普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感地质学实习指导书

刘允良　邢立新　杨德明　编

-45

地质出版社

075273

普通高等教育地质矿产类规划教材

P10/07

遥感地质学实习指导书

刘允良　邢立新　杨德明　　编

0062 5067

库本

石油大学图书馆（北京）藏书

200406391

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 简 介

本书是作者在多年教学与科研工作基础上，参阅国内外有关最新资料，按照教学大纲要求编写的一本遥感地质学实习用书。全书分12个实习，内容包括：基础实验训练，即基本理论实验、遥感图像的特征识别及立体量测；遥感图像地质解译技能训练，即地质解译与地质分析、岩类及构造解译、遥感图件的编制；遥感地质应用，即实例分析、数字图像处理手工法和线性构造统计分析及其应用。

※ ※ ※

本书由承继成、郭华东主审，经地质矿产部遥感地质学、地貌及第四纪地质学课程教学指导委员会推荐，同意作为普通高等教育地质矿产类规划教材出版。



普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感地质学实习指导书

地质矿产部教材编辑室编辑

刘允良 邢立新 杨德明 编

责任编辑：刘亚军

地质出版社出版

（北京和平里）

北京地质印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092 1/16 印张：4.625 图版：2页 字数：109000

1994年3月北京第一版·1994年3月北京第一次印刷

印数：1—2000册 定价：2.35元

ISBN 7-116-01512-4/P·1230

前　言

本书是在长春地质学院几期遥感地质实习讲义基础上，查阅了中国地质大学(武汉)、成都理工学院、河北地质学院、北京大学和中山大学等有关院校的讲义(1975—1991年)，并参照美国加利福尼亚大学教授F.F.萨宾编写的《遥感原理和解译》的实践部分等资料编写而成的。编写中遥感图像资料以铁道部“H”号航片为主，卫星图像以地球资源卫星像片图集为主，其目的是便于各有关院校共同使用。各院校可根据各自专业课程的要求和条件，酌情调整和补充，充实内容。全书共十二个实习。按其内容可分为三大部分：第一部分是基本原理的实验训练；第二部分是遥感地质解译训练；第三部分是遥感地质的应用、计算机图像处理手工方法和统计分析应用简介。

本书是新版《遥感地质学》（朱亮璞教授主编）的配套教材。它是有关专业的高年级本科生和短期训练生的一本全面、系统的实习教材。本书着重于加强基本技能的训练和实用性，通过一系列典型图像的解译练习和实例的解剖，提高解译者的判别、分析和解决问题的能力。根据遥感技术的发展和深化，编者增添了彩色合成原理实验和数字图像处理手工方法等新内容，其目的是增强技术方法的训练，以加深遥感图像地质解译的理论和方法的理解，进一步提高解译的水平。

本书由刘允良主编。实习一、二、三和十二之（二）由邢立新编写；实习四、七、九、十一之（二）—（四）和十二之（一）由刘允良编写；实习五、六、八、十和十一之（一）由杨德明编写，全书最后由刘允良修改定稿。王希庆同志提供了一些科研资料，并提出了有益的意见，朱焕士同志作了翻拍图版工作，孟伟、陈圣波同志协助做了一些工作。

1991年11月地矿部遥感地质学、地貌及第四纪地质学课程教学指导委员会审查了本书的编写提纲，提出一些建设性意见。本书承蒙北京大学承继成教授和中国科学院遥感应用研究所郭华东教授，对全书进行了详细认真审阅，并提出许多宝贵的修改意见。责任编辑刘亚军同志做了大量细致工作。另外，还受到朱亮璞教授、徐成彦教授、张荣昌副编审、长春地质学院教务处、教材科、地质系等领导热情帮助和支持，长春地质学院绘图室人员编制了图件。在此，编者对他（她）们诚致谢意。

应该指出，由于遥感技术发展较快，图像类型较多，因条件的限制，有些资料未能收入。限于编者的水平，对书中错误和不妥之处，敬请读者批评、指正。

编　者

1993年10月

目　录

实习一　遥感图像的地质解译方法及基本理论实验 …… 1
一、遥感图像的地质解译方法概述 …… 1
（一）目视地质解译的一般方法 …… 1
（二）目视地质解译原则 …… 2
二、典型地物波谱曲线特征分析 …… 2
（一）灰标和色标在波谱曲线上的差别 …… 2
（二）典型地物波谱曲线特征分析 …… 2
（三）影响地物波谱的因素 …… 4
三、彩色合成基本原理和实验 …… 5
四、练习 …… 6
实习二　遥感图像的注记特征识别和地理要素解译 …… 7
一、名词解释 …… 7
二、航空像片的注记特征识别 …… 7
三、陆地卫星MSS图像的注记特征识别 …… 7
四、陆地卫星 TM 图像的注记特征识别 …… 9
五、航空像片的地理要素解译及练习 …… 9
实习三　遥感图像立体观察和基本量测原理 …… 10
一、立体观察原理 …… 10
（一）眼睛的构造和特征 …… 10
（二）生理视差 …… 10
（三）人工立体成像 …… 11
二、航空像片的立体观察 …… 11
三、立体量测的具体方法步骤 …… 11
（一）像点横视差 …… 11
（二）视差较 …… 12
（三）高差公式 …… 12
（四）视差杆的应用 …… 13
四、练习 …… 13
实习四　遥感图像地貌解译与地质分析 …… 15
一、水系分析 …… 15
二、遥感图像地貌分析 …… 16
三、地貌形态的构造分析 …… 19
四、练习 …… 20
实习五　沉积岩图像解译及地层分析 …… 21
一、沉积岩图像的主要解译标志 …… 21

