{j+N/2}f(k,l) \qquad (10-16)$$

式中，$f(k,l)$ ——平滑前图像的灰度值;

$f_1(i,j)$ ——平滑处理后的灰度值;

N ——平滑处理的窗口大小.

滑动平均法能降低图像中的噪声，但窗口过大也可能引起图像模糊，因而要合理地选择邻域的大小。

二、多图像平均法

多图像平均法是利用同一景物的多张影像相加来抑制噪声引起的高频成分，从而达到图像平滑的目的。多图像平均法假定图像数据和噪声都服从正态分布，而且每幅图像的噪声信号互不相关，且数学期望为零，这样多图像平均的结果将使图像中的噪声信号被抑制

减弱，有用信息得到加强，结果图像比单幅图像平滑[27]。

将同一景物的多张影像相加来消除噪声引起的高频成分的处理方法，在实际的遥感数字图像处理中用的不多，一方面是因为一般很难获得同一景图像的多张影像数据；另一方面的原因在于把多幅影像数据精确配准是很难做到的。

三、中值滤波

滑动平均是把 $N\times N$ 的局部区域中的灰度平均值作为区域中心点像元的输出值，而中值滤波是把局部区域中的中间亮度值作为区域中心点像元的输出值。当取定的局部区域为一 3×3 的正方形时，区域共有 9 个灰度值按照从小到大的顺序排列，其中的第五个就是区域中心像元点的输出亮度值。例如有一个 3×3 局部窗口，它的 9 个像元灰度值是：

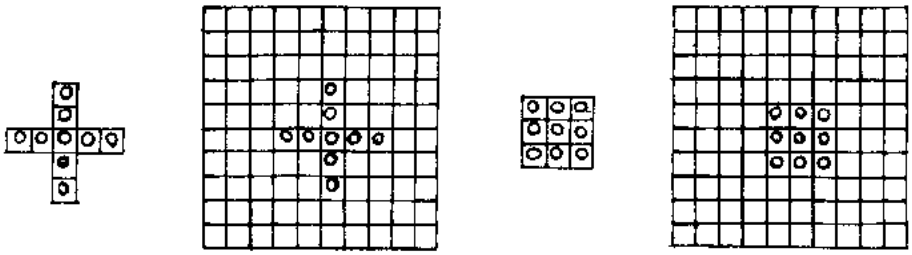
$$\begin{bmatrix} 100 & 102 & 90 \\ 101 & 105 & 88 \\ 121 & 100 & 101 \end{bmatrix}$$

把这 9 个像元灰度值按照从大到小的次序排列，则有：

88,90,100,100,101,101,102,105,121

排在第五的灰度值是 101，则中值滤波窗口中心点的灰度值由原图像中的 105 变为 101。

中值滤波窗口可以采用上面说的正方形窗口，也可以采用十字型窗口（图 10–4），方型滤波窗口主要用于抑制线性噪声，十字型滤波窗口对于点噪声的抑制效果较好。



(a) 方型滤波窗口　　(b) 十字型滤波窗口

图 10–4　两种常用的中值滤波窗口

中值滤波是一非线性滤波，它能在平滑的基础上很大程度地防止边缘模糊，这也是其优于滑动平均法的地方。

四、有选择的局部平均法

有选择的局部平均法其实质也是一种滑动平均平滑法，与滑动平均法稍有差别的是有选择的滑动平均是一种带门限值的滑动平均处理。它可以按照如下步骤进行：

(1) 给定一个门限值 T，并按照式 (10–16) 计算窗口内像元的灰度平均值 X。

(2) 计算 X 与窗口中心像元点灰度值的绝对差 D。

(3) 比较 D 与 T 的大小，如果 D 大于 T，则窗口中心像元的输出灰度值等于窗口内像元灰度的平均值 X；如果 D 小于或等于 T，则窗口中心像元灰度值保持不变。

按照式 (10–16) 对图像进行平滑处理，随着窗口的扩大，图像的模糊效应就越来越大，采用有选择的滑动平均平滑法，可以使边缘信息损失减少，减轻输出图像的模糊效应。

五、频率域低通滤波法

频率域低通滤波处理的程序是，首先计算图像的傅立叶变换；然后在频率域中用低通滤波器对图像进行滤波处理，抑制图像中的高频成分；最后把频率域低通滤波结果进行反傅立叶变换再回到空间域中。

对遥感图像进行频率域平滑处理的效果好坏与滤波器的选择密切相关，可以用于图像平滑处理的滤波器有理想滤波器、Butterworth 滤波器、指数滤波器以及梯型滤波器等。

理想滤波器的滤波算子是:

$$H(u,v)=\begin{cases}1, D(u,v)\leqslant D_0\\ 0, D(u,v)>D_0\end{cases} \qquad (10-17)$$

式中，$H(u,v)$ ——滤波算子;

$D(u,v)=(u^2+v^2)^{1/2}$;

D_0——截止频率。

Butterworth 滤波器的滤波算子是:

$$H(u,v)=\frac{1}{1+\left[\frac{D(u,v)}{D_0}\right]^2} \qquad (10-18)$$

指数滤波器算子是:

$$H(u,v)=e^{-\left[\frac{D(u,v)}{D_0}\right]^2} \qquad (10-19)$$

梯型滤波器算子是:

$$H(u,v)=\begin{cases}1 & D(u,v)<D_0\\ \dfrac{D(u,v)-D_1}{D_0-D_1}, & D_0\leqslant D(u,v)\leqslant D_1\\ 0 & D(u,v)>D_1\end{cases} \qquad (10-20)$$

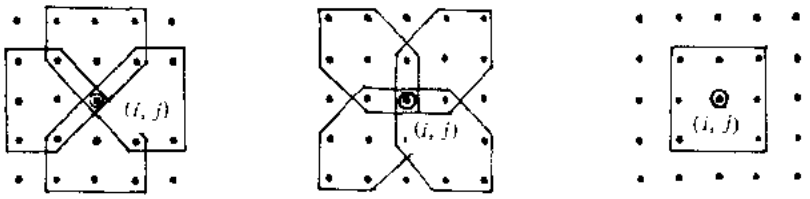
六、保持边缘的平滑处理

其目的既是平滑图像、又力求使边缘不模糊，实现方法是在像元周围寻找不含有边缘的局部区域，这一局部区域的平均灰度就是该像元位置上的输出灰度值。

1) 保持边缘的滤波处理[33]。保持边缘滤波能够在平滑图像的同时，最大限度地保证图像中的边缘信息不受损失。为了求像元点 (i,j) 的输出灰度值，首先从 (i,j) 邻区画出包含 (i,j) 点在内的 4 个五边形（图 10-5a)、4 个六边形（图 10-5b)、1 个正方形（图 10-5c)，共得到了反映各个方向特征的邻区 9 个(图 10-5)；分别计算 9 个邻区的灰度平均值与标准差；比较 9 个标准差的大小，(i,j) 点的输出值等于标准差最小邻区的平均值。

2) 同态滤波处理。同态滤波也是一种保持边缘的滤波方法，从第四章我们已经知道，空间域中影像的亮度是照射分量和反射分量的乘积，即:

$$f(x,y)=f_1(x,y)f_2(x,y) \qquad (10-21)$$



(a) 五边形　　(b) 六边形　　(c) 正方形

图 10-5　保持边缘滤波区域的选择示意图[33]

式中，$f(x,y)$ ——亮度；

$f_1(x,y)$ ——照射分量；

$f_2(x,y)$ ——反射分量。

通常，反射分量随地物的变化而变化，常表现为频域中的高频成分，而遥感图像中的照射条件除一些阴影区外一般差异很小、变化慢，与频域中的低频相对应。对式(10-21)两边取对数有：

$$\ln f(x,y) = \ln f_1(x,y) + \ln f_2(x,y) \qquad (10-22)$$

这说明亮度值的对数等于照射分量和反射分量的对数和，是一个低频函数与一个高频函数的叠加。用同态滤波进行保持边缘的平滑处理实施步骤是：①原始图像进行对数变换；②对数图像进行傅立叶正变换；③频域中低通滤波，如高斯变换；④对高通滤波结果作傅立叶逆变换；⑤进行指数变换（S600 中用命令 cpu′expentional)。

七、遥感图像的噪声类型与平滑处理方法[27]

遥感图像噪声分为随机噪声、孤立噪声、平稳周期噪声以及非平稳周期噪声四种。

随机噪声的特征是用灰度级从一个像元到一个像元的统计变化来描述，它的特征是其具有随机性，随机噪声的抑制常常采用滑动平均或是频率域低通滤波方法。

孤立噪声是指图像中孤立的劣质像元或劣质行，这种像元一般具有 0 灰度级或最大灰度级，相对来说，中值滤波对于这种图像的平滑效果较好。

平稳周期噪声是一种寄生的重复模式，它在整个图像中有一定的变化规律和稳定性，抑制这种噪声影响的较好方法是先对图像进行傅立叶变化，然后在傅立叶变化功率谱图像中除掉噪声频率，最后返回空间域从而得到光滑的图像。

非平稳周期噪声是周期的，但其幅值与频率是变化的。

八、利用 S600 系统对遥感图像进行平滑处理

1）滑动平均平滑的实现。S600 系统中滑动平均可以用命令 convovle（m75 与 cpu）完成，不过此时模板元素值都应取为 1。

2）多图像平均的实现。可以用 S600 的 cpu′add 命令或 m75′add 命令来完成。

3）中值滤波的实现。S600 系统中有两个用于中值滤波的命令：image__edit(一维 Tukey 中值滤波)、median′filter(二维 Tukey 中值滤波)。

4）频率域低通滤波处理的实现。频率域低通滤波处理可以用 m75′fft′transformation 计算图像傅立叶变换，用 m75′gauss__filter__2d 命令进行二维高斯滤波并返回到空间域。

5）同态滤波的实现。同态滤波中的对数变换命令是 m75′logarithm，利用 S600 系统

进行同态滤波，需要计算对数图像的傅立叶变换，傅立叶正变换的命令是 m75'fft'transformation，傅立叶逆变换命令是 m75'fft'inverse_transformation。

第三节　遥感图像的线与边缘特征增强处理

图像的线与边缘特征增强处理即图像的尖锐化处理。常用的图像尖锐化处理方法有微分法、卷积处理、统计区分法[9]、频率域高通滤波法等。

一、微分尖锐化

1）一次微分法。一次微分在离散的情况下可以用差分近似代替，其表达式为：

$$\Delta = [f(x+1,y) - f(x,y)]\cos\theta + [f(x,y+1) - f(x,y)]\sin\theta \qquad (10-23)$$

一次微分是图像尖锐化的最基本算法，一次微分是一种高通滤波器，其缺点是易于放大噪声，因此许多学者提出了一些计算简单又能抑制噪声的微分方法：

(1) Robert 梯度[34]，像元点(i,j)的 Robert 梯度为：

$$|gradf| = |f(i,\ j) - f(i+1,\ j+1)| + |f(i+1,\ j) - f(i,\ j+1)| \qquad (10-24)$$

(2) Sobel 梯度[35]，像元点(i,j)的 Sobel 梯度定义为：

$$|gradf| = |x| + |y| \qquad (10-25)$$

其中

$$x = f(i-1,j-1) + 2f(i-1,j) + f(i-1,j+1) - [f(i+1,j-1) + 2f(i+1,j) + f(i+1,j+1)] \qquad (10-26)$$

$$y = f(i-1,j-1) + 2f(i,j-1) + f(i+1,j-1) - [f(i-1,j+1) + 2f(i,j+1) + f(i+1,j+1)] \qquad (10-27)$$

2）二次微分法。可以证明(请参阅有关数学书籍)：一次微分是各向异性的，也就是说微分因方向不同而不同，因而主要用于增强遥感图像中的方向线与边缘，也就是图像的线与边缘检出。偶数次微分（如二次微分）是各向同性的，常常用于无明显方向性的边缘特征的检出，如遥感图片中的环形体增强主要用的是二次微分，其中最常用的是拉普拉斯算子[36]，像元点(i,j)的拉普拉斯算子定义为：

$$\Delta = f(i+1,j) + f(i-1,j) + f(i,j+1) + f(i,j-1) - 4f(i,j) \qquad (10-28)$$

二、空间域的定向滤波

图像的定向滤波又称为图像的卷积运算，也就是通过一定尺寸的方向模板对图像进行卷积运算，并以卷积值代替各点亮度值来实现的。所谓的方向模板（卷积核）是一个各元素大小按照一定的规律取值，并因而对于某一方向灰度变化最敏感的数字矩阵。它在所要增强的方向上取值最大，从而突出该方向的信息。方向模板分零和模板与非零和模板两种，零和模板元素的代数和为 0，非零和模板其元素代数和不为 0。模板与图像的卷积运算是指模板的中心沿图像像元依次移动，在每一位置上把模板中每个点与图像上相对应的像元点相乘后再相加。即：

$$f = m_1 g_1 + m_2 g_2 + \cdots + m_q g_q \qquad (10-29)$$

式中，m_i——方向模板元素值；

g_i——相应图像区域各像元亮度值；

f——图像卷积值，也就是模板中心点对应像元卷积运算后的灰度输出值。

图 10-6 给出了几个零和模板与非零和模板的例子。

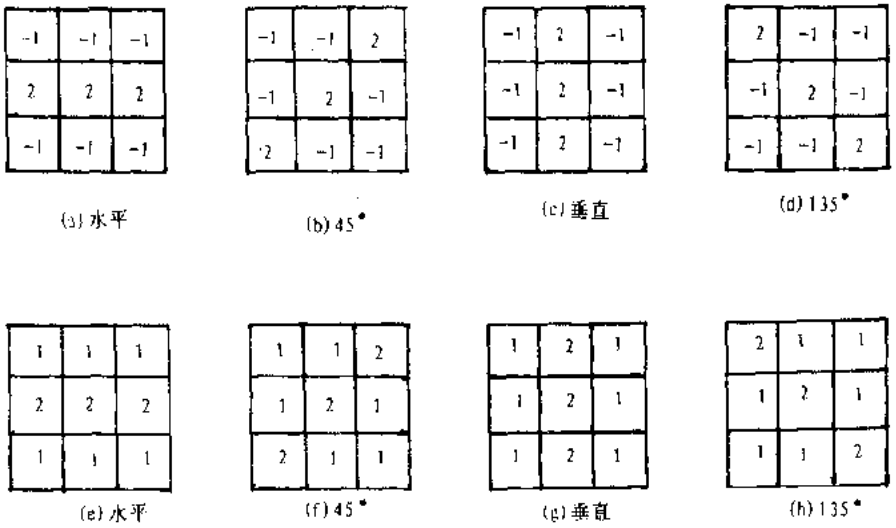


图 10-6　卷积方向模板

卷积运算是一种定向滤波运算，卷积的效果决定于模板的最大响应方向。准确地确定模板的最大响应方向是卷积运算的重要内容。模板方向的判定准则是，计算模板 0°，45°，90° 以及 135° 4 个断面方向所有与之平行的直线上的各项对数和，每个方向的中间项与两侧都存在差异，差异最大的方向就是模板的响应方向。例如，图 10-6 中模板(b)，其 0° 方向的三条直线的代数和是 0，0，0；45° 方向为−1，−2，6，−2，−1；90° 方向是 0，0，0；135° 方向是 2，−2，0，−2，2。很显然 45° 方向中间项的 6 与其两侧的−2 代数差最大，所以图 10-6(b)的模板响应方向是 45°。

遥感图像处理往往要根据处理要求设计模板，模板设计的方法是首先排出模板响应方向中间平行线上的模板元素值，一般都取为相同的数字，然后排出模板响应方向的其它直线上的元素值，使它们与中间平行线之间存在差异即可。

三、统计区分法

统计区分法对边缘进行增强处理也是采用邻域处理方法，取像元点 (i,j) 的一个邻域（为了计算方便，常常取一个以 (i,j) 为中心的正方形区域），则像元点的灰度输出值由下式给出：

$$f_2(i,j)=\frac{f_1(i,j)}{\sigma(i,j)} \qquad (10-30)$$

式中，$f_1(i,j)$ ——原图像像元点(i,j) 的灰度值；

$f_2(i,j)$ ——输出图像像元点(i,j) 的灰度值；

σ ——原图像像元 (i,j) 邻域内所有像元灰度标准差.

四、频率域的高通滤波处理

利用频率域技术对遥感图像进行平滑处理的原理与对图像进行尖锐化处理是相似的，所不同的是平滑处理用的是低通滤波器，而尖锐化处理用的是高通滤波器，常用于图像边缘与线特征增强的高通滤波器有理想高通滤波器、Butterworth 滤波器、指数滤波器以及梯型滤波器等。

理想滤波算子为:

$$H(u,v)=\begin{cases}0, D(u,v)\leqslant D_0\\ 1, D(u,v)>D_0\end{cases} \qquad (10-31)$$

式中，D_0——截止频率;

$D(u,v)=(u^2+v^2)^{1/2}$。

高通型 Butterworth 滤波算子为:

$$H(u,v)=\frac{1}{1+[\frac{D_0}{D(u,v)}]^2} \qquad (10-32)$$

高通型指数滤波器算子为:

$$H(u,v)=e^{-[\frac{D_0}{D(u,v)}]^2} \qquad (10-33)$$

高通型梯型滤波算子为:

$$H(u,v)=\begin{cases}0 & D(u,v)<D_1\\ \dfrac{D(u,v)-D_1}{D_0-D_1} & D_1\leqslant D(u,v)\leqslant D_0\\ 1 & D(u,v)>D_0\end{cases} \qquad (10-34)$$

五、利用 S600 系统对遥感图像进行尖锐化处理

1) 计算 robert 与 sobel 梯度。S600 系统中进行 robert 操作的命令是: m75′robert，进行 sobel 操作的命令是 m75′sobel。

2) 定向滤波处理。m75′compass 可以完成八个方向的滤波处理。

3) 卷积处理。卷积运算用命令 convole(m75 与 cpu)完成。固定方向的滤波还可以使用命令 m75′compass。

4) 拉普拉斯变换。S600 系统中进行拉普拉斯变换可以用命令 m75′laplace，也可以用卷积命令来作拉普拉斯变换，不过此时的卷积核应是拉普拉斯算子。

5) 频率域高通滤波处理。频率域高通处理命令与上节所讲的低通滤波处理命令相同。

第四节　比值与差值处理

比值法和差值法适用于对多波段图像或多时相(多日期) 图像进行增强处理，突出不同地物的波谱特征差别．波谱特征显著不同的地物之间的差异在经过适当反差扩展的单波段图像上及假彩色合成图像上很容易识别；波谱特征差别很小的地物，如不同的岩石和土壤等，就需要求出两个波段或不同时间图像亮度值的比值或差值，才能充分显示其差别．两个波段的比值和差值有相似的效果，但也有些不同的特点。

在由三个波段组成的假彩色合成图像中，虽然存在波段之间的比值或差值的信息，但是这种信息较弱，有相当部分被抑制和掩盖，造成人眼识别的困难，其原因主要是：①图像显示器所显示的动态范围有限，很小的亮度差异难以辨识；②波段之间亮度值差异很小的信息与总的反射强度差异信息混在一起，不易分辨。由于波段之间照射条件及变化是一致的，因此对两个波段图像进行差值与比值运算，往往能减弱背景而突出局部信息，达到图像增强的目的。

一、比值法

比值法增强是通过比值图像来突出类别或目标信息的．比值就是除法运算，比值图像由两个波段对应像元的亮度值之比或几个波段组合的对应像元亮度值之比获得．比值图像能消除山影、云影影响，显示隐伏构造，区分在单波段中容易发生混淆的地物等。

进行图像比值处理的原因有三个:

1) 光照条件的变化（由地形的阴、阳坡，云层等引起)，使本属同一地物的图像亮度值发生变化（例如，在山坡的阳面与背阳面，由于太阳光照条件的差别，同一岩层在当阳面的光谱辐射能量大于背阳面的光谱辐射能量)；但同一地物的某种亮度比值保持不变，因此比值图像能消除某些干扰因素，突出目标信息。

2) 利用比值图像使各类地物的均值拉开，方差缩小，以利于区别分类。例如，有些文献认为利用 TM5／TM4 和 TM7／TM5 的比值图像可以很容易地把铁帽和植被区分开来。

3) 比值图像可以突出某些地物，削弱某些地物，从而提取目标信息。这主要是采用比值彩色合成法。

比值图像直方图一般不对称，比值一般集中在一个很小的数值范围之内，为了显示比值图像的效果，总希望比值的直方图接近于高斯正态分布，因此可对比值图像再作一些非线性变换，如高斯变换，反正切变换等。

比值分为简单比值与组合比值两类．简单比值就是两个波段图像的比值，组合比值是波段组合的比值，共有三种:

1) 和差组合比值:

$$\frac{b_i-b_j}{b_i+b_j}\ ;\qquad \frac{b_i-b_j}{b_i}\ ;\qquad \frac{b_i-b_j}{b_j} \tag{10-35}$$

这种比值相当于对基本比值进行不同程度的非线性扩展。

2) 交叉组合比值．交叉组合比值是由三个或更多波段构成的比值，其中分子和分母

所包含的波段是不同的。例如：

$$\frac{b_i + b_j}{b_k} = \frac{b_i}{b_k} + \frac{b_j}{b_k} \tag{10-36}$$

这种比值实际上相当于两个相同分母的单比值的和，如果b_i,b_j两个波段相关程度较高，上面等式两边的三个比值没有显著的差别(此处指的是三者的值呈比例关系，而不是说三者在数值上是严格相等的)，很显然这种比值的和有利于随机噪声的抑制。

3）标准化比值。标准化比值是以单个波段为分子，以所有波段的和为分母得出的比值，如果取 n 个波段，则其标准化比值为：

$$R_i = \frac{b_i}{\sum_{j=1}^{n} b_j} \tag{10-37}$$

这种比值的分母相当于总的亮度，比值中反映了这方面的信息。这种比值有利于区分色调相似，而亮度不同的岩石或土壤。

比值图像的主要弱点是失去了地物总的反射强度（反照率）信息。例如暗色岩石与浅色岩石的明显差别。为了补救这一不足，有时可利用一个波段图像和两个比值图像作彩色合成，比值图像的另一个缺点是常常放大了图像的噪声。

最佳比值图像的选择是比值图像处理的一个重要问题，对一幅 TM 影像的六个波段进行比值处理，可产生 $d=6(6-1)=30$ 个简单比值图像，用这些比值图像作彩色处理可以产生 $30\times29\times28$ 不同组合。从多比值图像中选择最佳比值图像的方法是以波谱资料为依据，选择有利于识别区内不同地物的最佳波段，并只对这些波段作比值处理。

二、差值法

差值法处理主要用于：①提取多时象图像中地物随时间而变化的信息，如农作物变化；②对多波段图像不同波段之间差别的增强。差值可以是正值也可以是负值，要在显示器上显示需要进行适当的调整和扩展，使差值为 0 的部分处于 0—255 的中部，因此，差值法的通用算法是：

$$DK = a(g_i - g_j) + b \tag{10-38}$$

式中，DK——差值图像；

g_i,g_j——差值运算图像；

a,b ——常数，为调节系数，其目的是通过选择 a,b 使差值为 0 的点变为 128。

三、比值与差值的预处理与后处理问题

1）比值与差值的预处理问题。在进行比值与差值处理前所要进行的预处理包括两方面的内容，其一是大气散射校正处理；其二是噪声的抑制处理。大气散射校正方法在第八章中已经作了介绍。噪声抑制主要考虑到噪声对比值与差值结果的影响，一般在比值处理前，对参加比值运算的图像进行平滑处理。

2）比值与差值处理的后处理问题。比值与差值常常会放大图像中的噪声信号，因此在进行比值与差值分析时，比值与差值处理前后的平滑处理都是必要的；比值与差值处理使不同地物的均值拉大，同类地物的方差缩小，在图像直方图上灰度分布相对集中，因而

图像的对比度较差，所以比值与差值处理结果常常需要进一步进行对比度扩展处理，以增强比值图像的视觉效果与可解译性。

四、植被指数[5]

所谓的植被指数（或绿波指数）就是由多光谱数据，经过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，除了第九章所介绍的缨帽变换中的"绿度"组分能够指示植被特征外，近红外波段与可见光的一些简单的比值与差值组合也具有植被指示功能。

1）归一化差值植被指数。归一化植被指数又称为标准化植被指数，它被定义为近红外波段与可见光波段的数值之差与这两个波段数值之和的比值，对于 MSS 图像标准化植被指数的计算公式为：

$$ND = \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5} \qquad (10-39)$$

式中，ND——标准植被指数；

$MSS4, MSS5, MSS6, MSS7$——MSS 传感器的四个通道数据。

2）比值植被指数。比值植被指数被定义为近红外波段与可见光红光波段的比值，例如对于陆地卫星的 MSS 数据，比值植被指数的计算公式为：

$$ND = \frac{MSS7}{MSS5} \qquad (10-40)$$

3）环境植被指数。环境植被指数被定义为近红外波段与可见光波段数据的差值，例如陆地卫星 MSS 图像的环境植被指数计算公式为：

$$ND = MSS7 - MSS5 \qquad (10-41)$$

五、利用 S600 系统对遥感图像进行比值与差值处理

1）比值处理。S600 系统中用于比值处理的命令有 divide(m75 和 cpu)。此外，还有一被称之为标准比值的命令 m75′ratio。应该注意的是 S600 中所说的标准比值命令不同于本节前述的标准比值。它的含意是：对于输入图像 a、b、c、d 经过 m75′ratio 处理后的结果是一彩色图像，其第一、第二、第三波段分别是 a / b、b / c、c / d，一般说来前一种比值算法在地质遥感图像处理中用得更多。S600 系统中的 cpu′divide 命令可以输入几个图像，完成各种复杂的比值处理。

2）差值处理。S600 中可以用于差值法增强的命令是 add（cpu 和 m75），其命令参数 weight 必须选择为（1,−1），S600 的 cpu′add 命令可以对多幅图像进行较复杂的差值处理。

第五节　图像的彩色增强处理

由于人的视觉系统对不同色彩的分辨能力远远高于对灰度级的分辨率，通常人眼只能分辨十几个灰度级，但可以分辨上千个色彩层次[33]，因而彩色增强在图像处理中应用十分广泛且效果显著。彩色处理是在一幅图像上同时显示一个以上波段信息最有效的方法。图像的彩色显示或彩色增强有三种情况：

1）真彩色即图像上显示的色调与地物的真实颜色相同或近似，例如真彩色航空照片

或卫星像片，TM 图像由三个可见光波段，即 1（蓝）、2（绿）、3（红）波段合成的图像。

2）假彩色是任意三个波段或经过运算处理产生的三个分量图像分别用红、绿、蓝显示而合成的彩色。

3）伪彩色（pseudocolor)一般是指由一个波段或经过处理的单分量图像按照其像元值的大小分别赋与不同的彩色。

一、假彩色合成原理

在遥感图像处理中，假彩色合成是应用最广泛的彩色增强处理方法。可以用摄影光学处理、电子光学处理等模拟方式完成，也可以通过数字处理而实现。在数字图像处理系统中，任何三个通道分别用蓝、绿、红三原色作合成显示是最基本的显示功能。图像处理中最主要的工作是选择哪三个波段或已处理的分量作为假彩色处理用的分量，以便使假彩色增强处理的效果达到最佳。在 MSS 图像数据的处理中通常用 7（红）、5（绿）、4（蓝）三个波段作所谓的"标准"假彩色合成。这种合成方案能比较全面地反映各种地物和地质体在可见光波段的颜色差别和近红外波段的反射特征。值得一提的是，构成假彩色合成的三个分量可以是任何经过其它增强处理或变换的图像，例如比值图像、主分量图像等。实际上在处理过程中，更多的是采用这种假彩色增强方案。

S600 系统中可以用于假彩色处理的命令有：cpu'merge，m75'selet。后者只能用于显示图像的假彩色处理。

二、伪彩色（pseudocolor)增强处理

伪彩色增强是将一个波段或单一的黑白图像变换为彩色图像，从而把人眼不易区分的微小灰度差别显示为明显的色彩差异，使之更便于解译和提取有用信息。

把黑白图像转换为彩色图像是通过伪彩色变换实现的。一般的伪彩色变换是由输入的黑白（单波段）图像通过三个独立的数学变换产生红、绿、蓝三个组分图像，然后合成为伪彩色图像。伪彩色增强的图像中彩色组合情况取决于三个彩色变换函数的搭配关系。图 10-7 表示一组典型的彩色变换函数，其中 L 是最大灰度值，对应于红、绿、蓝三个分量采用了三个不同的分段线性变换。这样，最低的灰度变为蓝色，最高的灰度成为红色，而中间灰度为绿色。三者之间则呈现渐变的中间色调。

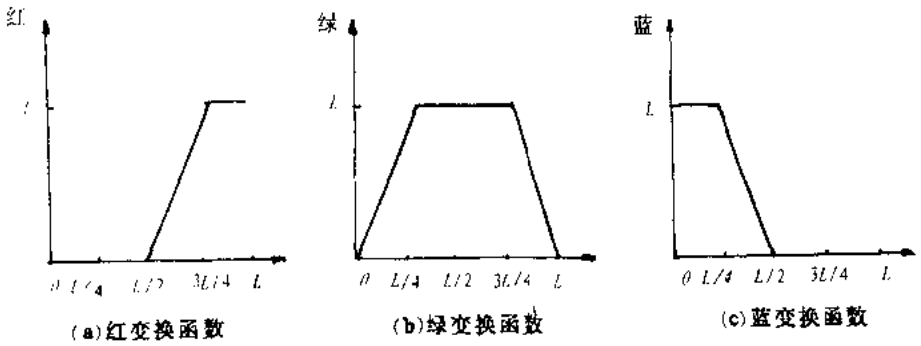


图 10-7　一组典型的伪彩色变换

在遥感图像处理中常常用到一种所谓异频组合的伪彩色处理方案，对于单波段的图像通常将图像的高通滤波结果作为红色通道数据、原始图像数据作为绿色通道、原始图像的低通滤波结果作为蓝色通道数据进行伪彩色处理，以突出图像中的不同频率信息特征。

S600 系统中用于伪彩色处理的命令是 m75'pseudocolor,用这个命令对显示图像进行假彩色处理时，操作者可以通过跟踪球左右移动来调节颜色变化，上下移动来变换色调的层次。

三、多波段彩色合成

多波段彩色合成就是把三个波段图像数据分别作为红、绿、蓝三通道数据进行彩色显示。由三个波段经过一般的反差扩展而产生的假彩色合成图像并不一定具有良好的效果。实际上对图像进行多波段彩色变换之前，通常先对参加合成的三个分量分别进行线性或非线性扩展，以便使合成的图像色调层次多，包含的信息量最大。

S600 系统中可用于多波段彩色合成处理的命令有：cpu'merge, m75'select。

四、彩色空间变换

在图像处理中经常应用的彩色坐标系统（或称彩色空间）有两种：一是由红（R)、绿（G)、蓝（B）三原色组成的彩色空间即 RGB 空间；另一种是由色调（H)、饱和度(S）以及明度（I)（或叫强度、亮度）三个变量构成的空间即 IHS 空间，又称为芒色尔(MUNSELL)彩色空间。两种坐标系的变换称为彩色坐标变换，通常把由 RGB 向 HSI 空间的变换称为芒色尔变换（或 HSI 变换），其反向变换即由 HSI 空间向 RGB 空间的转换，称为 RGB 变换。

RGB 空间是遥感图像处理中最常用的彩色空间，主要是因为 RGB 空间比较简单有效，但 RGB 存在如下一些不足[8]:

1）RGB 空间用红、绿、蓝三原色的混合比例定义不同的色彩，使不同的色彩难以用准确的数值来表示，并进行定量分析。

2）RGB 系统中，由于彩色合成图像通道之间的相关性很高，使合成图像的饱和度偏低，色调变化不大，图像的视觉效果较差。对相关性较高的图像作对比度扩展，通常也只是扩大了图像的明亮程度，对增强色调差异作用较小。

3）人眼不能够直接感觉红、绿、蓝三色的比例，而只能够通过感知颜色的亮度、色调以及饱和度来区分物体，而色调和饱和度与红、绿、蓝的关系是非线性的，因此，RGB 空间中对图像进行增强处理结果难以控制。

IHS 系统能够准确定量地描述颜色特征，因而遥感图像的数字处理与分析中，常常需要把 RGB 空间转换为 IHS 空间，采用不同的坐标系可以得到不同的彩色空间变换模型。在此只介绍两种较常用的、简单的变换模型[18]。

1）柱面坐标系模型。柱面坐标系模型是 Raines 在 1977 年提出的[31]。在这个模型中 RGB 空间被表示成三维直角坐标系形成的颜色立方体（图 10-8），颜色立方体的对角线为灰度线。RGB 空间中的任一点 $P=(R,G,B)$的亮度被定义为该点在灰度线上的投影长度，饱和度被定义为 P 点到灰度线的距离，与亮度 I 轴垂直的平面上以 I 为圆心的方位角被定义为色调，则可以推导出 IHS 变换式为:

$$\begin{cases} I = \dfrac{\sqrt{3}}{3}(R+G+B) \\ S = \sqrt{(X-R)^2+(X-G)^2+(X-B)^2} \\ H = \tan^{-1}(\sqrt{3}\dfrac{G-B}{2R-G-B}) \\ X = \dfrac{R+G+B}{3} \end{cases} \tag{10-42}$$

如果，$0 \leqslant R \leqslant 255$，$0 \leqslant G \leqslant 255$，$0 \leqslant B \leqslant 255$；则 $0 \leqslant I \leqslant 442$，$0 \leqslant S \leqslant 208$，$0 \leqslant H \leqslant 360$。

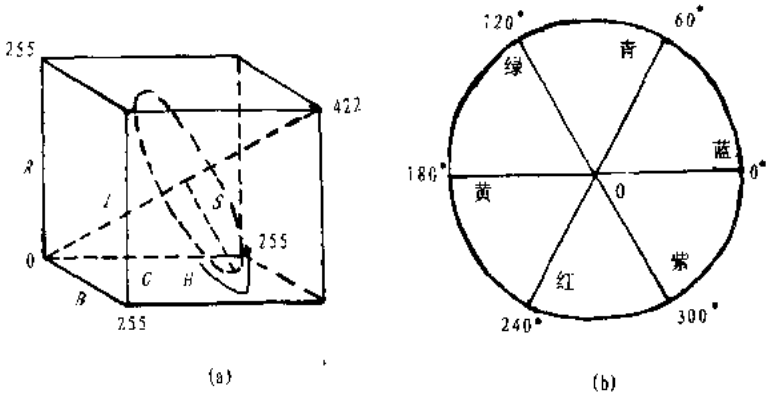
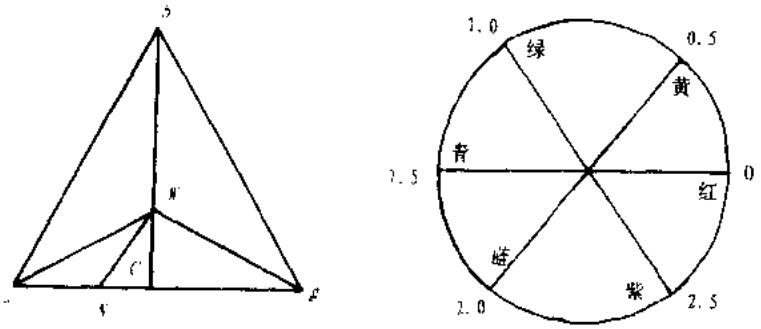


图 10-8　RGB-IHS 变换的彩色立方体模型[18,37]

(a) RGB 与 IHS 的几何关系；(b) 色度所代表的颜色

2) 色度坐标系模型[38]：图 10-9 是这种模型的 IHS 变换关系图，这种模型采用 R,G,B 总量的相对比例 r,g,b 来表示颜色

$$r = \frac{R}{R+G+B},\quad g = \frac{G}{R+G+B},\quad b = \frac{B}{R+G+B} \tag{10-43}$$



(a) RGB 与 IHS 的几何关系　　(b) 色度代表的颜色

图 10-9　IHS 变换关系示意图

亮度定义为 R,G,B 三原色的平均值，饱和度定义为色点 C 到中心点（即白色点）W 的相对距离 WC/WN，色调定义为 N 点到 r 点的距离 $H=rN/rg$，则 IHS 的正逆变换

公式为表 10-1 所示[38]。

实际图像处理时，并不是只简单地作一下芒色尔变换就行了，通常用的处理方法是：①考虑到明度(I)动态变化范围很宽，而饱和度(S)及色调(H)变化范围很窄。把 H、S 分别进行反差扩展，然后与（I）一起作彩色显示；②用明度（I）和经过适当反差扩展的饱和度(S)及色调（H)一起作 RGB 变换返回到 RGB 空间；③用明度（I）与其它波段或组分图像（如比值图像）一起进行假彩色显示。

S600 系统中用于遥感图像彩色变换的命令是 m75′rgb-yiq 其中 y 表示明度（I)，i 表示色调（H)，q 表示饱和度(S)。彩色逆变换也是用这一命令，与正变换所不同的是所选择的命令限定值不同。

表 10-1 IHS-RGB 变换公式[38]

条　件	正变换计算公式	逆变换计算公式
$R>B\leqslant G$ 或 $0\leqslant H<1$	$I=\frac{1}{3}(R+G+B)$ $H=\frac{G-B}{3(I-B)}$ $S=1-\frac{B}{I}$	$R=I(1+2S-3HS)$ $G=I(1-S+3HS)$ $B=I(1-S)$
$G>R\leqslant B$ 或 $1\leqslant H\leqslant 2$	$I=\frac{1}{3}(R+G+B)$ $H=\frac{B-R}{3(I-R)}+1$ $S=1-\frac{R}{I}$	$G=I(1+5S-3HS)$ $B=I(1-4S+3HS)$ $R=I(1-S)$
$B>G\leqslant R$ 或 $2\leqslant H<3$	$I=\frac{1}{3}(R+G+B)$ $H=\frac{R-G}{3(I-G)}+2$ $S=1-\frac{G}{I}$	$B=I(1+8S-3HS)$ $R=I(1-7S+3HS)$ $G=I(1-S)$

第六节　其它增强处理方法

除了以上介绍的一些典型图像处理算法之外，在遥感数字图像处理中，还有一些常用且有效的图像处理方法，下面将选择介绍。

一、遥感图像的密度分割处理

密度是卫星图像分析的最主要参数之一。密度分割即对图像亮度范围进行分割，使一定亮度间隔对应某一类地物或几类地物从而有利于图像的增强和分类。

1）密度分割原理。数字图像 *IA* 是一个二维数组，数组元素 $IA(i,j)$ 的值 $f(i,j)$ 就是各像元的亮度值。找出 *IA* 中的最大亮度值和最小亮度值，在该亮度范围内定出要分的级数和每一级分割点的值，再根据各像元亮度大小确定其属于那级，并以特定的颜色表示，即完成了密度分割。如某数字图像其最大亮度为 *N*，最小亮度值是 *M*，要分为 6 级，分割点

a,b,c,d,e 各像元 $IA(i,j)$ 亮度值以 $f(i,j)$ 表示，则可分割如下：

$M \leqslant f(i, j) < a$时，像元$IA(i, j)$属于第一类；

$a \leqslant f(i, j) < b$时，像元$IA(i,j)$属于第二类；

$b \leqslant f(i, j) < c$时，像元属于第三类；

$c \leqslant f(i, j) < d$时，像元属于第四类；

$d \leqslant f(i, j) < e$时，像元属于第五类；

$e \leqslant f(i, j) \leqslant N$时，像元属于第六类。

2）分割方法。密度分割最主要的问题是确定分割级数和分割点，分割方法可归纳为线性密度分割和非线性密度分割。线性密度分割指的是对所研究的亮度范围进行均匀分割(即亮度间隔相等)，其计算公式为：

$$FLEV = FL + \frac{(I-1)(FH-FL+1)}{GN} + 0.5 \qquad (10-44)$$

$$(I = 1,2,\cdots,GN)$$

式中，$FLEV$ ——每一级分割点的值；

GN ——所要分割的级数；

FH ——最大亮度值；

FL ——最小亮度值。

非线性密度分割指的是对所研究的亮度范围进行非均匀分割，对感兴趣的亮度方位进行扩展，对不感兴趣的亮度范围尽可能压缩。下面给出非线性密度分割的四种标度及相应的计算公式[2]：

(1) 平方根标度。暗区扩展，亮区压缩。其计算公式为：

$$FLEV = [\sqrt{FL} + \frac{(I-1)\sqrt{FH} + \sqrt{FL}}{GN}][\sqrt{FL} + \frac{(I-1)\sqrt{FH} + \sqrt{FL}}{GN}] + 0.5 \qquad (10-45)$$

(2) 对数标度。暗区压缩，亮区扩展。计算公式为：

$$FLEV = \frac{(FH-FL)\ln I}{\ln(GN+I)} + 0.5 \qquad (10-46)$$

(3) 正弦标度一。中区扩展，暗、亮区压缩，公式为：

$$FLEV = FL + \frac{(I-1)(FH-FL+I)}{GN} + [0.1(FH-FL)\sqrt[5]{\frac{1.1}{\sqrt[3]{GN}}} + 0.4]\sin\frac{2(I-1)\pi}{GN} + 0.5 \qquad (10-47)$$

(4) 正弦标度二。亮、暗区扩展，中区压缩。公式为：

$$FLEV = FL + \frac{(I-1)(FH-FL+I)}{GN} + [0.1(FH-FL)\sqrt[5]{\frac{1.1}{\sqrt[3]{GN}}} + 0.4]\sin\frac{2(I-1)\pi}{GN} + 0.5 \qquad (10-48)$$

3）根据实际情况确定分割级数和分割点的方法。

(1) 根据图像直方图峰点和谷点的具体值来决定分割级数和分割点。

(2) 根据各类地物亮度值，求出各类地物的均值、标准偏差、确定分割级数和分割点。

用 S600 系统中可用于密度分割的命令是 m75'color。m75'palalete 也可用于图像的分割处理。此外，S600 系统中还有一个称为密度分割的功能命令 m75'level_slice。但是，其算法与前面所介绍的不同，它只能对一幅单波段图像的整个灰度动态变化范围的某一区间进行着色处理。

二、遥感图像的二值化处理

二值化处理即是把一幅原始图像按照一定算法变为 0，1 二值图像。最常用的算法是阈值法，也就是说设定某一阈值 a，用 a 将图像的数据分成两部分：大于等于 a 的像元集合群；小于 a 的像元集合群。如输入图像为 $f(x,y)$，二值化输出图像为 $f_1(x,y)$ 则计算公式为：

$$f_1(x,y)=\begin{cases}1, & f(x,y)\geqslant a\\ 0, & f(x,y)<a\end{cases} \qquad (10-49)$$

上述二值化公式采用的是单一阈值，也可以采用多个阈值，把原图像的灰度动态变化范围分为几个区间，再把一部分区间像元输出值设定为 0，另一部分像元输出值设定为 1，同样可以完成一幅图像的二值化处理。

在遥感图像数字处理中，二值化处理的关键问题是如何选择变换阈值，最常用的方法是根据图像的直方图的峰点、谷点来选择变化阈值。然而，在很多情况下，图像的直方图并不具有明显的多峰特征，一般说来，选择阈值比较困难。用于这种情况的阈值选择方法有[33]：最大方差阈值的设定，最小误差阈值的设定，差方直方图法，拉普拉斯直方图法。详细的算法描述参见文献[33]。

在遥感数字图像处理中，二值化处理一般并不是单独用于增强有用信息。主要是用于提取遥感图像线性体解译图，以便于专题解译。例如，我们知道方向滤波、方向卷积都能增强线性构造，使不同色调之间界线(这种界线可能是断层线，也可能代表了地层单元的分界线，也可能是有一定规模的蚀变带) 更加明显，但这种差别是相对于背景的一种差异，没有一个截然的界线。不同色调之间的分界，线性体与非线性体的划分，还需要有经验的专业人员来判断和描绘，通常很难达到精确。二值化处理时，可以用 1 表示线条像元，0 表示背景像元，以此得出一幅由各种方向线条组成的直观明了的线性体解译图，从而大大地方便了研究人员对线性体的解译。需要指出的是，用方向滤波、方向卷积增强线性体的变化梯度时，既有正向梯度也有负向梯度。正向梯度对应于卷积图像的最高值部分，负向梯度对应于卷积图像的最低值部分。因此，对卷积图像进行二值化处理时，必须使用两个阈值，把最暗区和最亮区都输出为 1，其余的像元输出为 0，才能使二值化图像代表了一个完整的线性体分布图。

S600 中对于二值化处理有专门的功能命令 m75'binarize。实际上，使用分段线性扩展命令 (PICEWISE)进行二值化处理会更方便。例如有一幅卷积图像其灰度动态变化范围是 0—255，从直方图选择的二值化的两个阈值是 10，245，用 cpu'piecewise 进行二值化处理的命令形式为：

3) cpu'piecewise / breakpoint = (0,1,10,1,11,0,244,0,245,1,255,1)　C　L

这里，3）表示命令行号；C 表示输入图像（卷积图像）；L 表示输出的二值化图像。

三、S600 系统中的 Wallis 变换

Wallis 变换是遥感图像处理工作中经常用到的一种处理方法，这种方法甚至比线性扩展、非线性扩展还要用得多而且有时会更有效。Wallis 变换实际上也是一种空间变化的对比度扩展．其功能是加大图像对比度，突出图像的细微特征，具有明显的图像增强功能。Wallis 变换对于提取大范围均匀色调区域中的细微变化信息尤其有效。由于算法具有杂凑滤波效应，因此对于反差已较大，噪声也较大的图像一般不宜于用 Wallis 变换方法来进行增强处理。Wallis 变换实现原理是：对一给定的窗口，通过改变窗口内图像数据的统计特征（局部标准方差，局部均值）来达到扩展对比度增强图像信息的目的．其计算公式为:

$$p_1(x,y)=\frac{s_1(p(x,y)-m)}{s+s_1/max}+AM_1(1-A)m \qquad (10-50)$$

式中，$p(x,y)$ ——原始图像的灰度值;

$p_1(x,y)$ ——变换后的图像灰度值;

s ——给定窗口内原始图像数据的均值;

max ——最大增益值;

A ——调节平均值移动的变量。

Wallis 变换与一般的对比度扩展不同之处在于 Wallis 变换是一局部的对比度扩展算法，且有一定的自适应性。

S600 中用于对图像进行 Wallis 变换的命令名是 m75'wallis．在进行处理时，操作者可以根据需要选择窗口大小、均值、方差等。而大多数情况下，一般最好采用系统给定的缺省值。需要指出的是，窗口不要选择太大．随着窗口加大，滤波器自适应性将减弱，并逐渐接近于整图对比度扩展。

四、S600 系统中的矩阵变换

S600 中有一称为矩阵变换的功能命令即 m75matrix 在遥感数字图像处理中经常用到，矩阵变换实质上也是一种彩色变换．它是通过对输入图像的各个波段进行线性变换后，产生一幅彩色输出图像。其计算公式为:

$$COLOR(x,y)=\sum_{J=1}^{N}(COLORWEIGHT(J)*P(x,y,J)+BIAS(J) \qquad (10-51)$$

式中，N ——输入图像的波段数;

$COLOR(x,y)$ ——x,y 点像元变换后的数值，输出结果用一特定颜色表示;

$COLORWEIGHT(J)$ ——J 波段的颜色加权值，应由用户自己定义;

$P(x,y,J)$ ——J 波段在点（x,y）处的原始灰度值;

$BIAS(J)$ ——波段 J 的指定偏差值．

利用 S600 进行矩阵变换时，可以通过移动跟踪球来定义每个波段的颜色加权值，使输出显示效果达到最佳。

五、波段图像间的算术与逻辑运算

在遥感图像处理中有时需要分析波段图像之间的数据关系，这种分析运算即波段图像

之间的算术运算与逻辑运算。

1）波段图像之间的算术运算。波段图像之间的算术运算就是对多波段图像的每个像元进行一种算术运算而得到一个输出值的过程，本章第四节所讲的图像的差值与比值处理就是两种波段图像之间的算术运算。可以用于遥感图像波段之间信息特征的算术运算还包括最大值运算、最小值运算、均值运算、乘法等。

利用 S600 系统计算多波段图像像元灰度最大值的命令是 cpu'maximum，计算多波段图像像元最小值的命令是 cpu'minimum，多波段图像之间的乘法运算命令是 cpu'multiply。

2）波段图像之间的逻辑运算。波段图像之间的逻辑运算是把图像之间的逻辑与、逻辑或以及逻辑非等运算结合起来提取出波段图像之间的逻辑特征的运算方法。在遥感图像处理与分析研究中，用得最多的是逻辑与和逻辑或运算。

在 S600 系统下对波段图像进行逻辑与运算的命令是 cpu'and，对两幅图像逻辑或运算的命令是 cpu'or。

第十一章　遥感图像的分类处理

遥感技术是通过对遥感传感器接收到的电磁波辐射信息特征的分析来识别地物的，这可以通过人工目视解译来实现，或用计算机进行自动分类处理，也可用人工目视解译与计算机自动分类处理相结合来实现。因此用计算机对遥感图像进行地物类型识别是遥感图像数字处理的一个重要内容。

第一节　遥感图像分类原理与方法概述

一、图像分类的概念与流程

图像分类就是把图像中的每个像元或区域划归为若干个类别中的一种，图像分类的过程就是模式识别过程。遥感图像分类的任务是通过对各类地物的光谱特征分析来选择特征参数，将特征空间划分为互不重叠的子空间，然后将影像内各个像元划分到各个子空间中区，从而实现分类[1,2,39]。

所谓的特征参数就是能够反映地物光谱信息并可用于遥感图像分类处理的变量，如多波段图像的每个波段都作为特征参数，多波段图像的比值处理结果及线性变换结果也可以作为分类的特征参数。由特征变量组成的高维空间就是特征空间。

遥感图像分类处理一般可以按照图 11-1 所示流程进行[1,2]：

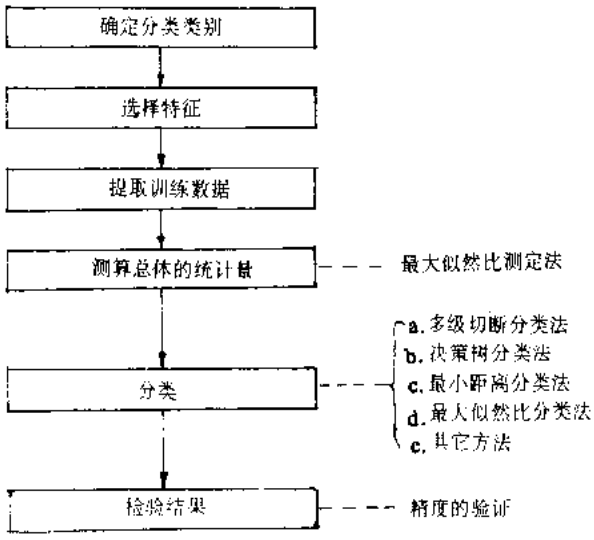


图 11-1 遥感图像分类处理流程[1]

1）确定分类类别。根据专题目的和图像数据的特性确定计算机分类处理的类数与类特征。

2）选择特征。选择能够描述这些类别的特征量。

3）提取分类数据。即提取各个分类类别的训练数据。

4) 测算总体的统计量。或是对代表给定类别的部分进行采样测定其总体特征；或是用聚类分析方法对特征相似的像元进行归类分析，从而确定其特征。

5) 分类。使用给定的分类基准，对各个像元进行分类归并处理。

6) 检验结果。对分类的精度与可靠性进行分析。

二、监督分类和无监督分类

监督分类是根据已知训练场地提供的样本，通过选择特征参数、建立判别函数，然后把图像中各个像元点归化到给定类中的分类处理。

非监督分类是根据图像数据的本身统计特征及点群的分布情况，从纯统计学的角度对图像数据进行类别划分。

监督分类与非监督分类的最大区别在于，监督分类首先给定类别，而非监督分类由图像数据的统计特征来决定。

三、图像分类处理和图像增强处理的异同

图像增强处理与图像分类处理都是为了增强和提取遥感图像中的目标信息，图像增强处理主要是增强图像的视觉效果，提高图像的可解译性。因此可以说，图像增强处理给目视解译提供的信息是定性的。而图像分类直接着眼于地物类别的区分，所以说图像分类给目视解译提供的是定量信息。

四、遥感图像处理分类特点

多波段多时像是遥感对地观测的特点之一，一景遥感影像常常包含着几个波段(如MSS有四个波段)，周期性观测有时使得参加分类的遥感图像集中包含多个时相的图像，在遥感图像分类处理时，波段之间的运算也可产生一些新的变量（如比值图像）。因此，遥感图像分类是多变量图像分类，是一个把多维特征空间划分为几个互不重叠子空间过程。

多变量的遥感图像分类，不能仅仅依据个别波段的亮度值，而是要考虑整个向量的特征，在多维空间中进行。

第二节　遥感图像的非监督分类处理

一、概述

遥感图像上的同类地物在相同的表面结构特征、植被覆盖、光照等条件下，应当具有相同或相近的光谱特征，从而表现出某种内在的相似性，归属于同一个光谱空间区域；不同的地物，光谱信息特征不同，归属于不同的光谱空间区域。这就是非监督分类的理论依据。

用于非监督分类最常用的统计分析方法是聚类分析，聚类分析是按照像元之间的联系程度（亲疏程度）来进行归类的一种多元统计分析方法。对遥感图像进行聚类分析，首先要确定一些描述点与点之间的联系程度（亲疏关系）的统计量即类似度，在遥感图像处理中用得最多的是距离，如欧氏距离和绝对值距离。

聚类分析可以通过分析像元的类似度（距离）一次完成像元的归并分类，也可以多次完成。若一次完成方法本身不准、类中心选得不好，则分类的精度与可靠性都比较差。因而遥感图像分类处理中一般都不使用这种方法。

多次聚类分析又称为逐步聚类分析，其特点是把上一次聚类的类别作为新的个体，重新计算并改正其距离，反复进行个体间的类似度的评价和归并，直到满足最终类别数为止。

二、逐步聚类分析

逐步聚类分析可以按照如下步骤进行（图 11-2）[1,2]：

1）确定采用的距离。确定用于评价个体之间亲疏关系的评价标准，如欧氏距离。

2）确定最终的类别数。根据专题目的与所掌握的工作区实际地物类型数等资料，确定分类的最终类别数。

3）计算个体之间的距离。计算两个体之间的距离值。

4）找出距离最小的类别组。根据距离最小的原则，对个体进行归并处理。

5）计算归并后新的个体间的距离。即把 4）结果当作个体并计算它们之间的距离。

6）判别。计算归并后的类别数，若满足给定类别数，聚类分析结束；若不满足，类别数大于给定类别数，则重复 4）—6）直到满足给定类别数为止。

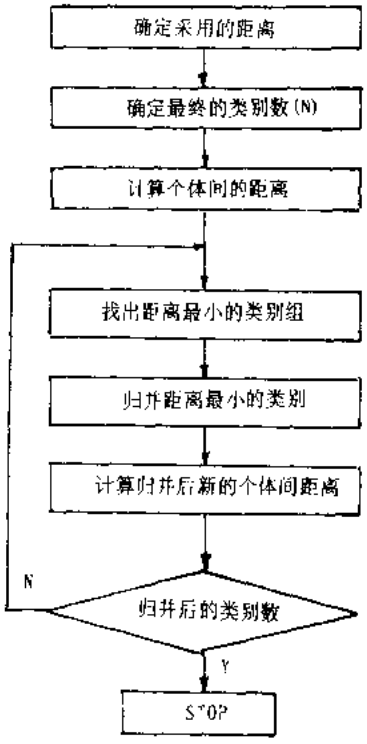


图 11-2　逐步聚类法分类流程[1]

第三节　遥感图像的监督分类

一、最大似然法

最大似然法是逐点计算图像中每个像元与每一个给定类别的似然度，然后把该像元分

到似然度最大的类别中。

对于像元数据 x，它对于给定类 k 的似然度 L_k 被定义为 x 出现时，其归属于 k 类别的条件概率，其计算公式为：

$$L_k = P(k|\mathbf{x}) = P(k) \times P(\mathbf{x}|k) / \sum P(i) \times P(\mathbf{x}|i) \qquad (11-1)$$

式中，x ——像元观测数据，它是待分类像元 n 个特征变量观测值组成的列向量；

L_k ——像元 x 与 k 类别的似然度；

$P(k|\mathbf{x})$ ——像元 x 归属 k 类的概率；

$P(k)$ ——先验概率，一般假定每类出现的概率相等；

$P(\mathbf{x}|k)$ ——条件概率密度函数；

$P(i)$ ——类别 i 的先验概率，一般假定相等；

$P(\mathbf{x}|i)$ ——条件概率密度函数。

在上式中，对于同一分类类别数和相同的样本，式（11-1）是个常数，所以式（11-1）可简化为：

$$L_k = P(k|\mathbf{x}) = P(k) \times P(\mathbf{x}|k) \qquad (11-2)$$

式（11-2）中的$P(k)$先验概率是已知的，因此，求像元 x 与类别 k 的似然度唯一的未知变量是$P(\mathbf{x}|k)$。也就是说，要计算 x 与 k 类别的似然度，必须首先给出总体的概率密度函数$P(\mathbf{x}|k)$。

遥感的光谱数据与自然界的大多数现象一样，服从正态分布。因此利用训练数据可以计算分布的平均值、方差、以及协方差，从而得到了总体的概率密度分布函数。

该分类方法的前提是，图像中各个类别的总体分布是正态分布，当总体分布不服从正态分布时，分类精度与可靠性不高。

二、最小距离法

最小距离法的基本原理是，在利用训练数据获得了各个分类类别的特征参数（如均值向量）以后，对于一未知像元，首先计算它与各个类别特征向量或代表特征向量（如均值向量）的距离，然后比较距离的大小，未知像元归并到距离最小的类别之中。

1）遥感图像分类处理中常用的距离。遥感图像分类处理中常用的距离有绝对距离和欧氏距离两种。

绝对距离的计算公式是：

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^{n} |x_{ik} - x_{jk}| \qquad (11-3)$$

式中；d_{ij}——n 维特征空间中 i,j 两点的距离，即两类的距离；

n ——特征空间的维数；

x_{ik}, x_{jk}——特征空间中 i,j 两点的参数观测值。

例如，当我们把 TM 七个波段的灰度值选择为分类特征参数时，式（11-3）就代表着七个波段亮度值之差的绝对值之和。

欧氏距离的计算公式是：

$$d_{ij}=\left(\sum_{k=1}^{n}(x_{ik}-x_{jk})^2\right)^{1/2} \qquad (11-4)$$

式中，n ——特征空间维数；

d_{ij}——欧氏距离；

x_{ik}, x_{jk}——i,j在特征空间中的参数观测值。

2）用代表向量来进行分类处理。这个分类方法是选择特征空间中一个有代表意义的向量进行分类处理，首先计算像元与已知类别代表向量（如均值向量）的距离，然后比较距离大小，把像元划分到距离最小的类别中。

3）最近邻域分类。这种距离分类方法适合于多代表向量的情形，对于未知像元，首先计算像元到每一个分类类别中的每一个代表向量的距离，每个类别都得到了几个距离值；然后取每个类别中最小的距离值作为未知像元到该分类类别的距离；最后比较未知像元到每个分类类别之间的距离大小，并把未知像元分到距离最小的类中。

三、多级分割法[1]

图像分类是把高维特征空间划分为互不重叠的子空间的过程。多级分割实质就是在特征空间中每个轴上设置一系列的分割点，这些分割点把高维特征空间划分成互不重叠的子空间，每一个子空间就对应于一个分类类别。对于未知像元，它落在高维特征空间中的那个子空间，就把它归并到这个子空间对应的分类类别。分割点的选择是根据训练数据确定的。

当特征空间的维数为 1 时，多级分割就相当于遥感图像处理中常常用到的密度分割，只不过是多级分割的每个区域与已知分类类别相对应而已。

多级分割的一个最大问题是分割面与特征轴正交。由于特征变量之间往往存在一定程度相关性，所以各类类别在特征空间中常常是倾斜分布的，这必然要造成分类误差。为了使各类别在特征空间中也是正交的，需要对特征空间进行正交变换，最常用的变换方法是主成分分析(又称 K-L 变换)。

四、特征曲线法[2]

特征曲线是由地物的特征参数构成的曲线，如我们把 TM 的六个波段（除去 TM6）作为横轴（按照波长大小排列），将它们的亮度值作为纵轴，就可以得到 TM 的亮度特征曲线。

特征曲线法的基本原理是，相同的地物在相同的地域环境及成像条件下，其特征曲线是相同或相近的，可以进行比拟；不同地物的特征曲线是彼此不同的。

特征曲线法分类的实现过程是，首先利用训练区数据，绘制每个分类类别的特征曲线；然后对每个待分像元计算它的特征曲线；最后把未分像元的特征曲线与每个分类类别的特征曲线相比较，与那个最接近，就把未知像元划分到那个像元中。

五、决策树法

决策树法以二类判别分析为基础，分层逐次进行比较，最后达到分类的目的。图 11-3 是一个决策树分类的示意图，图中 DP1,DP2,DP3,DP4 为四个分类点，在每个分类点都有一个分类函数与之对应，共有四个判别函数。建立判别函数计算过程比较复杂，实际处理时可以直接用特征值的大小来比较决策。

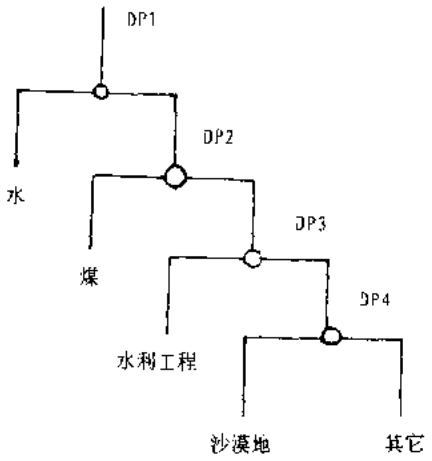


图 11-3 决策树法分类示意图

第四节 地学遥感图像计算机分类处理中的几个问题

遥感图像分类处理在遥感图像数字处理技术中占有非常重要的地位，由于计算机分类与人工目视解译方面还存在一些差别，计算机分类的精度和可靠性除了与分类算法本身的优劣有关之外，还取决于其它一些非算法因素，本节将进一步讨论与计算机分类有关的问题．例如，分类的预处理技术；训练场地的选择；特征变量的选择与特征空间的压缩问题；地物光谱数据与遥感图像分类；空间结构信息的分类意义；分类的后处理技术；以及模糊理论与专家系统在遥感图像分类处理中的应用。最后还将讨论一些遥感地质专题研究中的分类问题以及分类处理在 S600 图像处理系统下的实现。

一、预处理在分类处理中的地位

从一种理想的情况看，遥感图像应当只记录遥感观测区域内的地物电磁波辐射能量，遥感图像的灰度大小及其变化只反映了地物的辐射光谱特征变化．实际的情况我们在本书的第一章与第四章已经作过介绍，这种理想的情况在实际的遥感观测工作中是无法达到的，地物的电磁波辐射在大气中传输时还要与大气发生作用，也就是说遥感图像中的灰度值不完全是地物的辐射波谱能量，它的大小与变化还取决于大气散射、地形、太阳的光照条件等因素的影响．遥感图像分类算法设计的依据是地物的光谱特征差异，由于这些因素的影响，遥感图像的分类精度与可靠性必然要受到影响，在实际的遥感图像分类处理中应当尽可能地剔除这些因素的影响。

1）大气散射．大气散射对遥感图像灰度值的影响是使遥感图像的灰度级产生一个位移量，大气散射对遥感图像分类影响特点就在于大气散射是随时、空、波长的变化而变化的，由于大气散射是随时间的变化而变化的，当对多时相图像进行分类处理时，从不同时相图像中获得的训练数据必然要影响计算机的最终分类结果；由于大气成分以及湿度等因素的影响，不同景区甚至同一景区不同区域的大气散射水平也是不一致的，大气散射叠加在图像灰度值上将影响不同景区甚至是同一景区遥感图像分类精度与可靠性；大气散射水平随波长的变化在遥感图像中表现为从蓝光波段，到绿光波段，到红光波段，再到红外光

波段，大气散射量越来越大，大气散射这种随波长的变化对于直接用波段数据进行图像分类影响较小，但在计算图像比值以前则必须进行大气散射的校正[27]。

在包含深大水体与地形阴影的图像景区或区域中，大气散射可以用一种简单的方法来完成[27]，其具体的做法是首先绘制多波段图像的直方图，由于大型水体或阴影的存在，当没有大气散射时，图像中应当有灰度值为零的像元，图像直方图左端不为零像元值可以看作是大气散射的水平位移，用图像灰度值减去这个位移量就达到了大气散射校正的目的(图 11-4)。

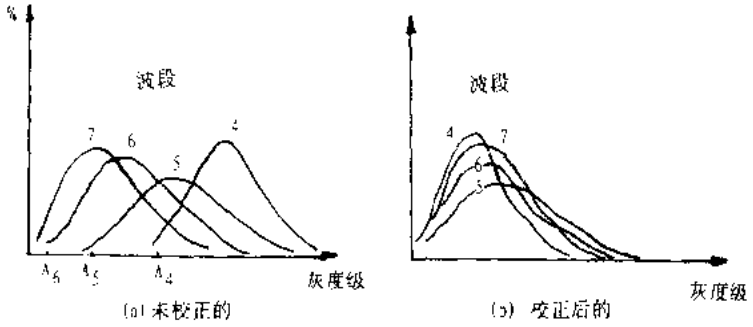


图 11-4 利用多波段图像的直方图校正大气散射[27]

同一景区不同区域的大气散射校正，可以分区绘制灰度直方图（每一个区域都应当包含大型水体或地形阴影），然后根据直方图的偏移量进行校正。

2) 地形因素。地形因素对分类的影响主要表现在地形的向阳面与地形的背阳面太阳光照射条件的差别，在第四章我们已经得到了遥感图像模式与遥感图像函数，在遥感图像函数中地物波谱辐射量与入射辐射量成正比（忽略地物的发射辐射时），同一地物当光照条件发生变化时，它的电磁波辐射能量也将发生变化，在遥感图像上，同一地物在地形的阳面与阴面的灰度值不同，计算机在分类时就会把同一地物归为不同的类别中从而造成分类错误。当地形起伏变化较大时，应该首先进行地形校正，其中最简单的办法是对经过大气校正的多波段图像进行比值处理，用比值图像进行计算机分类处理。

3) 太阳光照条件的影响。太阳光照条件对图像分类的影响主要是针对多时相图像集的计算机分类而言的。由于地物在不同的方向上有不同的反射比性质[2,3,4,27]，因此不同景的图像由于成像时光照条件的差别，同一地物的辐射量存在差别，在计算机分类以前，应当把它们置于相同的光照条件下，即对不同光照条件的图像进行太阳高度角和视角校正。

4) 混合像元概念。混合像元的灰度值是几种地物电磁波辐射的混合结果反映。由于图像的几何分辨率较低，地面上可以分辨出来的几种地物，在图像上只有一个像元可以组成混合像元，这种混合像元由于它多是孤立点，在分类中可以当作噪声在分类的后处理中加以归并或剔除；不同地物的分界处，由于光谱效应也会造成一些混合像元，这种混合像元对分类影响不大，分类时一般都根据它们更接近于那一类进行归并处理；同一地物由于覆盖物的成分与厚度的变化，可以形成光谱特征差别很大的混合像元，例如植被和土壤的混合，基岩和风化物的混合，这种混合像元分布面积大，常常把本应当是同一类的物质分成许多不同的类，对遥感图像的计算机分类影响很大。混合像元是遥感图像处理技术研究中的一个方面，有关这方面的研究可以进一步参阅其它文献。

二、训练场地的选择方法与原则

训练场地选择是遥感图像监督分类的关键，训练场地的选择方法是把与图像相同比例尺的数字地形图叠在图像上，根据地形图上的已知类别圈定分类用的训练场地。训练场地的选择原则是：选择的训练场地要有代表性，能够满足分类的要求，这主要从三个方面考虑：时间上，地形图的成图日期要尽可能地接近图像成像日期，以保证地物类别确定准确；空间上，要考虑到每一种地物类型，随空间位置变化发生光谱特征变化的可能性，选择训练场地应当能够反映这种变化；训练样本的数目，训练样本最少要满足能够建立分类用判别函数的要求。

三、特征变量选择与特征空间压缩

可以用于计算机图像分类的原始特征变量就是波段图像的波段变量本身，波段图像经过一些运算处理（如比值处理、差值处理、主成分分析以及 K-T 变换等）可以得到一些新的变量，这些变量组成了一个维数很高的特征变量空间。在图像分类处理时，特征空间的维数太高，必然要增加分类算法的复杂性与计算工作量，而且特征变量的无限增加，也并不一定就能够改善分类的精度。因此选择高维特征空间的一个子空间就能够满足分类的要求。如何定量半定量地选择特征变量也有一些文献介绍[2]，特征变量选择是一个很复杂的问题，不同的专题其选择原则也存在差异，变量的选择更多是根据经验和反复的图像处理实验来确定。

特征空间的压缩可以采用一些线性变换的方法来实现，针对专题目的，可以通过线性变换的方法把高维特征空间所表达的专题信息内容集中在一到几个变量图像上，图像分类不在高维特征空间里进行，而是在新的较低维的变量空间中进行，例如，用 TM 进行植被研究时，可以首先对 TM 六个波段数据进行缨帽变换（K-T 变换），经过 K-T 变换后，植被信息可以用亮度和绿色物两个变量图像描述，以植被研究为目的的分类就可以只对这两个图像进行计算机分类处理。

在特征空间压缩与信息归并方面最有效的处理方法应是主成分分析，主成分分析可以把互相存在相关性的原特征变量转换为不相关的新变量，而且可以使原高维特征空间的信息集中在变换后的前一个到两个组分图像上，对主成分分析的结果图像进行分类处理，可以大大地简化分类过程。

四、地物光谱数据对分类的指导意义

地物光谱数据是图像处理算法设计与选择的主要依据，然而，室内的光谱测量数据对遥感图像分类意义并不大，这其中的主要原因在于图像灰度与地物光谱特征对应关系复杂，图像亮度的变化除与地物成分有关外，还受地物的结构等各方面因素的影响，而其中的复杂性通常是很难用光谱测量来反映的，因此样本特征还是以图像上的训练场地统计特征为主。

五、空间结构信息与图像分类

遥感图像的灰度是地物电磁波辐射特征的反映，灰度值的大小除与地物成分有关外，还与地物的表面结构以及地形的起伏有关。图像分类仅仅只考虑图像的光谱信息，而不考虑图像的结构信息以及地形起伏变化的影响，是很难保证分类精度的。今后的遥感图像分类必然要考虑图像中的结构信息与地形变化因素。Derek R.Peddle 等人在加拿大 Gross Morne 国家公园的研究已表明，多波段图像、纹理信息以及 DEM（数字高程模型）的综

合分析可以显著地提高计算机的分类精度和地物的识别能力[40]。

六、图像分类的后处理问题

与遥感图像的增强处理一样，后处理在遥感图像计算机分类处理中占有很重要的地位，后处理包括分类图像的平滑与误差分析两方面。由于混合像元的存在以及分类算法是逐个像元进行的，在分类图像中有很多的孤立像元及小像元群，它们在分类图上表现为噪声，这与实际情况是不相符合的也不满足分类要求，平滑处理可以消除一些噪声效应，完成类的连接；误差分析就是随机抽查检验区以检查分类的精度与可靠性，如果出现问题应当分析问题所在，如训练样本无代表性，分类类别数定的不科学等，并重新进行计算机分类处理。

七、模糊理论与专家系统在图像分类中的应用[1]

模糊理论是1965年扎德（Zadeh）提出的，它的特点是承认在是与非之间存在中间状态，模糊理论往往用于对不确定性事物的描述。

在遥感图像中，由于混合像元以及混合光谱效应等因素，像元的类别归属有时是很困难的。在遥感图像的分类处理中，明确地确定分类类别的边界也是困难的，例如森林和草地的区别就很不明显。实际上在遥感图像处理中存在着也应该允许存在中间过渡类型，因而在分类类别的确定上存在模糊性，利用模糊理论可以有效的加以描述，运用模糊聚类分析就可以进行遥感图像的分类处理。

在遥感图像的目视解译中，解译人员综合了各学科专业知识与经验，对遥感图像进行判别，专家系统就是模仿人思考问题的方式，把某一特定领域的专家知识与经验输入到计算机中，由计算机代替专家解决问题，对于遥感图像应用领域可以同样利用专家系统进行遥感图像的分类处理。

八、遥感地质中的分类

由于遥感地质专题的研究对象是岩石与蚀变带的识别，因而这种分类问题是地学遥感图像分类处理中最复杂的一种。从第一章的讨论中我们已经知道，岩石的波谱特征随岩石成分变化的规律很复杂，此外图像的灰度值大小还要受到岩石的表面结构、覆盖物成分、含水性等许多因素的影响，因而直接用光谱信息进行以岩石（或）蚀变带提取为目的的图像分类处理通常是不可取的。图像中的岩石识别是很复杂的工作，应当考虑图像中的结构信息，并对图像数据进行一些波谱变换，从而有可能提高岩石的识别能力。

九、S600系统图像分类处理的实现

S600图像处理软件包中与遥感图像分类有关的命令分为三类：

1）训练区定义命令。有训练命令 m75′train；类别提取命令 c′c′extract；类别直方图命令 c′c′histogram；编辑提取命令 c′c′editextract；准备命令 c′c′prepare；编辑准备 c′c′editpare；散度命令 c′c′divergence；有效 c′c′validate；散度图 m′scatergam。

2）非监督分类处理命令。有聚类分析命令 m′cluster；边界命令 c′c′boudaries；逻辑与运算 c′c′and；逻辑或运算 c′c′or；计算面积 m′hectare。

3）监督分类。有最小距离分类 mdclassify（cpu 与 m75 两种运算模式）；虚拟最小距离分类 m′virtual′mdclassfiy；最大似然分类 c′mlclassfiy；虚拟最大似然分类 m′virtual′mclassify；六面平行体分类 c′ppclassfiy 等。

第十二章　纹理分析

纹理分析在计算机视觉、模式识别以及数字图像处理中起着重要的作用。纹理可以用来探测及辨识不同的物体和区域、推断物体的表面方向、研究物体的形状、辨识各种物体所具有的不同的纹理类型。

一幅遥感图像通常都包含着灰度和空间结构两大特征。在图像的解译与分析中，用得最多的是图像的灰度信息，就目前应用情况而言，灰度还是地学图像解译的最主要标志。灰度反映了地物某种物理测度（如反射波场、重力、磁力）值大小，是地物特征性状较直观的反映。随着图像解译与分析工作的深入，人们发现仅仅使用遥感图像的灰度信息，已经不能够有效地进行计算机分析和识别，作为遥感图像重要特征之一的结构特征的提取和分析，对遥感图像分类识别的作用是举足轻重的。R. M. Haralick（1973）在利用陆地卫星图像研究美国加利福尼亚海岸带的土地利用问题时，把四个方向（0°，45°，90°，135°）的纹理特征角二阶矩、对比度、相关系数以及熵的平均值和均方差作为八个分类变量，与图像四个波段的灰度平均值和均方差八个变量组成一个16维特征空间，对遥感图像进行分类处理，取得了83.5%的分类精度，比仅仅使用灰度信息的分类精度74%—77%提高了10%以上[42]。通过此例可以看出纹理信息对于遥感图像的分类意义。从第一章的论述中可知，地质上岩石的地物反射光谱特征非常复杂，规律性较差，受其它因素如含水性等的影响较大，而纹理主要反映着岩石的影纹结构以及岩石表面的粗糙度，与岩石类型密切相关。所以纹理信息对于辅助岩石识别有重要的意义。

图像的纹理至今还没有明确的定义。纹理可理解为图像中反复出现的局部模式和它们的规则排列[18,43]。遥感图像的纹理结构反映了灰度的空间变化特征，这种空间变化不能直接获得而只能用数学分析和数学变换的方法获取。纹理分析方法有结构纹理分析和统计纹理分析两大类。由于地物的组成、空间分布的复杂性和多样化，遥感图像的纹理不具有象布匹花纹那样规则不变的局部模式和简单的周期重复，遥感图像的纹理特征及重复往往只有统计学上的意义，因此，遥感图像纹理分析主要采用的是统计纹理分析方法。本章主要介绍的纹理分析方法有：基于邻域特征统计的纹理分析方法、灰度共生矩阵法、空间频率法等。

遥感图像纹理的空间特征一般用纹理强度、纹理密度、纹理方向等物理量表达，本章所讨论的纹理分析方法也主要是从这些角度考虑的。

第一节　纹理分析的自相关函数法

描述纹理的特征量有许多，如纹理的强度、纹理密度、纹理的方向、纹理的粗细程度，由于纹理是地物表面结构粗糙程度的直接反映，所以纹理的粗细程度是纹理的一个重要特征，本节将介绍如何利用自相关函数来分析纹理的粗细程度。

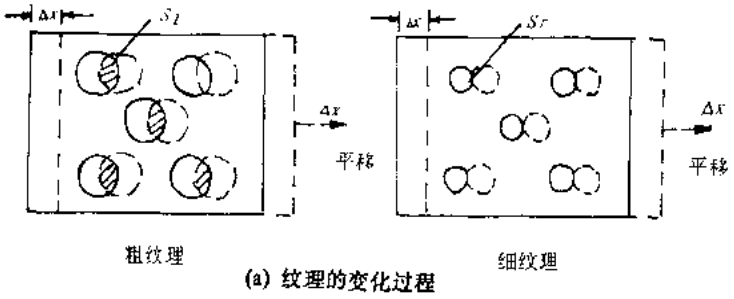
一、图像的自相关函数分析[43]

为了直观地了解纹理分析的自相关函数法，首先我们可以来观测一个实验[43]。假定

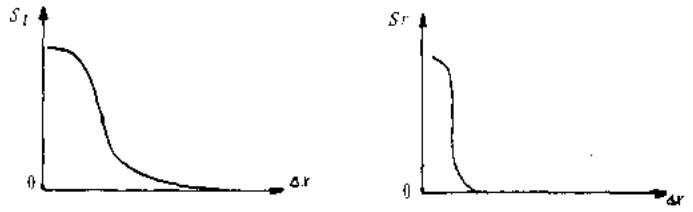
有两张由圆组成的图像，两幅图像中圆的半径相等，而两幅图像之间圆的半径不同，两幅图像上圆的排列与重复规则相同（图 12-1），如果把圆看作一种纹理特征，很显然两幅图像的纹理粗细特征不同。

对于两幅图，在它们上面再放一张绘有完全相同图像的透明投影片（图 12-1），将左右两幅图像上的透明投影片朝 x 正方向移动 Δx，然后考虑各自圆重叠面积的下降速度，可以发现右图尺寸较大的圆其重叠面积随 Δx 的增加下降速度较慢；右图尺寸较小的圆其重叠面积随 Δx 增加下降的速度较快（图 12-1b）。

很显然图 12-1 中左图的纹理比右图的纹理粗，通过实验可以看出，随 Δx 的增加，粗细纹理特征变化是不一致的，将重叠面积的概念拓宽就是图像的自相关函数。



(a) 纹理的变化过程



(b) 纹理特征变化曲线

图 12-1　测量不同粗细纹理的一项实验

设图像为$\{g(x_i,y_i);i,j=0,1,2,\cdots,N-1\}$自相关函数定义为:

$$r(x,y)=\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}g(x_i,y_i)g(x_i+x,y_i+y)}{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}g(x_i,y_i)^2} \qquad (12-1)$$

式中，x ——常数，表示横坐标方向的移动步长；

y ——常数，纵坐标方向的移动步长；

$r(x,y)$ ——自相关系数；

$g(x,y)$ ——图像函数，它在图像以外的值为 0。

很显然，$0\leqslant r(x,y)\leqslant 1$,当$x=0,y=0$时，$r(x,y)=1$取最大值。

对于一幅图像，当 x,y 变化时，可以画出$d=(x^2+y^2)^{1/2}$变化时自相关函数的变化曲线，并可以用它来描述一幅图像的纹理粗细特征。对于多幅图像通过分析它们的自相关函数可以揭示它们之间的纹理粗细程度的变化。

通常粗纹理随 d 变化曲线下降速度慢，而细纹理下降速度较快[43]。反之，若固定 d,

则粗纹理的相关系数比细纹理的相关系数大。这说明自相关系数能表示纹理粗细程度。

利用自相关函数进行地物识别时，可以首先确定计算机分类类别数，然后选定分类用的训练区，利用训练区的数据，绘出各类的自相关函数。对于未知类的区域，可以首先绘出它的自相关函数，把它与训练区的自相关函数逐个对比，未知区域归属于最相近的类。

二、窗口内的自相关函数分析

如果把式（12-1）中的图像函数$g(x,y)$看作图像的一个局部窗口，若固定 d，随着窗口的移动，如果纹理的粗细特征发生变化，则自相关图像的灰度值也必然要发生变化，局部自相关图像实际上也就是纹理粗细（地面粗糙度）的表征。

实际处理时，关键的问题是 d 值与窗口本身的选择。

d 可以选小、中、大三个，d 值进行对比分析最后确定反映比较清晰的 d 值。

窗口一般选用正方形窗口，选择方式有两种：非重叠窗口和重叠窗口。非重叠窗口是图像窗口滑动时，后一个正方形窗口与前面的正方形窗口互不重叠；重叠窗口是图像窗口滑动时，后一个窗口与前面窗口有部分重叠。

非重叠窗口计算出来的自相关函数图像往往降低了原始图像的空间分辨率，使自相关函数图像与其它变量图像空间上不匹配，因而遥感图像分析一般采用重叠窗口。

第二节　基于邻域特征统计的纹理分析方法

基于邻域特征统计的纹理分析方法的实质是把计算点某一局部区域内灰度的统计特征作为图像纹理的测度，局部区域一般都选择正方形窗口。纹理分析方法包括最大最小值法、方差法、绝对差法、信息熵法、高斯滤波差值法以及纹理长度法及相对梯度法等。

一、最大最小值法

该方法特点是把计算某一窗口（如 3×3）内的灰度最大值与最小值的差值作为窗口中心点的纹理统计值。即：

$$D(i,j)=\max[g(i_1,j_1)]-\min[g(i_1,j_1)] \tag{12-2}$$

$$i_1=i-\frac{N}{2},\cdots,i,\cdots,i+\frac{N}{2};\ j_1=j-\frac{N}{2},\cdots,j,\cdots,j+\frac{N}{2}$$

式中，$D(i,j)$ ——纹理统计值；

$\max[\ ]$、$\min[\ ]$ ——取最大运算、取最小运算；

$g(i_1,j_1)$ ——原始图像灰度值；

N ——统计窗口大小。

该方法统计的是纹理的强度，窗口大小决定被检出的纹理尺度，最大最小值纹理统计分析也可以按方向进行。

二、方差法

方差法的实质是把 $N\times N$ 窗口内灰度方差作为纹理特征统计值。即：

$$D(i,j)=\sum_{i_1=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{j_1=j-N/2}^{j+N/2}[g(i_1,j_1)-X]^2 \tag{12-3}$$

式中，$D(i,j)$ ——纹理统计值；

$g(i_1,j_1)$ ——原始图像灰度值；

N ——统计窗口大小；

X ——$N\times N$ 窗口内灰度平均值。

方差法主要反映的是纹理强度信息。

三、绝对差法

绝对差法纹理统计分析是把窗口内每个像元灰度值与窗口内像元灰度平均值的绝对差值之和定义为纹理值。即：

$$D(i,j)=\sum_{i_1=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{j_1=j-N/2}^{j+N/2}|g(i_1,j_1)-X| \qquad (12-4)$$

式中，$D(i,j)$ ——纹理统计值；

X ——灰度平均值；

$g(i_1,j_1)$ ——原始图像灰度值；

N ——窗口大小。

绝对差法主要反映的是纹理强度信息。

四、信息熵法

信息熵法的计算公式为：

$$D(i,j)=\frac{1}{\log(N^2+1)}\sum_{i_1=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{j_1=j-N/2}^{j+N/2}P_{i_1j_1}\log P_{i_1j_1} \qquad (12-5)$$

$$P_{ij}=g(i_1,j_1)/\sum_{i_1=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{j_1=j-N/2}^{j+N/2}g(i_1,j_1) \qquad (12-6)$$

若略去共同的常数$\frac{1}{\log(N^2+1)}$则上式为：

$$D(i,j)=\sum_{i_1=i-N/2}^{i+N/2}\sum_{j_1=j-N/2}^{j+N/2}P_{i_1j_1}\log P_{i_1j_1} \qquad (12-7)$$

式中，$D(i,j)$ ——纹理统计值；

N ——统计窗口大小；

$g(i_1,j_1)$ ——原始图像灰度值。

信息熵法反映了灰度变化速度。

五、高斯滤波差值（DOG——Diffrence Of Gaussian Filter)法

DOG 法是 K.G.AL-HINAL 等人研究 TM 图像上沙丘纹理特征增强时提出的一种纹理增强方法[44]。这种方法实际上是一种模板运算，模板元素值计算公式为：

$$W(x,y)=\frac{1}{\sigma}\exp\{-[(x-x_0)^2+(y-y_0)^2/2\sigma^2\} \qquad (12-8)$$

式中，$W(x,y)$ ——(x,y)处模板元素值；

(x_0,y_0) ——模板中心点坐标；

σ ——标准偏差，用于控制模板的作用宽度。

DOG 法就是用两个不同的 σ 模板对原始图像进行处理，把二者的差值图像作为纹理统计值。在 DOG 法中 σ 往往控制着被检测出来的纹理尺度，两个 σ 相差越大，检测出来的纹理也越大。σ 的变化一般选择在 1—3 个像元之间。DOG 法的最大优点就在于它能够把尺度较小的纹理检测出来。

六、纹理长度法及相对梯度法

纹理长度法及相对梯度法是孙星和、覃平提出的两种纹理统计方法[45]。

纹理长度法的计算方法是给定一个域值 T，统计局部窗口内像元灰度值大于域值的像元数，这个数字就作为窗口中心点的纹理统计值，按照水平方向、垂直方向统计就分别可以得到水平、垂直方向的纹理特征。域值大小取原始图像相邻像元绝对差平均值的 1—3 倍。

相对梯度的计算方法是用计算像元的某一方向（水平、垂直、45°、135°）上前后两像元的差值除以计算像元的灰度值。如 135° 方向的计算公式为：

$$D(i,j)=\frac{g(i+1,j-1)-g(i-1,j-1)}{g(i,j)} \qquad (12-9)$$

式中，$D(i,j)$ ——纹理统计值；

$g(x,y)$ ——原始图像在(x,y)处灰度值。

纹理长度法统计的是图像的纹理密度，一般只有分类意义。相对梯度法实质上与遥感数字图像处理中常用的和差比值法相类似，在很大程度上是增强了图像的边缘信息。

第三节　空间频率法

一幅遥感图像是由各种频率成分的信息组成的。在遥感图像中，粗纹理变化较慢，在图像中是一种低频成分；细纹理变化快，具有高频成分特征。因此，遥感图像中频率成分以及频率方向的变化能够反映图像纹理粗细程度以及纹理密度与方向的变化，图像的空间频率也是图像纹理的一种测度方法。

空间频率法实际上也是一种窗口方法，其实质是用窗口内像元的数字变换特征作为该窗口中心点的纹理统计特征。

一、空间频率法常用的数字变换方法

可以用于提取遥感图像纹理特征的数字变换方法有：傅立叶变换、K-L 变换、Walsh-Hadamard 变换以及 Slant 变换等。这些变换的特征与计算公式在本书"遥感图像变换"一章已有介绍，这里就不作详尽讨论。

二、傅立叶功率谱纹理测度

由于图像函数$g(x,y)$是离散函数，利用傅立叶功率谱作为遥感图像的纹理测度，首先应当了解一下二维离散傅立叶变换的计算问题。对于二维离散的图像数据其傅立叶变换为：

$$F(u,v)=\sum_{j=0}^{N-1}\sum_{k=0}^{N-1}g(j,k)\exp[-\frac{(2\pi i)}{N}(uj+vk)] \qquad (12-10)$$

式中，$F(u,v)$ ——图像函数的傅立叶变换，虚数；

N ——窗口大小；

$g(j,k)$ ——原始图像灰度值。

为了采用快速傅立叶变换技术，N 一般选择为 2 的幂次方，例如选择 $N=16=2^4$。傅立叶变换是一个虚数，一般用功率谱作为纹理统计特征，功率谱为：

$$E(u,v)=|F(u,v)|^2 \tag{12-11}$$

式中，$E(u,v)$ ——功率谱；

$F(u,v)$ ——图像的傅立叶变换。

对功率谱进行方向滤波处理可以提取反映纹理特征的功率谱的二次特征信息[18,43]。如水平方向、垂直方向、扇形区域、环形区域内能量以及高频低频能量等[18]。

水平能量反映了原图像垂直方向的频率变化特征，其计算公式为：

$$S_1=\int_{v_1}^{v_2}E(u,v)\mathrm{d}v \tag{12-12}$$

垂直方向能量反映了原图像中水平方向的频率变化特征，其计算公式为：

$$S_2=\int_{u_1}^{u_2}E(u,v)\mathrm{d}v \tag{12-13}$$

环形区域能量反映了原图像从ρ_1到ρ_2频率段内的信息强弱，其计算公式是：

$$S_3=\int_{\rho_1}^{\rho_2}E(\rho,\theta)\mathrm{d}\rho \tag{12-14}$$

扇形区域能量反映了原图像$\theta_1+\frac{\pi}{2}$到$\theta_2+\frac{\pi}{2}$方向区域内的频率变化特征，其计算公式为：

$$S_4=\int_{\theta_1}^{\theta_2}E(\rho,\theta)\mathrm{d}\theta \tag{12-15}$$

高频能量与低频能量的意义不同，因此需要研究高频能量及低频能量的提取。提取高频能量只需要对功率谱进行高通滤波即可，同样提取低频能量也只需对功率谱进行低通滤波即可。为计算方便，这种滤波也按照窗口加权运算方式进行。设权矩阵元素为：

$$W(i,j)=\begin{cases}(i-j)^k & i\leqslant 8,\ j\leqslant 8\\ i^k\times(17-j)^k & i\leqslant 8,\ 9\leqslant j\leqslant 16\\ (17-i)^k\times j^k & 9\leqslant i\leqslant 16,\ j\geqslant 8\\ (17-i)^k\times(17-j)^k & 9\leqslant i\leqslant 16,\ 9\leqslant j\leqslant 16\end{cases} \tag{12-16}$$

式中，$W(i,j)$ ——权矩阵；

$k>1$。

高频测度为：

$$S_h=a_1\times\sum_{i=1}^{16}\sum_{j=1}^{16}g(i,j)W(i,j) \tag{12-17}$$

式中，S_h ——高频测度；

a_1——数值范围调节系数；

$g(i,j)$ ——原始图像灰度值；

$W(i,j)$ ——权矩阵。

低频测度为：

$$S_l = a_2 \times \sum_{i=1}^{16}\sum_{j=1}^{16} g(i,j) / W(i,j) \qquad (12-18)$$

式中，S_l——低频测度；

a_2——数值范围调节系数；

$g(i,j)$ ——窗口图像灰度值；

$W(i,j)$ ——权矩阵。

第四节　共生矩阵法

一、灰度共生矩阵法

灰度共生矩阵法是 Haralick 首先提出的一种纹理统计分析方法[42]，以研究沿一定方向（0°，45°、90°、135°）相隔一定距离的像元之间相关关系为目的。灰度共生矩阵元素(i,j)的值等于沿 α 方向间距为 d 时、灰度为 i 和 j 的像元对出现的概率（也即频数），常用$f(i,j,\alpha,d)$ 表示。假设有一幅图像其灰度级是 4，现从图像中取出如下一个大小为 3×3 的正方形局部窗口（图 12-2）。

1	2	3
1	1	2
0	1	2

图 12-2　图像中的一个 3×3 的窗口

灰度共生矩阵的构成方式为图 12-3。

	0	1	2	3
0	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
1	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
2	(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
3	(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

图 12-3　灰度共生矩阵构成示意图

如果取 $d=1$ 个像元，则 0°、45°、90°、135° 方向的灰度共生矩阵见图 12-4。用不同的权矩阵对灰度共生矩阵进行加权运算可以得到一系列的纹理特征统计量，可以用于提取遥感图像中纹理信息的特征统计量主要有：反差、熵、逆差距、灰度相关、能量、角二阶距以及方差等。

0°				90°				135°				45°			
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	2	3	0	1	4	1	0	0	4	1	0	1	0	2	1
0	3	0	1	0	1	2	1	0	1	2	0	0	2	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0

图 12-4 局部窗口的四个方向的灰度共生矩阵

(1) 反差:
$$f_1 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}|i-j|^k P_{ij} \tag{12-19}$$

(2) 熵:
$$f_2 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}P_{ij}\log P_{ij} \tag{12-20}$$

(3) 逆差距:
$$f_3 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\frac{P_{ij}}{1+(i-j)^k} \tag{12-21}$$

(4) 灰度相关:
$$f_4 = \frac{1}{\sigma^2}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(i-\mu)(j-\mu)P_{ij} \tag{12-22}$$

其中,
$$\mu = \sum_{i=1}^{M} i\left(\sum_{j=1}^{N}P_{ij}\right) = \sum_{j=1}^{N} j\left(\sum_{i=1}^{M}P_{ij}\right) \tag{12-23}$$

$$\sigma = \sum_{i=1}^{M}\left[(i-\mu)^2\sum_{j=1}^{N}P_{ij}\right] = \sum_{j=1}^{N}\left[(j-\mu)^2\sum_{i=1}^{M}P_{ij}\right] \tag{12-24}$$

(5) 能量:
$$f_5 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}P_{ij}^2 \tag{12-25}$$

(6) 角二阶距:
$$f_6 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}P_{ij}^2 \tag{12-26}$$

(7) 方差:
$$f_7 = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(i-\mu)^2 p_{ij} \tag{12-27}$$

式中，μ 为窗口的平均值。

遥感图像的灰度级数一般都较大（如 TM 图像数据的灰度级是 256），为提高计算速度应适当压缩，例如可以把灰度级压为 16 级等。

二、灰度-梯度共生矩阵法[46]

灰度是电磁波辐射能量大小的反映，灰度的梯度则描述了电磁波辐射能量变化的速率。实际上描述图像的纹理特征除了用灰度本身外，还有一个重要的手段就是灰度变化的梯度，用灰度和梯度的综合信息提取纹理特征的方法之一是灰度-梯度共生矩阵纹理分析方法。这种方法的实现过程与灰度共生矩阵法基本类似。

设原图像为$\{g(i,j), i=1,2,\cdots,M; j=1,2,\cdots,N\}$，其梯度图像为$\{g_1(i,j), i=1,2,\cdots,M; j=1,2,\cdots,N\}$，梯度图像可以用 Sobel 算子或其它梯度算子对原始图像卷积获得。灰度-梯度共生矩阵为:

$$H_{ij};\ i=1,2,\cdots,M;\ j=1,2,\cdots,N \tag{12-28}$$

式中，i,j——灰度-梯度矩阵的i行j列元素；

M,N——计算窗口的行列数；

H_{ij}——灰度-梯度矩阵在i行j列的值，它的大小等于窗口内灰度图像的灰度值为i，而梯度图像灰度值为j的像元对总数目，例如，$H_{34}=15$表示在窗口内灰度图像的值为3，而梯度图像的值为4的像元共有15个。

文献[46]给出了15种图像纹理特征统计量。

1）小梯度优势：

$$T_1=\frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\frac{H_{ij}}{j^2}}{H} \tag{12-29}$$

其中（下面H意义相同），

$$H=\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}H_{ij}$$

2）大梯度优势：

$$T_2=\frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}j^2H_{ij}}{H} \tag{12-30}$$

3）灰度分布不均匀性：

$$T_3=\frac{\sum_{i=1}^{M}[\sum_{j=1}^{M}H_{ij}]^2}{H} \tag{12-31}$$

4）梯度分布不均匀性：

$$T_4=\frac{\sum_{j=1}^{N}[\sum_{i=1}^{M}H_{ij}]}{H} \tag{12-32}$$

5）能量：

$$T_5=\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}P_{ij}^2 \tag{12-33}$$

其中，$P^{ij}=\frac{H_{ij}}{MN}$，下同。

6）灰度平均：

$$T_6=\sum_{i=1}^{M}i[\sum_{j=1}^{N}P_{ij}] \tag{12-34}$$

7）梯度平均：

$$T_7 = \sum_{j=1}^{N} j[\sum_{i=1}^{M} P_{ij}] \tag{12-35}$$

8）灰度均方差:

$$T_8 = \{\sum_{i=1}^{M} (i - T_6)^2 [\sum_{j=1}^{N} P_{ij}]\}_{0.5} \tag{12-36}$$

9）梯度均方差:

$$T_9 = \{\sum_{j=1}^{N} (j - T_7)^2 [\sum_{i=1}^{M} P_{ij}]\}^{0.5} \tag{12-37}$$

10）相关:

$$T_{10} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} (i - T_8)(j - T_9) P_{ij} \tag{12-38}$$

11）灰度熵:

$$T_{11} = -\{\sum_{i=1}^{M} [\sum_{j=1}^{N} P_{ij}] \log[\sum_{j=1}^{N} P_{ij}]\} \tag{12-39}$$

12）梯度熵:

$$T_{12} = -\{\sum_{j=1}^{N} [\sum_{i=1}^{M} P_{ij}] \log \sum_{i=1}^{M} P_{ij}]\} \tag{12-40}$$

13）混合熵:

$$T_{13} = -\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} P_{ij} \log P_{ij} \tag{12-41}$$

14）惯性:

$$T_{14} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} (i - j)^2 P_{ij} \tag{12-42}$$

15）逆差矩:

$$T_{15} = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{1 + (i - j)^2} P_{ij} \tag{12-43}$$

第十三章　地理信息系统及其在遥感图像处理中的应用

地理信息系统是60年代发展起来的一门关于空间数据输入、管理、分析、检索、图示与输出的技术。遥感技术的蓬勃发展促进了地理信息系统技术的发展与产业化；同时地理信息系统在遥感中的应用又推动了遥感研究的精度与深度的发展，地理信息系统已经成为遥感资料处理与分析的重要工具。近年的发展表明，遥感图像处理系统与地理信息系统完美结合、遥感图像处理系统包含地理信息系统模块或功能、地理信息系统增加栅格图像数据处理功能与模块的思想已广为产业界、软件开发商以及科学研究界所推崇。

第一节　地理信息系统及其发展

地理信息系统GIS(Geographical Information System或Geo Information System)又称地学信息系统，是管理空间数据的计算机系统[5, 39, 47, 48]。地理信息系统是在计算机科学、地学、遥感、环境科学、空间科学和管理科学边缘发展起来的一门新兴技术科学①。

地理信息系统中的"地理"是一个广义概念，它并不代表地理信息系统的研究内容仅仅包括地理学，而只是表明了系统使用了地理坐标参照系，地理信息系统所研究的是具有空间分布特征的数据，"地理"强调了地理信息系统是个空间的概念，也就是说，系统分析处理的数据是按照空间地理坐标来组织的，所以地理信息系统常常被称为"空间信息系统"或"资源与环境信息系统"[5]。

信息系统包括管理信息系统（如企业管理信息系统、财物管理信息系统等）及空间信息系统，空间信息系统与管理信息系统的最大区别在于它更强调信息的空间分布特征，是采集、管理、处理和更新空间信息的工具。从计算机科学角度看，任何信息系统都包含计算机硬件、计算机软件、数据库和用户四个组成部分，作为空间信息系统中一种特定而又十分重要的地理信息系统也是由这四个基本部分组成的，地理信息系统是采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面（包括大气层在内）与空间和地理分布有关数据的空间信息系统。GIS是描述空间位置的图形数据库和描述空间变量性质的属性数据库的结合。

地理信息系统可以根据其研究数据的空间分布特征与范围进行简单的分类。一类是研究地球表面与表层要素的空间分布特征的地理信息系统，空间信息的分布是基于地球表面或表层的，这类地理信息系统是二维的或2.5维的；研究全空间内信息分布特征的地理信息系统应当是三维的；将数字位置模型（2维）和数字高程模型结合起来的GIS可以看作是准三维的地理信息系统；真正的三维地理信息系统中，如果还考虑时间的变化因素再加上时间坐标便成为四维地理信息系统。地理信息系统按照其研究范围大小可以分为研究全球环境变迁的全球性地理信息系统；以研究一定区域内空间信息分布特征的区域地理信

①李德仁.论地理信息系统(GIS)的发展状况及趋势.中国GIS技术与管理经验交流论文选编

息系统；以及研究某一局部范围内的空间信息的采集、存储、管理、分析为主要目的的局部性地理信息系统。

地理信息系统从萌芽状态到发展成为一门新的技术科学和很有潜力的产业大致经历了模拟"地理信息系统"阶段、初始阶段、迅速发展和地理信息系统逐步走向实用化四个基本阶段[25]。

一、模拟"地理信息系统"阶段

地理信息系统是描述空间分布特征的图形数据库和描述变量特征的属性数据库的结合，按照这个定义，地理信息系统的思想可以追溯到19世纪，从那时起人们就开始用地图表示空间位置，用文字记述地理信息内容，将表示空间位置的地图与对地理信息详细描述的文字材料相结合便能够较完整地分析研究空间信息的分布特征，与现代地理信息系统相比较，地图就如同于图形数据库的作用，地理信息著作就如同于现代地理信息系统的属性数据库。

用地图和地理信息著作描述地理信息空间分布特征的缺点在于：图与文字材料的使用者要经过专门的训练、模拟形式的地图无法进行复杂的空间分析、图形数据与属性数据不便于进行相互分析以及图与文字材料更新较困难等。

二、地理信息系统发展的初始阶段

地理信息系统真正的发展始于50年代，在50年代计算机科学已经兴起，这使得用数字方式管理地理数据和地理信息成为可能，计算机能够有效地处理和分析各种地理数据和地理信息，这为地理信息的发展提供了技术保证。

1956年奥地利首先开始利用电子计算机来管理地籍数据，随后计算机在地理数据管理分析中开始得到广泛的应用，1963年R.F.Tomlinson首次提出了地理信息系统这一概念，并建立了世界上第一个真正的地理信息系统——加拿大地理信息系统，到70年代世界上又相继建立了一些简单的地理信息系统。

地理信息系统的发展与计算机科学的发展水平密切相关，早期地理信息系统硬件平台的缺点是内存容量较小、计算机数据存取速度慢、输入输出手段较落后；地理信息系统的软件功能较弱，最初的地理信息系统主要目的是机助制图，缺乏强有力的地学分析功能，地图的输入以手扶跟综数字化为主，地理信息系统能够完成一些简单的图拼接与图修改功能；这个时期的地理信息系统的数据结构以栅格为主。

三、地理信息系统的迅速发展阶段

地理信息系统的蓬勃发展时期始于70年代，这时计算机科学与技术已经得到了迅速的发展，这为地理信息系统的进一步推广创造了条件。西方技术发达国家已经普遍重视这一新兴技术，建立了许多地理信息系统，从1970年到1976年间，仅美国地质调查局就建成了50多个信息系统。地理信息系统开始成为资源调查、环境监测、土地管理等与空间信息分布特征研究有关的重要技术工具。

这个时期地理信息系统所采用的硬件平台性能比50年代有了很大的提高，计算机的速度已大规模的提高，快速大容量的存储设备磁盘与磁带开始在地理信息系统中使用，高质量的图像、图形卡也引入到了地理信息系统中。但大部分地理信息系统都建在大型计算机上；同时地理信息系统的软件功能有了很大的变化，地学分析功能与拓扑关系处理功能得到了进一步发展与完善，GIS软件商品化开始引起人们的重视和欢迎；在这个时期

地理信息系统的数据结构仍是以栅格形式为主。

四、地理信息的推广应用阶段

进入80年代以后，计算机硬件发展有了很大的变化，性能价格比较高的微机已经得到了普遍的应用，高分辨率显示器、大容量内存和磁盘的图形工作站开始投放市场，这为地理信息系统解决复杂的空间分析问题提供了可能。

这个时期的地理信息系统硬件平台的最大特点是逐渐以微机和工作站为主，计算机的存储能力与速度都有了明显的提高；GIS的软件功能进一步得到了完善，市场上开始大规模地出现成熟的地理信息系统软件，例如美国环境系统研究所推出的以工作站或微机为硬件平台的地理信息系统ARC／INFO、GENAMAP、SYSTEM等；地理信息系统所采用的数据结构也发生了变化，虽然有些系统还采用栅格数据形式，但矢量数据结构的系统开始出现并逐渐地占有主导地位；这个时期地理信息系统的一个重要特点是地学分析功能大为加强。

五、地理信息系统的发展趋势

计算机科学的发展和各种应用的需求决定了地理信息系统的发展趋势。多用户网络的硬件结构已成为当今的主流方向，工作站的发展使得以往与中央处理机相连的计算机终端将逐步消失①，微机由于其较高的性能价格比使它还将是地理信息系统的主要硬件平台之一；地理信息系统软件将进一步完善，栅格与矢量数据的混合处理、遥感图像处理系统与地理信息系统一体化将成为基本的趋势，由于实际需要，真正三维的GIS系统的开发以及三维地理信息系统的数据结构与拓扑关系研究将是一个热点；地学分析功能将进一步完善，一些用于解决复杂空间分析问题的新方法如神经网络分析、模糊理论、专家系统等将引入地理信息系统；地理信息系统的商品化与产业化的步伐将加快；其应用领域还将不断拓宽。

六、地理信息系统在我国的发展[5, 26]

地理信息系统在我国的发展经历了三个基本阶段。1980年以前为理论准备和人才培训阶段，有关单位和机构开始研究各国建立地理信息系统的经验和教训；1980—1985年是起步阶段，完成了技术引进、规范的研究和制定以及区域性的实验工作为"七五"的发展打下了基础；1986—1990年为初步发展阶段，这个阶段我国地理信息系统研究和应用进入了一个有组织、有计划、有明确目标的阶段，并逐步把地理信息系统技术引入到重大国民经济问题的研究中。经过多年的努力，我国地理信息系统研究在人员培训、技术准备、规范制定、区域实验方面作了许多工作，为地理信息系统的深化研究和产业化奠定了良好的基础。

第二节　地理信息系统的基本构成

地理信息系统是由计算机硬件、计算机软件、数据和系统用户四个基本部分组成的，也可以说地理信息系统包括从数据源开始，经过空间数据管理信息系统，到系统用户这一完整的信息处理系统[5]。地理信息系统的组成如图13-1所示，其中由数据处理与数据分

①李德仁.地理信息系统（GIS）的发展状况及趋势.中国GIS技术及管理经验交流会论文选

析两个子系统组成的空间数据管理系统是地理信息系统的核心。在地理信息系统中数据是各种各样的专题图、遥感图像数据、统计表格等等，系统用户则是系统的直接服务对象。本节主要介绍构成地理信息系统的硬件与软件。

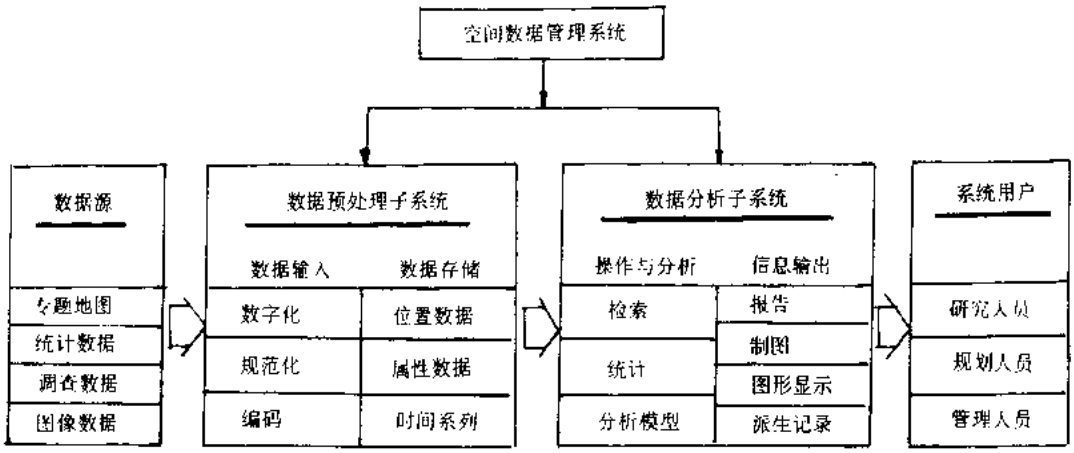


图 13-1　地理信息系统的构成[5]

一、地理信息系统的硬件设备

地理信息系统的硬件设备包括系统的核心部分、输入输出设备、以及存储设备等（图 13-2）。

1）系统的核心部分。地理信息系统硬件的核心部分是计算机，用于地理信息系统的计算机可以是大型、中型、小型计算机，也可以是微型计算机，或是图形工作站。计算机可以单独使用，也可以组成网络使用。在早期的地理信息系统中，主要采用大中型计算机，近年来，以工作站和微机为硬件平台的地理信息系统越来越多，图形功能较强、内存大、运算速度快、价格相对便宜的工作站有可能会成为今后地理信息系统的主流机。计算机所采用的操作系统主要是 UNIX（工作站）与 DOS（微机），Microsoft 的 Windows 和 Windows NT 推出以后，地理信息系统又有向 Windows 和 Windows NT 靠拢的趋势。

2）存储装置。地理信息系统中最常用的存储介质是磁带、磁盘以及微机用软盘。

随着计算机硬件技术的发展，在地理信息系统中，已经开始使用体积小而存储容量较大的流式磁带；存储容量大且存储速度快的光盘已成为以工作站为硬件平台的地理信息系统的主要存储装置。

3）输入设备。在地理信息系统中，数字化仪一直是最主要的输入设备；但地理信息系统中的图形以及遥感系统中影像数据的自动输入设备是各种各样的扫描仪，现阶段扫描仪虽不是地理信息系统的主要输入装置，随着图形跟踪与识别技术、栅格数据矢量化技术的进一步发展，扫描仪有可能取代数字化仪，完成现用人工手扶跟踪数字化的大部分工作；用于数字测图的解析测图仪也可以是地理信息系统中的一种输入装置；其它可以作为地理信息系统数据输入装置的设备有 GPS（全球定位系统）接受机等。

4）输出设备。在输出设备中必不可少的设备是图形终端，图形终端可以用于图形与

专题图的显示、编辑与修改；矢量绘图仪是目前国内地理信息系统中普遍采用的图形输出设备；栅格式绘图设备有普通行式打印机、阵列式激光打印机以及高分辨率的彩色喷墨绘图仪等，彩色喷墨绘图仪具有颜色色彩层次丰富、定位精度高等优点，可以预计，彩色喷墨绘图仪将会成为地理信息系统的一种很重要的输出设备。

5）网络设备。随着网络技术的发展与地理信息数据远程传送重要性的不断增加，网络设备将成为地理信息系统重要组成部分以提高地理信息系统的综合效率。

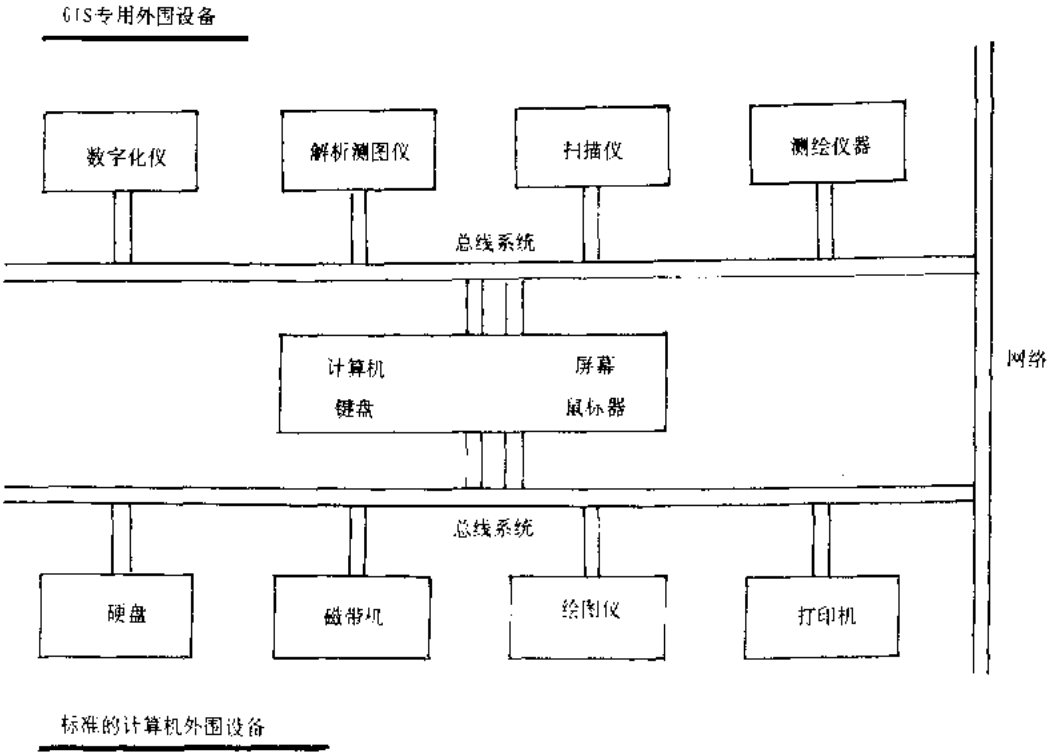


图 13-2　地理信息系统的主要硬设备[25]

二、地理信息系统的软件

不同规模、不同应用目的、甚至不同硬件平台上的地理信息系统其软件功能存在差异，但作为一个完整的地理信息系统工具，应该包括以下基本模块①：

1）空间数据管理核心模块。其功能是属性、网络和矢量数据库的管理，具有初始化、插入、更新、删除、检索、变换、量测、维护等功能，并为其它模块提供图形支持工具与接口。

2）输入编辑模块。主要功能是图形数据与属性数据的输入、编辑、修改等。

3）遥感数据更新模块。主要功能是利用遥感数据更新地理信息系统的数据以及遥感数据的基本图像处理等。

4）查询与检索模块。功能是空间关系与属性的双向查询与检索。

①阎守邕等.地理信息系统的研究内容与发展方向.中国GIS技术与管理经验交流会论文选编

5）模型应用模块。包括地理信息系统中的一些常用模型，例如，数字高程模型、网络分析、多变量统计及运筹规划等模型，还应该提供用户模型的系统接口等。

6）输出模块。主要功能是专题图、各种表格、各种文字材料的输出处理。

7）用户界面。提供系统用户的人机交互操作界面，具有菜单生成、函数调用、帮助信息等功能。

第三节　地理信息系统的数据结构

在地理信息系统中地理信息是由代表空间位置的图形信息和表示其特征和内容的属性信息等组成，最基本的图形数据模式有矢量方式和栅格方式两种，矢量数据结构一般对图形数据描述较好，图形的拓扑关系表达清晰但数据结构复杂；栅格数据结构较简单，各种空间分析功能容易实现，但数据量太大。表 13-1 详细列出了这两种数据结构的优缺点。

表 13-1　矢量和栅格数据结构的比较

项目＼结构	矢　量	栅　格
优　点	1.对图形数据表达好 2.数据得以压缩 3.拓扑关系描述充分 4.制图精度高 5.能够实现图形和属性查询与检索	1.数据结构简单 2.地图和图像的叠加和组合容易 3.各种空间分析容易实现 4.空间单元尺寸和形体相同，模型化方便 5.技术设备便宜，发展迅速
缺　点	1.数据结构复杂 2.多边形与栅格图叠加组合困难 3.每个单位有不同的拓扑关系，模型化困难 4.显示制图昂贵 5.技术设备，特别是完善的软硬件价格昂贵 6.多边形之间的空间分析与滤波难以实现	1.图形数据量大 2.利用大尺度的栅格可减少数据量，但导致图形数据可供识别的结构丢失，信息损失严重 3.粗的栅格图明显不如线画图美观 4.网络连接困难 5.除用专门算法及硬件外，投影变换很费时间

闾守邕等.地理信息系统的研究内容和发展方向.中国 GIS 技术与管理经验交流会论文选编.

一、矢量数据结构

任何复杂的空间物体或目标都可以分解为点、线、面、体这样的基本类型，地理信息系统中的矢量数据结构采用了点、线、面三种基本类型，在点数据上给出其空间位置的坐标值；线段被定义为两个端点范围内的点组；由线段组构成了面。在地理信息系统中，这种点、线、面间的层次关系被称为拓扑关系，可以显式地表达点、线、面之间的关联关系是矢量数据结构的一个显著特点。

二、栅格数据结构

栅格数据结构格式与遥感数据格式基本相同，地理空间被分割成有规则的网格，在各个网格上给出相应的属性信息来表示地理信息，因此栅格数据结构实际上就是一个数字矩阵。

第四节　地理信息系统的基本功能

地理信息系统具有数据采集、存储、处理分析、再现四大功能。

一、地理信息的采集功能

地理信息系统能够从各种原始数据源中采集地理信息数据或从其它系统接受各种格式的数据，地理信息系统能够采集的数据源有：①模拟的或数字的专题地图和地形图；②各种各样的统计表格；③遥感图像数据；④实测数据；⑤其它系统的数据。

二、地理信息系统的存储功能

地理信息系统能够把采集的地理信息数据以及专题结果数据存放在特定的存储介质中。

三、处理分析功能

地理信息系统的处理分析功能包括数据格式转换、拓扑关系建立与修改、图形编辑以及空间分析等。

1）数据格式转换。包括矢量与栅格数据格式的相互转换、不同地理信息系统之间的数据格式转换以及地理信息系统与其它系统（如CAD）之间的数据交换等。

2）拓扑关系建立与修改。包括图形空间拓扑关系的自动生成，以及拓扑关系的修改等。

3）图形编辑。包括点、线、面等基本图形要素的编辑修改等。

4）空间分析。空间分析包括拓扑叠加、多边形分解、缓冲区操作、特征提取、边缘匹配、质心计算、坐标配准等、空间数据量算。

拓扑叠加是对两个以上的数据层的图形数据和属性数据进行叠加运算并生成新的数据层。

多边形分解是拓扑叠加的逆运算，它是从多属性的多边形数据中，提取具有某一特征的数据层。

缓冲区操作指的是围绕点、线、面的内侧或是外侧扩展一定范围的功能，包括点缓冲区功能、线缓冲区功能以及多边形缓冲区。

特征提取是指从某一研究区中的一个或多个数据层中提取满足一定条件的数据形成新的数据层。

空间数据量算包括计算两点的距离、线的长度、多边形的边长、面积的计算、确定方位以及计算体积等。

四、输出功能

地理信息系统能够将地理空间数据的处理分析结果按照用户对于比例尺、分辨率等要求进行再现与输出处理。

第五节　地理信息系统与遥感

地理信息系统与遥感的研究对象都是空间实体，遥感主要着眼于空间信息的采集和分类；地理信息系统则着重于空间数据的管理与分析．二者具有相同的研究目标，又有不同的侧重点。

遥感技术的发展促进了地理信息系统发展，同时地理信息系统又为遥感的研究提供了一强有力的工具．这可以从两个方面来认识它们之间的关系[5]。

一、遥感是地理信息系统的重要信息源和数据更新手段

地理信息系统是对空间信息进行处理分析的工具，其工作对象是空间数据。遥感具有快速、实时、动态地获取空间信息的功能，遥感系统可以作为地理信息系统的一个子系统，为地理信息系统提供及时、准确、综合和大范围的各种资源与环境数据，并可以根据需要及时更新地理信息系统的数据库。

二、地理信息系统是遥感信息提取与分析的重要手段

地理信息系统是遥感图像处理系统的合理"延长"，地理信息系统引入到遥感图像处理和遥感应用分析中，大大地提高了遥感图像的可识别性．例如，在遥感图像的分类处理中，将地形信息与陆地卫星图像处理结合起来，可以大大地提高遥感数据的自动分类精度．地理信息系统已经成为遥感信息提取与分析的重要手段，遥感图像处理系统的一个发展趋势是在遥感图像处理系统中包含地理信息系统，或是地理信息系统与遥感图像处理系统的一体化。

第四篇　地学遥感图像数字处理的模式与应用

第十四章　遥感图像数字处理模式

遥感是一种全新的地学评价手段，对于其工作方法、流程、准则、与特点的研究自遥感技术被引入到地学研究领域时就广为人们所重视。然而由于遥感技术本身的复杂性、综合性、以及遥感技术随时空域变化的无规律性等方面的原因，地学遥感工作模式研究的进展与遥感技术应用领域的开拓相比还有很多问题急需解决，实际工作以及遥感技术产业化也迫切需要一个切实可行的地学遥感工作模式。

遥感图像的数字处理是地学遥感工作中的一个重要环节，虽然由于地学目的不同、工作区域不同、图像种类不同以及提取的专题信息不同等方面的原因，会造成图像处理在方法的选择上存在差异，然而地学遥感图像的数字处理作为一个整体过程，其工作方法必然有自己的特色并遵循一定的客观规律，本章从分析遥感图像数字处理特点着手，主要探讨地学遥感图像数字处理的特点及其一般的工作流程。

第一节　地学遥感图像数字处理的特点

研究地学遥感图像数字处理模式，首先应当了解遥感图像数字处理的基本特点与影响因素。遥感图像处理的目标是增强和提取所需的地学专题信息。地学专题信息的多样性和复杂性决定了遥感图像处理的特点；图像的质量（如图像的空间分辨率、图像的光谱分辨率、图像中噪声与干扰成分的水平、图像预处理程度与精度等等）直接影响着图像处理方法的选择与方案的制定；同时处理方法与方案的选择还取决于增强与提取的图像目标信息的内容。

一、地学专题直接影响着图像处理方法与方案的选择

遥感技术在地学中的应用领域非常广泛，不同的应用专题在图像处理方法与方案设计方面存在差异。下面将通过简要介绍资源勘探与城市发展动态监测中的遥感图像处理来阐述这一问题。

1）资源勘探中的遥感图像数字处理。遥感用于资源勘探的主要目的是解决构造问题，其次才是岩性识别与蚀变带的问题。从目前遥感应用情况看，遥感用于解决资源勘探中的构造研究问题是成功的，由于受图像波谱分辨率、图像空间分辨率、岩石组成复杂变化大、受浮土与植被影响大、实际地物波谱资料缺乏等因素的影响，用遥感图像进行岩性识别及提取蚀变带异常基本上还处于探索阶段。因此，资源勘探中遥感图像处理的重点内容是图像中线性构造的识别与提取。在数字图像处理方法上以卷积、定向滤波、对比度扩展、彩色合成处理为主，很少需要对图像进行分类处理；在考虑图像处理方案时，也无需考虑几个时相的问题。

2）城市发展动态监测中的遥感图像数字处理。这个应用专题与资源勘探研究专题有较大的差别。数字图像处理的目的是了解城市的范围、城市的土地利用现状以及环境污染与城市热岛问题，尤其重要的是它们随时间变化而改变的情况。在数字图像处理方法方面，图像的计算机分类处理是必不可少的，为了提高图像的分类精度，有时还需要对遥感图像中的纹理信息进行定量统计分析。相对来说图像的分类比卷积与定向滤波等处理算法在这个专题研究中会更为重要；在设计图像处理方案时，由于需要获得城市的动态变化信息，因此使用多时相的图像是必要的。

从以上两个专题分析可以看出，不同地学专题对遥感图像数字处理方法与方案选择的影响主要体现在图像处理方法的组合与方案两个方面。

二、图像本身质量对数字图像处理的影响

遥感图像信息质量对于遥感图像的数字处理的影响至关重要，它关系着遥感图像处理方法选择、方案制定以及图像处理的精细程度等。一般说来，遥感地学评价有三个基本标准[5]，即图像的空间分辨率、图像的波谱分辨率以及图像的时间分辨率。此外对于遥感图像的质量而言，噪声水平及预处理程度也是两个重要的因素。

1）空间分辨率，空间分辨率是一幅遥感影像上能够识别出的最小单元的大小或尺寸。在遥感地学评价中，空间分辨率常常有三种表达方法：

（1）像元大小，即遥感图像中每一个像元所对应地面的实际大小，如 TM 图像中一个像元对应实际地面的大小是 28.5m×28.5m，TM 图像的空间分辨率就大致认为是 30m。

（2）像解率，指胶片上 1mm 间隔内所包含的线对数。每一个线对数的宽度除以 2.8 就可以将像解率转换为像元大小。

（3）瞬时视场角，即传感器的瞬时视域。

用于评价数字图像空间分辨率的标准主要是像元尺寸的大小。

空间分辨率大小对于遥感图像数字处理的影响主要表现在图像处理速度、处理精细程度两个方面。

（1）像元尺寸大小对图像处理速度的影响：对应于地面同样一个区域（如陆地卫星的一个景区），像元尺寸较大的图像数据量较少；像元尺寸较小即空间分辨率较大的图像数据量相对来说较多。当用同样的图像处理方法对它们进行处理时，显然空间分辨率较高的图像要花费更多的计算时间与人力。例如对一个波段的 TM 图像进行分类处理要比对同一景的 MSS 图像分类处理多花几倍甚至几十倍的 CPU 计算时间。

（2）像元尺寸大小对图像处理精细程度要求的影响：空间分辨率较高、像元尺寸较小的遥感数字图像，其地物的清晰程度及图像结构的精细程度都比空间分辨率较低、像元尺寸较大的数字图像要高。对于特定的地学应用专题，空间分辨率较高、像元尺寸较小的数字图像常常不需要经过特殊的处理就可以直接进行地学解译并形成专题图；空间分辨率较低、像元尺寸较大的数字图像，由于图像中结构信息模糊不清，常常要经过一些复杂的图像处理才能进行地学解译并形成专题图。例如，我们可以对航空遥感图像或 TM 图像直接进行 1∶10 万或更小比例尺的填图与地质解译达到宏观构造控制的目的；而用 MSS 图像进行同样的工作，为达到地质目的就必须先对 MSS 图像进行数字放大，然后进行线与边缘特征增强，最后才能对增强图像进行地质解译。后者处理远比前者复杂。因此，即使

是相同的地学专题，由于空间分辨率的不同，遥感图像的数字处理方法与复杂程度也存在很大的差别。

通过上面的分析，表面上看数字图像空间分辨率的高低即图像的像元尺寸大小对图像处理的速度与复杂程度的影响似乎是矛盾的，而实际上这是同一问题相互关联的两个方面。实际处理中应该根据所处理的问题有所侧重有所取舍。例如当我们利用遥感图像进行全球构造运动研究时，主要着眼于全球构造格架的宏观控制，因而选择空间分辨率较低、像元尺寸较大的气象卫星图像比选择空间分辨率相对较高、像元尺寸较小的陆地卫星图像更经济、更有效。由于此类地学应用专题无需考虑图像的精细处理就能够满足专题解译要求，因此比用高分辨率的陆地卫星图像资料更节省时间与财力，是较优的方案；而当我们用陆地卫星图像进行 1∶20 万地质填图时，较好的方案则是选择 TM 图像资料，而应舍弃 MSS 与高精度的航空遥感方案，虽然 MSS 图像经过精细的数字图像处理基本上能够满足要求，但很不经济，用分辨率达 3m 的航空遥感更是浪费且毫无必要。

2）图像的波谱分辨率对遥感图像数字处理的影响。图像的波谱分辨率指传感器所用的波段数目、波段波长以及波段的宽度[1]。决定遥感图像波谱信息内容的三个要素是波段数目、波长、波段宽度。增强与提取遥感图像中的波谱特征信息是遥感图像数字处理最重要的内容之一，因此有必要分析一下图像波谱分辨率对图像数字处理模式选择的影响。在波谱分辨率三要素中，对数字图像处理方法与方案选择影响最大的则是波段数目与波段宽度。

一般说来波段分辨率高、波段数目多、波段较窄的遥感图像，地学专题信息在波段图像中的定位精度也较高，且易于提取。数字图像处理的重点主要放在波段选择与波段压缩两个方面，对于成像光谱仪图像这样高达 128 个波段的遥感图像，很显然数字图像处理最重要的内容之一是如何从众多的波段中挑选出对专题研究有意义的波段，并设法降低波段空间维数，使专题信息相对集中在少数几个分量图像上，从而减少计算机处理时间，提高数字图像处理效率。因此图像间的相关统计分析、彩色合成方案选择、主成分分析是这类遥感图像数字处理的常规内容。波段间的相关统计分析主要是解决专题信息在波段空间的大致定位，即专题信息与那些波段最相关；彩色合成则是在多维波段空间或是在由与专题信息相关波段组成的波段空间中选择最佳的专题信息彩色显示方案；主成分分析（也就是 K-L 变换）是利用线性变换方法将专题信息归并分类，以减少空间维数使信息相对集中，提高图像的可解译性；高维彩色空间变换也能够达到压缩图像维数并改善图像视觉效果的目的。

波段数目较少且波段宽度相对较大的遥感图像，其数字图像处理主要是通过波谱变换与对比度调整等方法来增强提取图像中的专题信息，波段空间压缩与彩色方案选择相对来说并不重要。例如，SPOT 图像只有三个工作波段，彩色合成方案除了红、绿、蓝三通道的位置可以作些变化外，基本上是唯一的，波段空间也不可能也没有必要再压缩了；对四个波段的 MSS 图像，其彩色合成方案选择也较简单，因为波段空间维数很低，没必要进行压缩处理。对于 MSS 这样波段分辨率较低的遥感图像，专题信息的定位精度一般较低，专题信息的增强与提取主要依靠对比度扩展与波谱变换算法来实现。例如土壤中的绿度与湿度信息可以通过对 MSS 图像进行缨帽变换的波谱变换算法间接获得[31]。

从以上分析可看出，波谱分辨率对遥感图像数字处理模式的影响主要表现为不同波谱

分辨率的遥感图像在数字处理方法选择与侧重面的差别。

3）图像的时间分辨率对数字图像处理的影响。时间分辨率是指同一地区遥感影像重复覆盖的频率。图像时间分辨率对数字图像处理的影响更主要是与专题信息是否包含时间信息即动态信息有关，如果专题信息是动态信息，时间分辨对数字图像处理方案的选择基本上类似于前面的波谱分辨率，而有关动态信息提取问题则在下面阐述。如果专题信息对动态变化要求并不高时，对数字图像处理模式及方法选择产生影响的并非是时间分辨率，而是时相因素。时相有时会成为影响数字图像处理复杂程度的一个重要因素。例如冬季图像上的积雪是图像专题信息增强与提取的一个干扰因素，对于有积雪的冬季图像，除雪或抑制雪成为专题信息提取的最主要的前处理工作；再如，我国南方的大部分地区植被覆盖良好，如何抑制植被信息而突出地质信息或是植被分布特征信息提取地质信息是这种时相的遥感图像的重要处理内容。

4）噪声水平及预处理程度对遥感图像数字处理模式的影响。遥感图像中的噪声大小对于遥感图像处理程序、方法、专题信息的提取都有很大的影响。噪声大的图像应该首先进行噪声抑制与平滑处理，高通型的数字处理方法可能放大噪声，为了提高解译效果，在高通型处理的前后都应该进行噪声抑制处理，以突出专题信息。实际的遥感图像数字处理都是大数据量的 CPU 运算，运算速度是影响遥感地学评价工作成本的重要方面，不是很需要的处理方法与运算步骤应尽可能地避免，噪声水平较低的图像不需要反复进行噪声抑制与平滑处理；相反有些情况下噪声严重地影响专题信息的提取，这时必须对图像进行噪声抑制处理后再进行专题信息提取。例如有大面积雪或云覆盖的遥感图像进行地质构造信息提取时，为了充分利用有限个灰度级资源，应该首先对雪与云的灰度分布特征进行统计分析，然后对其进行压缩与抑制使有用的地学信息得到增强；再如，侧视雷达图像一般都有很大的孤立噪声[49]，这些噪声对于雷达图像的显示质量与地学信息提取影响很大，在进行地学分析前，应当根据噪声的分布特征进行适当的抑制处理。

遥感图像产品的预处理程度也是影响遥感图像数字处理流程的一个因素，陆地卫星 CCT 可以提供两种数据类型，即未进行几何校正处理的遥感数据和进行过几何校正及地图投影变换的遥感数据。在利用未进行几何校正处理的遥感数据进行专题研究时，数字图像处理的首要工作是根据卫星运行参数对图像的系统畸曲进行校正处理并进行投影变换，这也就是所谓的几何粗校正处理。然后才能根据专题的要求确定是否需要进一步利用地面控制点对图像进行几何精校正处理。在利用经过几何粗校正处理和投影变换的遥感数据进行专题研究时，数字图像处理的工作是从几何精校正开始的。

三、目标信息内容与图像处理方法选择

在前面的章节中已经提及，遥感图像中包含着三大信息内容，即图像中波谱信息、图像的空间结构信息以及图像的时间信息。图像中的波谱信息也就是图像的灰度信息及灰度变化，反映了各种地质体的反射波谱特征及其变化，是地质体识别的重要依据，通常也是一种很重要的专题信息；图像中的结构信息不是灰度本身而是灰度在空间变化的模式与特征，结构信息应当包含着图像中的线、边缘以及纹理信息，线与边缘常常代表了地质体的边界与分界线及断裂构造，是很重要的地质信息，纹理则是岩石识别的重要辅助标志；图像中的时间信息应该理解为同一地区随时间变化而产生的图像的波谱信息及结构信息变化的总和，通常所指的时间信息仅仅是波谱信息的动态变化。

遥感在地学研究中已经得到了广泛的应用，也就是说地学领域中有很多性质差异较大的应用研究专题，例如，地貌研究、岩石识别、断裂带研究、资源勘探、城市发展动态监测、灾害监测、城市规划与土地规划、环境研究……。不同的研究专题对于遥感信息内容的侧重点有所差异，遥感图像的处理算法也是根据实际需要而设计的，各种算法对于遥感图像中的信息内容提取有所侧重，不同信息提取应当用不同的处理算法进行。下面将简单地介绍各种信息增强提取的常用处理算法。

1）波谱信息的提取与增强。对图像中波谱信息进行增强与提取处理常用的算法包括：假彩色处理、伪彩色处理、彩色合成处理、彩色空间变换、K-T 变换、主成分分析、反差增强、直方图调整处理以及波谱变换等。

图像的平滑处理能够抑制数字图像中的噪声干扰，改善图像的显示效果，在一些情况下也能够起到突出有用波谱信息的目的；波段图像之间的差值处理主要用于强调同一地物在不同波段的反射波谱特征差异，差值图像常常用于图像上灰度较接近地物的区分与识别；波段图像之间比值处理的原理和应用与波段图像的差值处理基本相同，但波段图像的比值处理远比波段图像的差值处理用得多，不同的研究者从不同的角度已经构造了一系列的比值处理算法，这些比值常常用于增强与提取图像中特定的波谱信息极其变化特征。例如，植被指数就是一个反映图像中植被变化的比值算法；含铁指数则是岩石与土壤中铁离子变化的反映。

2）结构信息的提取与增强。图像中的线、边缘、纹理特征统称为结构信息。

图像中的线与边缘特征增强与提取的常用算法包括：图像的尖锐化处理、图像二值化处理、定向滤波处理、卷积运算、线与边缘跟踪处理等。

反差增强与直方图调整等对比度扩展算法，由于扩展了图像的反差使得图像中的线与边缘特征得到增强；各种彩色处理由于人的生理视觉的影响也能够达到增强线与边缘的显示效果；主成分分析由于具有信息归并与除相关的功能，因而主成分分析也能够用于增强与提取图像中结构信息；对波段图像进行差值与比值处理，由于增强了波段图像之间的差异，有时可以达到增强图像中的某些线与边缘特征的效果。

图像中的纹理信息提取有其独特的处理算法，这已经在前面的章节中作过介绍。在此需要指出的是，一些反差扩展算法除了能够增强波谱信息与图像的边缘与线特征外，对于图像中纹理细节变化的显示也大有益处；主成分分析结果中的某些分量图像中（常常是第一或第二分量图像中）的纹理结构特征往往要比原始波段图像清晰，因此主成分分析有时也可以用来增强图像中的纹理特征；大量的实践表明，各种彩色处理有时能够增强图像中的纹理变化特征（如彩色合成处理），有时则可能弱化图像中的纹理信息（如伪彩色处理）。

3）图像中的时间信息提取。显然增强和提取同一地区不同时相遥感图像的时间信息最直接的方法是进行两个不同时相图像的比值与差值运算；不同时相的图像的彩色合成处理或它们的差值图像的彩色合成处理也是一种时间信息增强处理方法；主成分分析算法在多时相图像处理中有信息归并与除相关的作用。

从上面的分析可以看出，有些图像处理算法是最常用的。无论专题目标信息是以波谱信息为主、或以空间结构信息为主、还是以时间信息为主，都可以采用这些算法。这些算法主要包括多波段图像的彩色合成处理、图像的主成分分析以及图像的对比度扩展等。

第二节　地学遥感图像数字处理的一般流程

从第一节的分析中可以看出，影响地学遥感图像处理方法的选择与方案的制定因素很复杂且相互关联，这也许可以说明为什么还没有一个实用且通用的地学遥感图像数字处理流程可供参考。毫无疑问，像任何的客观事物一样，地学遥感图像的数字处理也应有其自身的规律，也应当可以参照一个通用的程式进行。

本节将在作者近年的科研实践基础上，介绍一个遥感图像数字处理的一般流程，此流程由 10 步组成（图 14-1），它适合于资源勘探中的遥感图像数字处理，对于其它地学专题的遥感图像数字处理也有其借鉴意义。

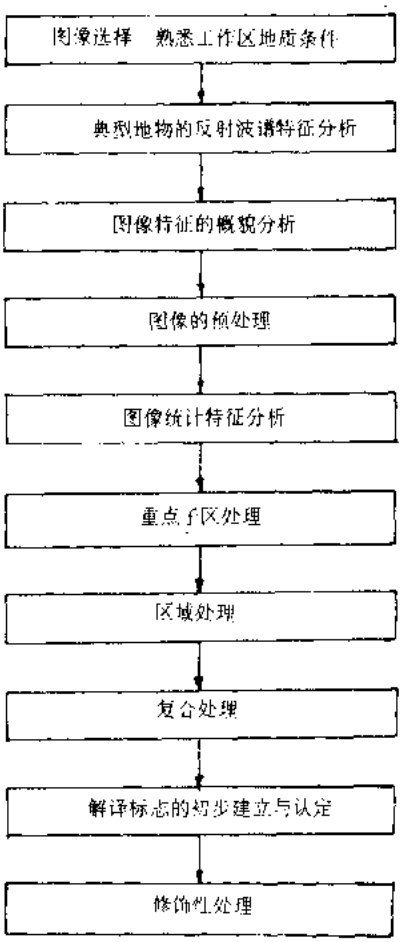


图 14-1　遥感图像数字处理流程图

一、图像选择

图像选择是根据专题的要求与特点选择适当的空间分辨率、适当的波谱分辨率以及适当时相的遥感图像资料。图像选择需要考虑的因素主要有三条，即专题目的、专题图比例尺以及专题的地域环境。

根据专题目的选择图像应当遵循经济可行这样一个原则，例如，用遥感研究全球构造时，可以选择空间分辨率较低的气象卫星图像，而选择陆地卫星图像是不适宜的。因为一

方面利用陆地卫星图像成本要高得多；另一方面在解译全球构造时，一些小的细节应当略去，分辨率较低的图像相当于在空间分辨率较高图像基础上进行了一次低通滤波处理，因此噪声小，更利于解译。

根据专题图比例尺选择图像也就是说选择与专题图比例尺相匹配的空间分辨率图像。例如小至1∶50万的地质填图就应当用MSS图像而不用TM图像，而大到1∶10万甚至1∶5万的专题，选择TM或SPOT图像要更合适些。

地域环境对数字图像选择的影响主要有两个方面，一方面是某些地域无所需图像资料而只能够用其它资料。如我国地面站接受不了新疆部分地区的TM图像，在这些地区只好用MSS图像或航空遥感图像；另一方面地域环境决定了某些地区接受不到质量有保证的某种遥感资料。例如我国的云贵地区常年阴雨天气，很难获得质量可靠的时相又较适宜的陆地卫星图像资料，因此可以选择全天候的侧视雷达图像。

二、工作区地质条件、典型地物的反射波谱特征分析

这一步的工作主要是收集和测试工作区的地物与岩石的反射波谱资料，为下面的图像处理提供依据。

三、图像特征概貌分析

图像特征概貌分析的内容包括图像的一级波谱信息、主要人工干扰、噪声成分与水平、解译标志及其可靠性。在这一步应当掌握决定图像基本亮度的地物类型是什么，也就是说图像中的一级波谱信息是什么，一级波谱信息与专题信息之间的关系；分析图像中有无人工活动标记，如铁路、道路等；分析图像中的噪声成分极其分布特征及对于专题信息提取的影响；寻找与分析图像中的解译标志以及它们的稳定性与可靠性。

四、图像的前处理

图像的前处理主要是指对图像进行辐射校正处理，对没有进行几何粗校正的图像进行几何粗校正处理，根据专题要求利用地面控制点对图像进行几何精校正处理，跨两景或以上工作区的图像镶嵌处理，利用平滑滤波等处理方法对图像噪声进行抑制处理，波段与波段之间的灰度匹配处理等。

五、图像统计特征分析

图像统计特征分析主要是指计算多波段图像的直方图与反映多波段图像本身及它们之间统计特征的中值、均值、方差、相关系数等统计参量，为图像处理方法选择与彩色合成方案的确定提供基础资料。

六、重点子区处理

当专题工作区较大时，遥感图像数字处理总是遵循从子区到面与从已知到未知这样一个技术路线。这一步工作主要是选择一个解译标志清晰、地质情况已知程度较高的区域进行处理方法研究，为其它区和面上处理积累经验。

七、区域处理

区域处理是在重点子区处理的基础上，选择一到几个本工作区有效的处理方法对整个工作区的图像进行专题信息增强与提取处理。

八、复合处理

复合处理有两个方面的含意，一是对各种处理结果图像的复合处理；另一方面所指的是与其它遥感图像的复合处理或是与非遥感资料的复合分析。复合处理并非是必须的，应

根据专题目的与实际情况而定。

九、解译标志的初步建立与认定

虽然建立解译标志是图像解译的内容，但为了提高与控制图像处理效果与质量，应当对图像的解译标志进行大致的认定，并分析它们的稳定性、区域变化规律、组合规律、唯一性与可靠性，当发现解译标志还不完整时，应重复六到九的工作，直到满意为止。

十、修饰性处理

修饰性处理包括对图像进行中英文注记以及专题信息标注等处理内容。

第三节　地学遥感图像数字处理中几个问题的探讨

本章第一节和第二节中详细地介绍了地学遥感图像数字处理的特点以及图像处理方法选择的原则与影响因素，这一节将在前面的分析研究工作的基础上，就地学遥感图像数字处理中几个带有普遍性的问题作进一步的阐述。

一、图像显示效果与地学信息内容表达之间的关系

图像显示效果与地学信息内容表达之间的关系大致可以分为三种情况即：图像显示效果好，地学信息内容表达很清晰；图像显示效果好，但地学信息内容表达不充分；图像显示效果欠佳，可地学信息内容表达充分。

图像显示效果好，地学内容又表达清晰是地学遥感图像数字处理尤其是多波段图像彩色合成处理的追求目标。这种较理想的专题图像往往只有当专题的目标信息侧重于波谱信息时才容易达到，因为对多波段图像进行波谱信息增强往往会改善图像的显示效果，使图像的色彩层次更加丰富。例如对彩色合成图像进行反差调整、直方图变换、彩色空间变换，即可以增强特定的波谱信息，又可以保留结构信息，使结构图像具有饱满的色彩，达到良好的视觉效果。

图像显示效果好，但目标地学信息内容表达不充分是多波段图像数字处理应当避免的问题，然而地学遥感图像数字处理的目的是增强与提取目标地学信息，片面追求图像视觉效果就会偏离地学遥感图像数字处理的宗旨。

图像的视觉效果不是最佳，但目标地学信息内容得到了充分表达，这是地学遥感图像数字处理中会经常遇到的一种情况。例如，在 TM 的 6 个波段（TM6 除外）的彩色合成方案选择中，由于 TM 图像可以划分为组内相关较大而组间相差较大的三组图像，即 TM1、TM2 以及 TM3 为一组；TM4 为一组；TM5 和 TM7 为一组。因此，视觉效果较理想的彩色合成方案应当是上面三组中各取出一个图像参加彩色合成处理，然而在以地质研究为主要目的的遥感图像数字处理中，TM4、TM5 以及 TM7 的彩色合成方案，决不会比 TM1、TM4 以及 TM7 三个波段的彩色合成方案少见，这主要是因为 TM5 比 TM1 对地质研究的意义更大。

从上面分析可以看出，图像视觉效果好并不意味着目标信息就表达充分，反过来应该引起注意的是在图像视觉效果与目标信息表达之间选择时，千万不能本末倒置，不要因为追求好的视觉效果，而忽略了目标信息的充分表达，这种情况最容易发生在增强与提取结构信息时。例如当用卷积法提取了图像中的边缘与线特征以后，有些研究者不必要的把卷积图像进行假彩色处理或与其它图像进行彩色合成处理，其结果是图像的彩色是增加了，

但结构信息被弱化，反而影响了图像的地质解译效果。

二、地学遥感图像处理中的 K-L 变换

在遥感图像信息增强和信息提取处理中，用得最多的线性变换是 K-L (Karhunen-Loeve) 变换，K-L 变换是就均方误差最小而言的最佳正交变换。K-L 变换又称主成分分析（或主成分变换），主要用于压缩图像空间的维数，它可以将表示图像信息内容的 N 维（N 波段）空间压缩为 1—3 维空间，从而大大地减少图像处理与图像分类时的计算工作量。K-L 变换的另一个优越之处就在于：K-L 变换后的空间，其坐标轴彼此正交，新的变量图像之间的相关系数为零，它们是彼此独立的新变量。因此 K-L 变换也常用于波段图像的去相关处理。

K-L 变换具有很强的信息综合能力，能够准确、特征地揭示多波段数据结构内部的遥感信息[50]，但彩色合成效果往往很差。下面将首先分析一下视觉效果的影响因素，然后探讨对 K-L 变换结果的信息增强技术及其视觉效果改善方法。

1）影响 K-L 变换后彩色合成图像视觉效果的因素。从遥感图像数字处理实践看，影响 K-L 组分图像彩色合成视觉效果的主要因素有三个，即孤立噪声点、组分图像之间灰度量级不匹配、人眼对颜色敏感度的差异。

(1) 孤立噪声点：遥感图像在其采集、传递、处理过程中，不可避免地要带入一些误差成分与随机干扰成分，这些噪声点在图像上是一些与周围象元点有较明显差异的孤立点。与其它噪声类似，图像噪声也服从正态分布，孤立噪声点的灰度级常比临近象元点偏高或偏低，在图像直方图上，孤立噪声点常位于直方图的两尾端。K-L 变换及 K-L 变换前所进行的一些高通性预处理，对于噪声有放大作用。在直方图上两尾端受噪声影响的范围加大，从而使得有用信息所能够利用的灰度级减少（图像能够利用的灰度级是 256），在视觉效果上，彩色合成图像色调暗淡，各种地物之间的差异不明显，视觉效果不佳。

(2) 组分图像之间灰度量级不匹配：这主要是指各组分图像的均值、中值差异很大。K-L 变换是遥感图像信息重新分类与归并过程，K-L 变换所形成的组分图像无论是在图像均值还是图像分布特征上，都存在差异，有时这种差异还很大。直接用这种组分图像进行彩色合成处理，图像的总体色调主要决定于均值、中值较大的组分图像。因而，彩色图像严重偏色，影响目视解译效果。

(3) 人眼对颜色敏感度的差异：在标准白光中，红、绿、蓝三原色亮度在总亮度中所占的比例是不均匀的，其比值为 0.30∶0.59∶0.11，即人眼对于绿光最敏感，红光次之，蓝光最次[51]。在进行彩色合成处理时，只有将第一组分图像放在绿色通道，才能获得视觉效果较理想的彩色图像。

(4) 遥感图像 K-L 变换的后处理技术：根据上述影响 K-L 变换彩色合成图像视觉效果的三个主要因素，遥感图像 K-L 变换的后处理技术的目的就在于尽可能减少这些因素对视觉效果的影响。利用人眼对颜色敏感度的差异，在彩色合成处理时，可有意识地将第一主成分或包含最主要信息内容的组分图像放在绿通道，使其细节强化，从而增强彩色合成图像的视觉效果与可解译性。组分图像之间灰度级不匹配可以用直方图调整、均值及中值平移方法修正；消除孤立噪声点可以采用中值滤波技术、δ 滤波技术等[52]；而 HSI 变换具有很强的信息显示能力与综合功能，对于改善 K-L 变换图像视觉效果具有特殊意义。

三、图像处理算法的串联组合

在实际的图像处理工作中，为了取得满意的地学效果，很少单独使用一种算法，而是以一种算法为核心把其它一系列相关或起修饰作用的处理程序组串联在一起形成算法组对图像进行处理。算法串联方式因图像而异，因信息处理目的而异，因操作者风格而异，在此仅仅介绍几种较常用且有效的算法串联组合。

1）核心处理算法后加一个对比度扩展处理（如线性扩展、非线性扩展、直方图修正处理、局部反差扩展等）。这是最普遍的算法串联组合形式，在实际的遥感图像数字处理中运用很广，其主要作用是把所处理的结果图像反差加大，增强专题图像的视觉效果，提高图像的可解译性。这种串联的常见例子有多波段图像彩色合成以后再进行彩色调整处理以及图像卷积处理后进行反差增强处理。

2）核心处理算法前后各加一个对比度扩展处理程序。这也是一种较常见的算法串联组合形式。例如当设计用卷积法增强和提取图像中的线与边缘特征时，首先对原始图像进行对比度扩展可以增强图像的反差，突出图像中的边缘与线特征信息，为卷积运算作准备。卷积运算后对卷积图像进行对比度扩展，可以改善卷积图像的视觉效果，提高图像的可解译性。

3）同类算法的串联组合。同类算法串联组合的最大特点是能够综合每个算法的优点，达到最大限度地增强目标信息的目的，这种算法串联组合也用得较多。例如，当对一幅图像进行对比度扩展时，可以用线性扩展、非线性扩展、直方图均衡化以及局部对比度扩展等算法，这些算法扩展性质是不相同的，其效果也有所差异，但把它们串联起来对图像进行反差扩展有时反而会得到很好的解译效果。应该注意的是同类算法的串联组合中算法的位置排列是一个很重要的问题，不同的排列方式可能会得出不同的结果图像，其排列方式应该根据要增强的信息内容并通过反复试验来决定。

4）反性算法的串联组合。反性算法可以理解为对同种信息一个起增强作用另一个起抑制作用的算法对，反性算法串联组合的主要目的是在高通性处理时抑制噪声放大。例如，噪声较大的图像进行高通滤波之前或之后，往往要进行平滑滤波处理，以抑制噪声成分的影响。

5）频率域的算法串联组合。频率域的算法串联与空间域基本上是一样的，无非是高通滤波算子串联一个低通滤波算子，或是低通滤波算子串联一个高通滤波算子。

四、地学遥感图像处理中的信息复合问题

不同来源信息的复合处理与复合分析是提高遥感解译精度的一个重要途径，信息复合是指同一区域内遥感信息之间或遥感信息与非遥感信息之间的匹配复合[5]。信息复合技术研究是遥感应用研究的一个重要领域，信息复合包括与遥感有关的各种信息之间的信息匹配运算，在此只讨论一些遥感图像数字处理过程中的信息复合问题，其它资料的信息复合处理问题可以参阅文献[5]。

利用信息复合技术进行遥感图像数字处理的主要目的是增强信息表达，提高图像的可解译性。遥感图像数字处理中常用到的信息复合算法有彩色合成、比值与差值分析、逻辑运算以及彩色空间变换四种。

1）彩色合成。彩色合成是遥感图像数字处理中用得最多的处理方法之一，也是一种较有效的信息复合方法。通过把不同处理结果的图像进行彩色合成可以把多种信息内容综

合显示在一幅图像上，这既可以弥补单一结果图像的信息表达不充分的缺陷，又可以改善处理结果图像的视觉效果。例如，比值图像往往增强了某种地物的波谱信息，而抑制了背景信息，用比值图像与波段图像进行彩色合成就可以克服这个缺点；不同比值图像的彩色合成可以在同一张图像上同时充分表达几种信息内容。

2）比值与差值分析。比值与差值分析可以用于结果图像的信息综合，也可以用来分析两个结果图像之间的相关关系与消长关系。

3）图像之间的逻辑运算。图像之间的逻辑运算可以用于图像的复合与综合，常用的逻辑运算主要有逻辑与运算和逻辑或运算。

4）彩色空间变换。彩色空间变换可以实现 RGB 空间与 IHS 空间的相互转换，彩色空间变换可以用来作遥感图像处理结果的复合与综合处理[18]。最一般做法是把三个不同的结果图像分别当作 RGB 空间的 R 分量、G 分量以及 B 分量，然后对它们进行 ISH 变换，最后用 I 分量与其它波段图像进行彩色合成处理。

第十五章　遥感图像处理在活动断裂带研究中的应用

作为遥感图像处理的应用实例，本章将介绍鲜水河地区活动断裂带遥感研究中的图像处理技术。展布于川西北高原上的鲜水河断裂带是一条呈北西走向的大型左旋走滑活动断裂带，也是中国大陆内部有着强震活动的重要断块边界活动断裂带之一。自70年代以来，曾有许多学者对这一断裂带的第四纪活动性、大震地表破裂特征、地壳形变、地震活动性等方面的问题进行了广泛的研究，这些研究结果对于认识断裂带的构造活动特点以及地震预报、地壳动力学特征等，有着重要的意义。受客观条件的制约，鲜水河活动断裂带的总体研究程度较低，这是综合分析鲜水河地区孕震性的一个障碍。鲜水河活动断裂带的强烈活动对本地区的水系和地貌都打下了较为强烈的印记，且后期人工改造较少，在TM图像上活动断裂带特征明显。因此应用TM遥感资料来研究分析鲜水河活动断裂带的几何学和运动学特征具有重要的意义。

第一节　鲜水河活动断裂带遥感研究的技术路线

一、遥感资料的选择

在鲜水河地区，能够收集到的遥感资料较少，由于专题的研究目的是活动断裂带几何形态学特征以及活动断裂的孕震性，涉及的研究对象具有较大的尺度，所以进行大比例尺的航空遥感测量从经济的角度来看没有太多的必要；但是，几何分辨率太低的遥感图像（如气象卫星图像）又无法很好地表达断裂活动所引起的微地貌景观变化，因此遥感图像的几何分辨率要求较高。从几何分辨率的角度看，选择陆地卫星图像、SPOT卫星图像以及其它类似的航天遥感图像较为合适。

在鲜水河活动断裂带的遥感研究中，我们选择了TM图像作为断裂带研究的主要遥感资料，并对其进行了图像处理与图像分析。大区域构造背景和水系分布特征研究还利用了MSS资料。

二、活动断裂带研究的技术路线

断裂活动的结果必然要改变地物的波谱特征，改变微地貌特征从而产生一些特殊的微地貌景观，同时断裂活动影响着其周围地区水系分布格局以及地面断层含水性的变化。

断裂活动引起的微地貌景观变化，在遥感图像上常表现为图像纹理特征的变化，采用一些纹理提取与增强处理方法可以增强反映断裂活动引起的微地貌景观变化的信息，通过已知程度较高地段纹理特征的变化规律，又可以反推断裂带在未知地段的分布特征。

断裂带活动往往影响水系发育和水系格局的形成，对遥感图像中的水系进行解译，提取反映水系分布特征的特征参量，从而研究断裂活动与水系发育、水系格局之间的内在联系。

断裂活动还造成地表地层含水性的变化，采用含水信息提取处理方法，增强与提取区域内含水特征变化规律，在此基础上研究分析断裂带的发育特征。

由于鲜水河活动断裂带延展几百公里，各个区段的地质研究程度是不一样的，整个研

究工作是从已知程度较高的地段开始的，通过对已知程度较高地段进行图像子区的处理分析，推广到整个活动断裂带范围。

利用野外波谱测试的方法，定量描述断裂活动对地物反射波谱特征的综合影响是困难的。因此，在断裂已知程度较高的地段采用了"波谱剖面分析"（见本章第三节）的方法来建立典型构造地貌的波谱剖面模式，研究断裂带活动对断裂波谱特征的影响，并在此基础上进行一些亮度变换处理，以突出断裂带波谱变化信息。

第二节　鲜水河地区 TM 图像特征分析

为了有效地提取 TM 图像中断裂活动的专题信息，我们首先对图像总体光谱信息特征、结构信息特征、图像噪声类型及其亮度分布特征进行了分析。

一、图像光谱信息统计特征分析

研究区主要地物类型为裸岩、河流、松散沉积物等，影响图像解译的主要噪声有积雪、云和地形阴影。积雪往往与裸岩相伴生。我们对几种主要地物以及雪等干扰成分进行了随机亮度统计分析和亮度直方图统计（见表 15-1 和图 15-1）。

表 15-1　鲜水河地区 TM 图像裸岩及雪的亮度值随机统计

	雪			裸岩
	薄雪	中薄雪	厚雪	
TM1	89—129	145—191	208—255	52,49,57
TM2	91—115	131—192	214—255	27,39,31,46,16,24
TM3	116—123	136—190	203—234	22,25,27,29,51,35
TM4	82—110	110—192	212—239	12,32,40,47,53,45
TM5	30,26,37,29,22,19,29,17,10,13,17,19,11,14			93,79,81,97,74,27

1）图像总体亮度分布特征。131／39 景的亮度分布特征是：TM1 的有效亮度区间是 32—65，最小值为 0，最大为 255，裸岩的亮度值在 60 左右，雪的亮度值一般都在 130—190 之间甚至可到 255，其直方图是对称的；TM2 有效亮度区间是 6—64，最小为 0，最大为 255，裸岩一般在 15—46 之间，雪一般为 140—190 或更高，直方图为一侧偏斜，具有两个峰；TM3 有效亮度区间为 4—40，最小 0，最大 255，裸岩一般为 22—51，雪一般为 130—190 甚至更高,直方图右斜；TM4 有效亮度区间 3—64，最小 0，最大 255，裸岩一般在 15—50 之间，雪一般为 120—160 或更高，直方图基本对称；TM5 有效亮度区间为 2—126，最小 0，最大 255，裸岩一般为 20—93，阴影区亮度在 20 左右，雪只有 13 左右，直方图对称；TM6 有效亮度 82—140，最小 0，最大 160，直方图右偏斜；TM7 有效亮度是 1—63 和 82—128，最小 0，最大 184，亮度直方图分为相对独立的两部分。

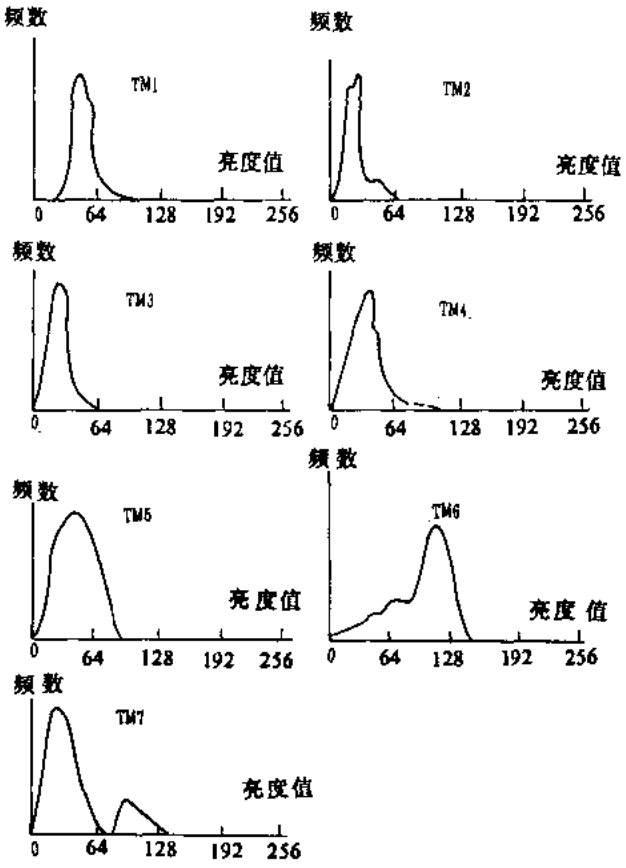


图 15-1　131 / 39 景 TM 亮度值分布直方图曲线

总体说来，雪在 1、2、3、4 波段的值较高，位于亮区，与基岩亮度区间有部分重叠；在 5、6、7 波段，雪亮度值较低，位于暗区,与基岩亮度动态区间相近。所以积雪对图像处理影响较小。云在可见光波段的反射特征与积雪相近，在红外波段还有较高反射，因此，从专题信息显示看，云无论在那个波段都影响较大。

地形阴影的结果是使目标信息的亮度值降低，当地形起伏较大时，地形阴影对于专题信息提取有一些影响。

2）波段之间的信息相关性。表 15-2 是 131 / 39 的相关矩阵，从表可看出，TM1、

表 15-2　131 / 39 景 TM 图像相关系数表

波段	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7
TM1	1.00						
TM2	0.94	1.00					
TM3	0.95	0.99	1.00				
TM4	0.91	0.96	0.97	1.00			
TM5	0.18	0.13	0.17	0.33	1.00		
TM6	0.28	0.18	0.20	0.35	0.71	1.00	
TM7	0.23	0.17	0.21	0.34	0.98	0.64	1.00

TM2、TM3 相关性较大，TM5、TM7 相关性较大，而 TM4、TM6 各自独立。从相关特征来看，图像数据可以分为 TM1、TM2、TM3 组，TM5、TM7 组，TM4 组以及 TM6 组四个组，这与 TM 图像的一般规律相吻合，而 TM5、TM7 与 TM1、TM2、TM3、TM4 之间的离散度如此之大，可能是大面积的积雪所造成的。

3）图像信息量分析。通常一景图像中 7 个波段的标准差能反映图像的信息量。表 15-3 为研究区三景 TM 图像的标准差，正常情况下，TM5 的标准差最大[54,55]，131／38 和 130／40 景 TM 图像中 TM5 的标准差最大，这说明其所含信息量也最大，131／39 景 TM 图像中标准差与此规律正好相反：TM1—TM4 标准差数值大，而 TM5、TM7 的标准差数值小。综合分析，这是由于 131／39 景雪覆盖范围较大，使得 TM1—TM4 的标准差较大。由于 TM5 和 TM7 波段雪的亮度值较小，因而其标准差相应就较小。这也从一个侧面说明 TM5 和 TM7 受雪的影响最小。

表 15-3　鲜水河三景 TM 图像标准差

波段／景号	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7
131-38	30.9	15.8	19.2	21.3	41.9	48.2	19.1
131-39	75.7	53.8	59.0	45.3	35.8	43.5	18.1
130-40	19.3	8.6	10.5	14.9	29.6	36.3	14.9

二、TM 图像的结构特征

TM 图像中的结构信息包括宏观的线性构造与水系，以及微观的影纹结构。通过对已知区图像特征分析，粗略地可以发现鲜水河活动断裂带的结构特征主要表现为：直观上图像在断裂带两侧影纹特征（包括纹理的粗细程度、纹理的方向以及纹理的密度）的变化、水系的发育以及水系的密度总体走向与断裂控制有关。图像中宏观与微观结构信息较丰富，进一步分析中可以看出结构信息特征的变化与断裂带有某种程度的联系。如一级结构信息往往与断裂带的方向平行，二级和三级结构信息往往与断裂带垂直或斜交并常被断裂带切割或错断。

第三节　鲜水河活动断裂带专题信息的增强与提取处理

一、噪声抑制技术及宏观图像结构的增强处理

宏观结构特征研究的图像处理方法与内容在各个遥感地质专题研究中基本上是不变的。针对遥感地震地质工作的特点，对鲜水河地区 TM 图像主要进行了以下几种增强处理。

1）波段图像的比值处理。比值处理的目的是突出不同地物之间的波谱差异，并抑制雪与阴影的影响。在这次处理中主要采用如下算法：

（1）TM5／TM1：由于 TM5 图像上雪区亮度值较低，而 TM1 图像上雪区亮度值较高，所以 TM5／TM1 比值较少，相反地物比值区间相对较大，这就起到了消除雪的影响而突出了第四系地层、地表铁离子变化。主要作用是消雪；突出第四系地层的细节特征；含水性；地面铁离子含量变化情况。

(2) (TM5×TM7) / (TM1×TM2)：其主要功能是抑制雪和云；区分主要岩石类型。

(3) (TM7−TM1) / (TM3+TM4)：这里使用了差值图像，其基于同一地物在两个波段之间的差异来识别地物。主要功能是突出隐伏构造（主要是盆地）；突出纹理结构。

以上比值的设计主要依据各波段的波谱特性以及在处理过程中的反复比较试验。这些比值既可单独使用，也可合成使用，通常将 1、2、3 种比值进行合成，这种合成图像包含了全部 TM 六个波段的有用信息，再将合成图像做直方图均衡化处理，结果图像色彩丰富，细结构清晰。

2) 彩色合成处理。彩色合成是 TM 图像增强的有效方法，通过计算 OIF[57,58,59]指数以及反复试验，在鲜水河地区选择了 157 和 345 两个彩色合成方案。

3) 图像线性变换法与非线性变换法。线性变换法首先将图像亮度值分为几个连续区间，用线性变换方法将干扰成分的亮度值区间进行压缩，而对包含着有用地质信息的亮度值区间进行拉伸，使图像的有限亮度级得到充分利用，增强有用的地质信息。最常用且最有效的线性变换就是 K−L 变换，K−L 变换具有方差信息浓聚、重新分配、数据量压缩等作用，可更准确、特征地揭示多波段图像数据结构内部的遥感信息。K−L 变换功能概括起来就是除相关、数据压缩、信息分类等，利用 K−L 变换的信息重分类的作用可以将有用地质信息与雪、薄云、阴影等干扰成分分开，在 K−L 组分图像中，有的组分图像包含较多的有用地质信息，而相应的雪、阴影等干扰成分得到了最大程度的压制，利用这些组分图像与其它波段图像作假彩色合成处理可以有效地增强地质目标信息。

为了压制雪的影响，还使用了亮度值变换法,因为在 1—4 波段图像上,雪的亮度值均较高，在此区间内只有雪而没有其它成分，因此变换雪区间亮度级不影响涉及其它区间有用的地学信息。工作过程首先是确定 1—4 波段中雪的亮度值分布区间，然后将雪分布区内的像元亮度值全部转换成 1。这种转换的结果就是将包含有雪的区域全部"压缩"，不仅使雪的亮度区间范围压缩至最小，而且使雪的亮度值转换至最小，然后再对原图进行扩展处理，使有用的地物可利用的亮度区间达到最大,从而产生较好的视觉效果。

4) 卷积运算。卷积是一种有效的边缘与线检测方法。在鲜水河地区，主要使用 SOBEL、PREWITT 以及 ROBERT 算子对 TM 图像进行了卷积处理，以便增强与活动断裂带极其派生构造密切相关的线与边缘特征。

以上几种方法可以单独使用，也可以结合起来使用以便达到最佳图像显示和地质解译效果。此外，彩色空间变换也可以用来改善彩色合成图像的目视效果，增强有用的地质信息。

二、活动断裂带的含水信息提取

含水性是活动断裂带研究的重要内容之一。断裂带本身不仅可能是一个隐伏含水结构，还会形成断塞塘和断层槽，断裂运动还造成次级凹陷盆地及隆起；而且断裂带控制第四纪的分布（第四纪含水性较大），这些都与含水性有关。提取图像中含水信息最有效的方法有三：

1) 5、4、3 波段的彩色合成处理。在鲜水河地区 5、4、3 波段彩色合成图上，含水区域为红色，红色的浓淡反映了含水程度。

2) 对 TM 图像进行 K−L 变换与 K−T 变换[61]。K−T 变换的第三组分就是湿度，在

鲜水河地区，将 K-T 变换第三组分图像与 K-L 变换的组分图像及原始图像进行彩色合成处理，用来研究地层含水变化与活动断裂带发育的关系。

3）1、2 波段与 5、7 波段的比值处理。这种比值能够勾画第四系地层分布范围与含水情况。

三、水系解译与定量分析

水系是遥感图像上最为醒目的结构特征，水系对新构造运动的反映敏感，因而可以通过分析鲜水河活动断裂及其周围区域的水系特征来推断区域构造运动的背景和构造形式。

1）水系解译。水系解译是在 MSS 图像上进行的，对鲜水河地区的 6 景 MSS 影像进行了水系解译，解译精度已达到四级冲沟。

2）水系的分区特征分析。从分布特征上看本区水系可以分为中、南、北、以及中南 4 区。中区以直线状平行排列为其主要特征，水系展布受鲜水河断裂控制明显；北区水系呈树枝状，优势方位不明显，反映了该区构造运动的相对稳定；南区水系有树枝状、环状、放射状等形式，其特征与岩体发育有关；中南区水系呈北东向展布，与断裂带的走向变化密切相关。

3）水系的定量统计分析。对水系解译图进行了数字化处理，然后绘制水系走向玫瑰图，以确定水系的优势方位；计算水系密度分布图，以分析水系密度与断裂带的关系；计算水系的交点密度，以分析水系与断裂活动之间的对应关系。

四、断裂活动引起的微地貌景观变化信息的提取

为了提取断裂活动引起的图像结构信息变化，对图像进行了纹理分析处理。纹理分析有多种方法，不同的方法有不同的效果。因此要经过反复试验以选择最佳的纹理提取方法。TM5 波段的信息量最大，图像的结构和层次最为丰富，在鲜水河地区主要用 TM5 波段进行最大最小值法纹理分析来计算图像纹理统计特征，在断裂带两侧纹理特征有明显的变化，沿断裂带走向，由于断裂活动的差异、岩石成分的变化等因素影响纹理性质也存在差异，在整个活动断裂带范围内，纹理特征都因为断裂的存在，使两侧纹理特征变化不能够连续，常表现为明显的错动或截断。

五、波谱剖面分析

“波谱剖面”是与断裂带走向垂直的剖面，纵轴是各个波段的亮度值，横轴是位置变化，也反映了地物类型的变化，“波谱剖面”描述了地物电磁波辐射特征、地物结构变化、以及活动断裂带活动对地物波谱的影响，综合反映了断裂带活动对图像亮度信息的影响。垂直剖面的形成方法是：垂直鲜水河断裂带划定剖面，采集剖面上 7 个波段亮度数据，连接绘图软件绘制成亮度剖面。

1）波谱剖面分析原理。

由于断裂活动的影响，断裂带本身在含水性、岩石成分、以及结构特征方面与邻区存在差异，这些变化与差异会引起地物波谱的异常；断裂活动可以造成微地貌景观的变化，因此，地物的反射波谱特征与地物的表面特征及粗糙度相关；断裂活动引起了水文地质条件的变化，它间接地会影响植被的发育生长情况从而造成地物反射波谱特征的变化。

在断裂构造研究程度较高的地段建立垂直断裂带的“多波段波谱剖面”，对比分析地貌单元或断层与 7 波段亮度剖面曲线的对应关系，提炼出不同的地貌单元或断裂的 7 个波段的亮度剖面曲线的标准模式，最终在全区推广应用以指导未知段的分析工作。

2）典型地貌或地质体的亮度曲线模式(图 15-2)。

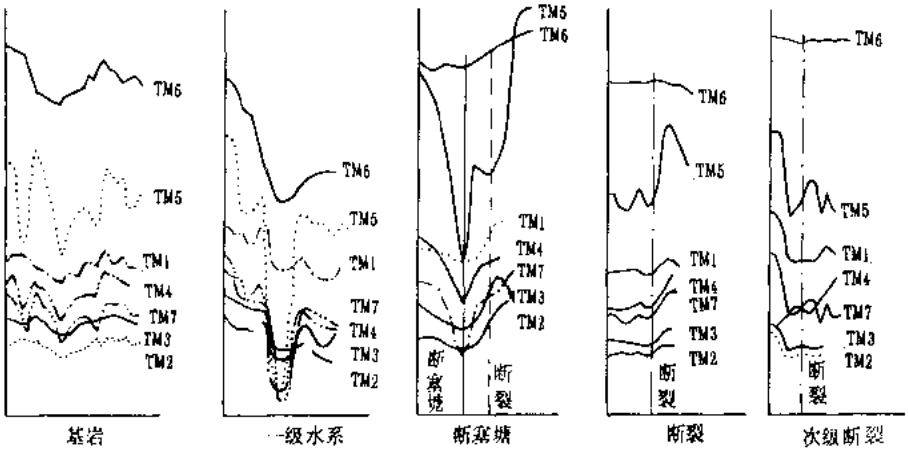


图 15-2 典型地貌亮度剖面

(1) 基岩。基岩主要类型为灰岩，花岗岩等，这几种岩石的亮度曲线特征基本相似，岩石的七个波段曲线都为高值，相互平行，有时互有穿插，与其它类型的地貌单元过渡分界明显。

(2) 松散沉积层。较为典型的松散沉积物的亮度曲线幅值较低，亮度幅值与沉积层颗粒负相关，与含水性正相关，含水性较小时，亮度曲线协调一致，而含水性较大时，灰度曲线常有相互穿插的现象。

(3) 河流及冲沟。一级水系：在亮度剖面上，一级水系有较为醒目的标志，其特征为：七个波段都为低值，且相邻像元连结的直线斜率较大，低值幅度及直线斜率与河水的深度有关，因此可以据此来分析河水的相对深度和宽度；次级水系、冲沟：其特点与一级水系的形态特点有点类似，但其极值幅度较大，切线斜率相对较小；干沟：主要特点是表现一较低值区，干沟与提岸连续过渡，有时某一波段的数值相对较高。

(4) 断塞湖（塘）、断槽。断塞湖和断层槽在亮度剖面上的表现特征也较明显。通常在斜率较大的斜线上，发育一小凹槽。

(5) 断裂。主干断裂：鲜水河地区较为典型的亮度剖面特征是在一低值区中，两侧为斜率较高的斜线，通常南侧发育较好，在斜线中部有一拐点，这一拐点就是断裂的位置。在七个波段中，斜率都是同向、其中第五波段最为典型。主干断裂的这种规律性与实际情况是一致的：鲜水河断裂带往往发育在河谷南侧的斜坡部位；分支断裂：分支断裂基本上也具备有主干断裂的特征，但断裂附近的亮度值及切线斜率①不如主干断裂明显。断裂一般也都发育在亮度剖面曲线的拐点附近，有时个别波段不一致，通常断裂发育时间越长、活动性越强，则越典型；反之，断裂发育时间越短，活动性越差，则规律性越不明显。

3）水系波谱变化幅度及沟谷宽度分析。

鲜水河河谷宽度与断层的塑造历史有关，与断层现今的活动状态有关。在亮度剖面图

①断裂切线斜率：指在亮度剖面上，断裂带附近两相邻像元点的亮度差值。

上可以更精确地确定沟谷宽度。从而分析断裂现今的活动状态。水域的亮度与水深是密切相关的，因此沿水系的走向来分析水域的亮度变化就可间接了解水深的变化，进而了解断层现今运动的特点。

4）亮度剖面分析实例。

如 LB4 亮度剖面（图 15-3），其穿过断层、主干水系和分支水系，还穿过松散层和基岩区。将剖面划分为基岩相、漫滩相、边滩相和河床相。

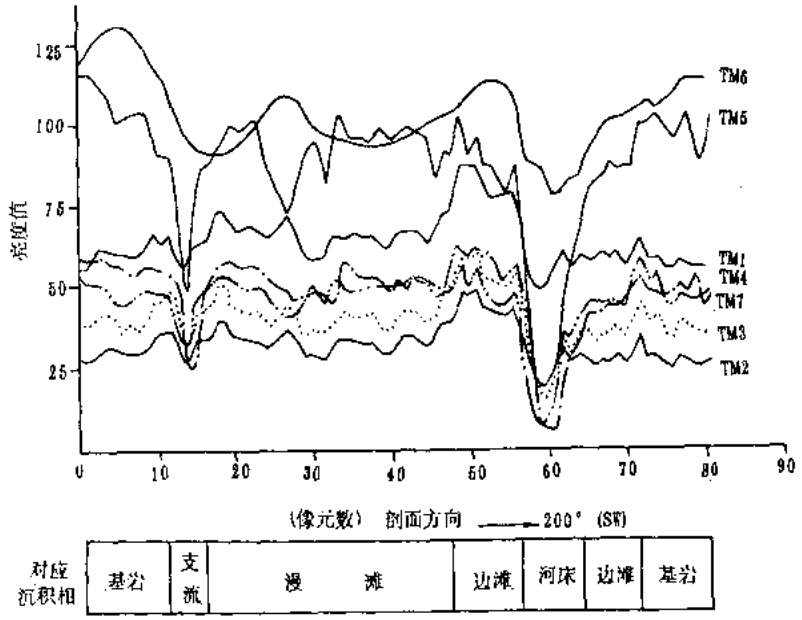


图 15-3 LB4 七波段亮度剖面图

基岩的波形为：各波段亮度幅值依次为 TM2，TM3，TM4，TM7，TM1，TM6，以各波段亮度幅值普遍较高，TM6 为高峰为标志特征;河漫滩相中，TM6 峰值较低，TM5 幅值相对较低，TM1 与 TM7 相互平行，有时波形起伏较大，可能为河漫滩砾石堆积；砾石边滩与基岩的波形特征类似但其亮度幅值普遍较高；支流波形呈漏斗状，TM5 亮度值为 50，TM2、TM3、TM7 幅值为 24±这反映水流较浅；主河道河床波形为深漏斗状，TM5 亮度值为 4，几乎为最低值，反映水流较深；断层带波形一般为"V"形，"V"形两侧对称或轻微不对称，不对称时南侧斜率较高，TM5 波段对断层的反映最为敏感，主要原因是断层带通常破碎含水，因而在 TM5 曲线上呈现一个明显的波峰，断层通常出现在"V"形谷底或靠近谷底的斜坡部位。TM6 相对应于最低值或斜坡的鞍部，TM4 和 TM7 波段对应断层部位一般也都有较高的斜率。以上的断层波形特征表明断层活动产生破碎带，造成较宽的地貌凹地，因而具有较高的含水量。

表 15-4 为炉霍至恰叫段水域宽度及亮度统计,综合分析结合具体资料有如下的新认识：LB1 剖面为构造斜坡部位，LB2 剖面和 LB6 剖面部位表明河流向北侵蚀，LC2 剖面表明河流向南侵蚀（受恰叫隆起的影响），而 LB5 剖面位置处于盆地的沉降中心（图 15-4）。

表 15-4　炉霍-恰叫段水域宽度及亮度统计

剖面	LB1	LB2	LB3	LB5	LB6	LB7	LC2
亮度	16	7	7	10	10	15	5
宽度	4	7	5	10	9	3+3	7
描述	狭窄较浅	北深南浅发育心滩	水深狭窄	水浅心滩发育	北深南浅	河流分叉发育心滩	南深北浅

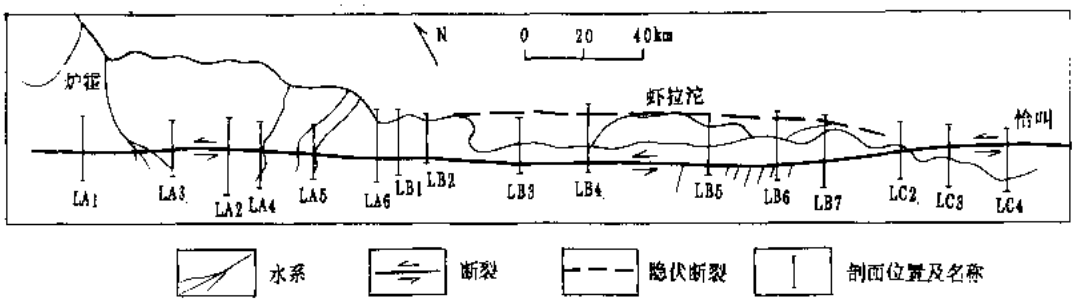


图 15-4　炉霍-恰叫段亮度剖面位置及断裂、水系解析图

第四节　鲜水河活动断裂带的遥感综合解释

一、鲜水河活动断裂带的几何结构分析

通过以上专题信息图像的综合解译，获得了能够反映鲜水河活动断裂带概貌的鲜水河活动断裂带的遥感综合解译图（图 15-5）。

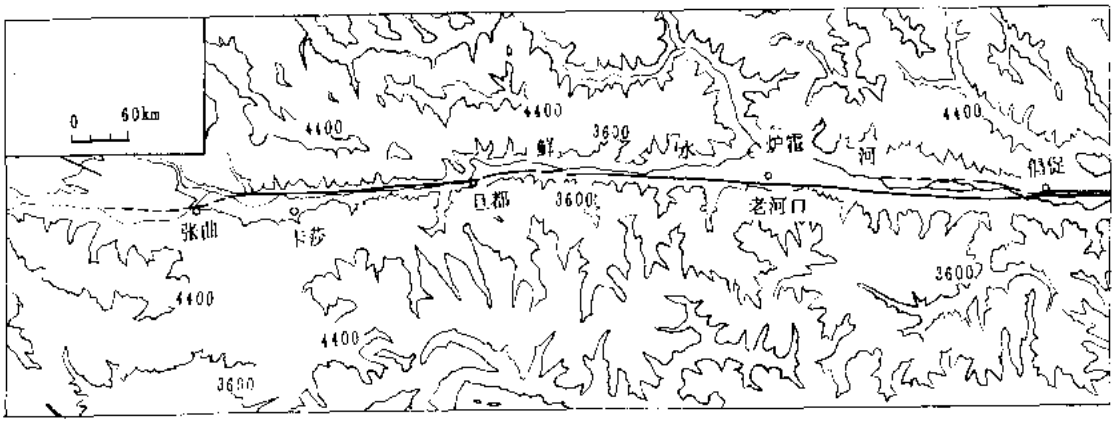


图 15-5　鲜水河活动断裂带炉霍段遥感综合解释图

综合解译以 TM 图像分析为主，炉霍旦都以西还利用了航片和 MSS 图像资料，下面以炉霍断裂为例说明遥感资料的综合解译及地震地质分析效果。

炉霍断裂为鲜水河断裂带主带的北西段，北西起自甘孜以北的张曲地区，经侏倭、炉霍、虾拉沱至恰叫一带，全长 100km。主体沿鲜水河展布，约呈北 30°西走向。

在 TM、MSS 和航片遥感图上，断裂线性影像呈北西向沿鲜水河延伸，且都以西断裂发育在河床北侧，影像十分突出，沿线发育有一系列呈北西向整齐排列的断层三角面，在侏倭等处能见到十分清晰的断层错动和断层槽谷。且都附近断裂发育在河谷的南侧，继续向东南延伸，断裂在地面上的表现主要为发育较宽、较陡的线性沟槽，冲沟也常发生左旋转折，但这种转折较为特别，首先是转折幅度大，其次是在断层走向上还形成一段沟槽与冲沟相连接（三通状），这显示断裂强烈的走滑活动特征和断层活动的长期性。大比例尺航片显示，断层常呈雁行状排列，分析位错与断裂小段长度及破裂宽度的关系，通常位错较大，破裂较宽，而长度较短，这似乎不成比例，可能表明断裂活动的多次原地重复。

从地形地貌分析看，旦都处发育一分支活动断裂，可能是旦都隆起产生的剪切破裂，其与主干断层的锐角交线方向指向对盘的运动方向。

炉霍段的水系扭曲是最为明显的一段，错动水系的条数多，水系错动的幅度也较大。在水系位错解释图上（图 15-6）可见有几条冲沟均作左旋同步转折，这些冲沟通过直线

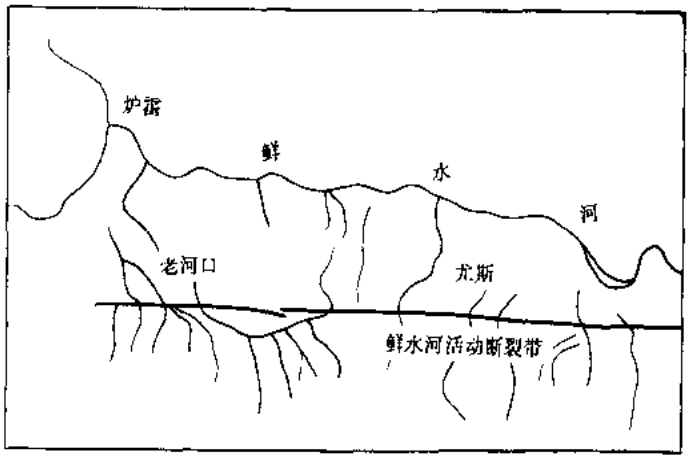


图 15-6　炉霍段水系位错解释图

状沟槽后多在断裂的北东侧偏向西北，形成“S”状，在断层沟槽中有时冲沟扭曲呈向西北向对称凸出的 U 字形状。通常单侧“S”状的扭曲断距大，冲沟的规模大，冲沟发育时间长，而对称凸出 U 字形冲沟规模小，断距小，表明发育时间短，冲沟的断距有时呈倍数的关系。这些现象表明，在炉霍段，断层结构不是一种简单的结构，运动方式也不是单纯的左旋扭动，除走滑运动之外，还有一定的垂直运动，断层也不是一条，在 TM 遥感图像上有两条近于平行的色线，间隔 300m，这两条色线分别代表两条断层，两条断层所夹持的中间断条与两侧运动速度有差异，即中间断条相对向北西运动，从而造成经过其间的冲沟发生向北西对称凸出的现象。不同时期运动的方式不一样，如在断裂活动的早期，只存在一条断层，或者存在两条断层面，一条断层较为活动，因此形成冲沟的单侧“S”形的扭曲，从单侧“S”形的扭曲的断距来看，以一条断层较活跃这种方式延续的时间较长。分

析水系断距，发现断距之间呈一定的倍数变化，这说明断错的产生为断层的多次活动累加所致。

虾拉沱至仁达段，纹理图像上可清楚地看出鲜水河主干断裂带沿鲜水河南岸通过，形成山地与宽谷盆地的截然分界；并于仁达附近穿入河床，跨至河谷北岸的将军梁子一带，沿虾拉沱宽谷的北岸，有另一北西向线性影像，大致与主干活动断层呈10°的夹角，交汇于将军梁子，其于仁达一带较清楚，向北西渐渐消失，判断是鲜水河断裂带的一个分支，其基本上控制了虾拉沱宽谷盆地的北东边缘。

二、鲜水河活动断裂带的运动学解释

鲜水河活动断裂带是一条走滑活动断裂带。在走滑断裂带上，其走向变化部位以及各个分支断裂之间的交接部位往往形成局部引张区，这些引张区通常是含水性较大的区域。因此通过分析断裂带的含水性我们可以获得断裂带不同地段的运动学方面的认识。

含水性分析只限于炉霍-石棉段。炉霍以东，含水区域通常在河流两侧很狭窄的区域内，即至虾拉沱，含水面积增大，形成一长带状、向东渐收缩的含水区域。其可能代表了虾拉沱盆地的实际范围。此区域南侧界线平整，界线两侧色调截然不同，呈两弯曲弧线；而北侧界限不规则，似呈一自由线段，北侧东段含水界线呈锯齿状，显示了侵蚀山地的性质。含水色调在东侧较西侧的色调为深，显示含水盆地的沉陷中心在东侧。综合分析说明虾拉沱盆地沉陷中心向东南迁移，并有扩张的趋势。

在四十八道班附近，虾拉沱盆地的延长方向上，发育一纺锤状的含水区域，此区域色调很淡，显示含水性小，其边界清晰，在其延长方向上，可见冲沟错断现象，故推测其为断层槽谷。

以此区往东，含水区域渐扩大，含水色调也渐深，但至恰叫以东含水区严格限制在一长条带内，在这一长条带内含水不均一，但边界含水性连续，表明两条断层所限长条带断片的结构不连续性。

往东至四十七道班，含水区显示了均一的色调，除局部孤立高地外，这种色调一直呈带状延续，北侧色调要较南侧色调为深，且连续性比南侧好，说明道孚盆地为不对称的盆地，北侧为沉陷区；将军桥、道孚以东，这种含水色调区向北加宽，形成一喇叭口形，北侧的含水界线与地貌界线并不一致，可能反映此段为埋藏型古盆地，至觉洛寺，道孚含水区突然中断，可能显示了东端的张性断层的控制作用。

惠远寺盆地含水区为一钝角三角形，北侧斜边呈舒缓波状，西侧边界不太规则，有时为锯齿状，而东侧为一直线状，含水色调多呈团块状，显示盆地沉积物质的不均一性和由于河流侧向迁移作用所形成的微地貌的差异，综合分析含水性最大处（即沉陷中心）为靠近西边的区域，这也说明了惠远寺构造盆地发展已近中晚期。

磨西盆地也为一钝角三角形，与惠远寺盆地类似，也为一构造盆地，其北边（即斜边）呈锯齿状与山地接触，界线两侧色调截然不同，反映其为侵蚀性质，西边呈直线状，而东边呈不规则的棱角状，显示张性断层的性质，盆地内含水色调较为均一，说明此构造盆地为发育初期，正向北扩张发展。

磨西盆地西，河谷突然发生"之"字形转折，在转折处发育一色调较深的圆形含水区，分析其也是构造成因的小型拉分盆地，这说明在此段断层带有拉张性质。

参 考 文 献

[1] 日本遥感研究会编，刘勇卫等译，遥感精解，测绘出版社，1993.

[2] 郭得方，遥感图像的计算机处理和模式识别，电子工业出版社，1987.

[3] 孙星和，宇航遥感物理基础，地震出版社，1990.

[4] 刘燕君，遥感找矿的原理和方法，冶金工业出版社，1991.

[5] 陈述彭等，遥感地学分析，测绘出版社，1990.

[6] 朱亮璞等，遥感地质学，地质出版社，1994.

[7] 庄培仁等，遥感技术及地质应用研究，地质出版社，1984.

[8] 刘燕君等，遥感地质学基础文集，科学技术文献出版社，1990.

[9] 孙仲康等，数字图像处理及其应用，国防工业出版社，1985.

[10] 丰茂森，遥感图像数字处理，地质出版社，1992.

[11] 杨凯等，遥感图像处理原理和方法，测绘出版社，1988.

[12] 美国地质调查局、美国大气海洋局编，王新民等译，陆地卫星4/5数据用户手册，科学出版社，1984.

[13] F.萨宾著，杨延槐等译，遥感原理及解译，地质出版社，1981.

[14] 许殿元等，遥感图像信息处理，宇航出版社，1990.

[15] 宁书年，王四龙，许孝庭，煤矿区岩浆岩体磁法探测，中国矿业大学出版社，1994.

[16] 宁书年，王四龙等，航磁图像处理技术及在火成岩圈定中的应用，煤炭学报，1993，第1期.

[17] 李湘莲等，信息复合技术在东坡矿田成矿预测中的应用，遥感地质，1988，第1期.

[18] 王润生等，地质勘探图像分析与综合，地质出版社，1992.

[19] 吴虹，位场资料的数字图像处理及应用，桂林冶金地质学院学报，1986，第1期.

[20] 李恭等，多源地学信息的图像处理技术，地质与勘探，1987，第4期.

[21] 张玉君，用图像处理技术研究柴达木盆地油气田的航磁航放异常特征，航空物探技术，1990，第1期.

[22] 杨文久等，地质勘探中的数字图像处理技术，环境遥感，1992，第4期.

[23] 有本卓著，历森梁译，信号·图像数字处理，电子工业出版社，1987.

[24] 田村秀行等著，郝荣威等译，计算机图像处理技术，北京师范大学出版社，1986.

[25] 李德仁等，地理信息系统导论，测绘出版社，1993.

[26] 马建文等，地理信息系统及资源信息综合，地质出版社，1994.

[27] R.A.肖温格著，李得熊译，遥感中的图像处理和分类技术，科学出版社，1991.

[28] 李鸿吉等，电子计算机制图方法及应用，地质出版社，1981.

[29] R.C.冈萨雷斯等著，李叔梁等译，数字图像处理，科学出版社，1981.

[30] A.罗申菲尔特等著，余英林等著，数字图像处理，人民邮电出版社，1982.

[31] Kauth,R.J.and G.S. Thomas ,The Tasselled Cap-A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat,Proc. Symposium on Machine Processing of Remote Sensed Data, IEEE 76CH I103-IMPRSD, 1976,pp.41-51.

[32] E.P.Crist and R.C.Ciconc, A Physically-Based Transformation of the TM Data—The TM Tas-

selled Cap,IEEE GE-23,1984,pp.256-263.

[33] 王积分等，计算机图像识别，铁道出版社，1988。

[34] L.G.Roberts,Machine Perception of Three-Dimensional Solids(J.T. Tippett et al.eds.,Optical and Electrooptical Information Processing),pp.159-197,1965,MIT Press.

[35] R.O.Duda and P.E.Harrt,Pattern Classification and Scene Analysis,Weley,New York,1973.

[36] J.M.S.Prewitt,Object Enhancement and Extraction(B.S. Lipkin and A.Rosenfeld, eds.,Picture Processing and Psychopictorics),Academic Press, New York,1970.

[37] G.L.Raines,Digital Color Analysis of Color Ratio Composite Landsat Scenes. Proceedings of the Eleventh International Symposium on Remote Sensing of Enviroment, ERIM,Ann. Arbor.,1977,pp.1463-1472.

[38] 赵元洪等，彩色变换及其在浙江括苍山地区的应用研究，环境遥感，1990，第5卷，第1期。

[39] 陈述彭，遥感大字典，科学出版社，1990。

[40] Derek R.Peddle and Steven E.Franklin,Image Texture Processing and Data Intergration for Surface Pattern Discrimination,Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.57,No.4,1991,pp.413-420.

[41] C.C.Gotlieb and H.E.Kreyszig, Texture Descriptors Based on Co-occurrence Matrices,Computer Vision,Graphics,and Image Processing,Vol.51,1990,pp.70-86.

[42] R. M. Haralick, Textural Features for Image Classification, IEEE Trans., Vol. SMC-3, No.6, 1973, pp.610-621.

[43] 徐建华，图像处理与分析，科学出版社，1992。

[44] K.G.Al-hinal and M.A.Khan etal.,Enhancement of Sand Dune Texture from Landsat Imagery Using Difference of Gaussian Filter, Int.J.Remote Sensing,Vol.12,No.5,1991,pp.1063-1069.

[45] 孙星和等，遥感图像纹理分析方法，国土资源遥感，1992，第3期。

[46] 洪继光，灰度-梯度共生矩阵纹理分析方法，自动化学报，1984，第1期。

[47] 黄杏元等，地理信息系统概论，高等教育出版社，1989。

[48] 兰运超等，地理信息系统原理，广东省地图出版社，1991。

[49] 郭华东等，机载雷达遥感应用试验研究，中国科学技术出版社，1992。

[50] 李旭文，主成分变换和彩色变换在TM图像信息提取中的应用-以苏州市为例，环境遥感，1992，第4期。

[51] 张昭贵，彩色合成选择法及其在黄河入海口研究中的应用，环境遥感，1992，第4期。

[52] 郭华东，雷达图像分析及地质应用，科学出版社，1991。

[53] 童庆禧，中国典型地物波谱特征及其特征分析，科学出版社，1990。

[54] 陆灯盛，TM图像信息量分析及特征信息提取的研究，环境遥感，1991，第4期。

[55] 戴昌达，TM数据的信息特征，遥感信息，1987，第2期。

[56] 罗亨树，青海柴达木盆地地物波谱特征和遥感最佳波段选择，国土资源与遥感，1990，第1期。

[57] 杨槐，TM波段组合的选择，遥感信息，1992，第2期。

[58] 李德熊，TM合成图像波段组合的选择，遥感信息，1989，第4期。

[59] 梁顺林，波段组合的解析几何分析，环境遥感，1990，第2期。

[60] 陈光明译，波段比值法的应用，遥感信息，1989，第4期。
[61] 张友静，K-T变换的林学意义极其在森林蓄积量估算中的应用，环境遥感，1992，第3期。
[62] 楼性满等，遥感找矿预测方法，地质出版社，1994。
[63] 张樵英等，遥感图像目视地质解译方法，地质出版社，1986。
[64] 徐冠华等，再生资源遥感研究，科学出版社，1988。
[65] 边肇棋等，模式识别，清华大学出版社，1987。