二、沉积岩图像特征分析 ……21
三、遥感图像岩性地层分析 ……22
四、练习 ……23
实习六　岩浆岩图像解译 ……25
一、岩浆岩图像的主要解译标志 ……25
二、岩浆岩图像特征分析 ……25
三、练习 ……28
实习七　变质岩类图像解译 ……30
一、变质岩类图像的主要解译标志 ……30
二、变质岩类图像特征分析 ……30
三、练习 ……31
实习八　褶皱构造图像解译 ……32
一、褶皱构造的解译标志 ……32
二、褶皱构造图像特征分析 ……33
三、练习 ……36
实习九　断裂构造图像解译 ……38
一、断裂构造的解译标志 ……38
二、断裂构造图像特征分析 ……39
三、练习 ……42
实习十　遥感图像图件的编制简介 ……43
一、遥感图像镶嵌略图的编制 ……43
（一）准备工具和材料 ……43
（二）编制镶嵌图的方法 ……43
二、水系图的编制 ……44
（一）水系图的编制 ……44
（二）水系汇水盆地分布图的编制 ……44
（三）水系密度等值线图的编制 ……44
三、遥感图像目估转绘方法简介 ……45
实习十一　遥感图像地质解译实例分析和应用 ……46
一、遥感技术在区域地质调查中的应用 ……46
（一）胶南地区沉积岩地质填图实例 ……46
（二）胶东地区岩浆岩地质填图实例 ……47
（三）辽北地区变质岩地质填图实例 ……47
二、遥感技术在矿产普查中的应用 ……48
（一）利用航空遥感图像研究北京北部石窑地区地质构造特征及成矿预测 ……49
（二）遥感增强图像在变质岩地区构造特征研究和找铁矿中的应用 ……50
三、遥感技术在水文地质调查中的应用 ……53
（一）与地表塌陷有关的地质信息提取 ……53
（二）隐伏岩溶发育区分析及预测 ……55
（三）地表塌陷危险区的预测 ……55

四、雷达图像在遥感地质中的应用 ……56
（一）研究区概况 ……56
（二）数据获取及图像处理 ……56
（三）构造分析 ……57
（四）雷达图像对区域板块构造运动认识的意义 ……58
五、定量分析方法在遥感地质中的应用 ……58
（一）面积估算法 ……58
（二）遥感动态监测的定量分析 ……59
实习十二　数字图像处理和线性构造统计分析及其应用简介 ……60
一、数字图像处理应用简介 ……60
（一）修正随机噪声的滤波方法 ……60
（二）锐化处理 ……60
二、遥感图像线性构造统计分析及其应用简介 ……63
（一）几类统计方法简介 ……63
（二）应用实例 ……65
主要参考文献 ……67
图版说明及图版 ……68

实习一　遥感图像的地质解译方法及基本理论实验

各种地质体和地质现象是在特定的地质作用、地质环境下形成的，各种地质体和地质现象之间的组合关系及其各自的物质成分、结构构造、物化性质及与人类活动关系等是有差异的。遥感图像正是记录了这些差异的电磁辐射特征，即不同物体在同一电磁波范围内有不同的影像标志特征，而相同物体在不同电磁波范围内也有不同的影像标志，这是遥感图像的解译依据。因此，在进行地质解译时，解译标志的建立是非常重要的。

对任何一幅图像，最醒目的图像特征是色调（或色彩）的变化、地形地貌组合成的纹理特征，线、环影纹等。将这些影纹标志与地质理论联系起来，经过全面对比分析和综合研究后，使得一般标志转化为地质构造、岩性和地层及找矿标志。

一、遥感图像的地质解译方法概述

遥感地质解译，亦即是分析和研究遥感图像的各种影像特征，建立、掌握和运用各种地质解译标志来识别和圈定地质体和地质现象的界限，综合分析其地质构造特征、空间分布规律和成因联系，以及成矿有利地段，再经野外验证、修改并编绘有关解译图件等。因此如何利用适当的解译方法来提高解译效果的准确性是重要的环节。这里仅介绍最基本的目视解译方法。

（一）目视地质解译的一般方法

目视地质解译就是直接利用遥感图像上的各种影像标志用肉眼（包括借助放大镜、立体镜）来研究和分析各种地质体和地质现象的特性及其分布规律等。

在解译过程中，选用何种解译方法主要由工作任务的要求、图像资料的特点、地质构造复杂程度（包括解译人员水平、解译技术手段以及对工作区前人资料和地质情况的熟悉程度）等多种因素所决定的。通常有以下几种方法。

1．直译法

这种方法通常适用于遥感图像影像清晰且多为典型特征的地质体或地质现象。即反映地质体属性的影像标志明显，可用来直接识别、分析、圈定其界线。如侵入体的色调、形态等特征标志，岩溶地貌景观、变质岩的断续线纹特征、某些褶皱、断层等都可直接解译。

2．对比法

这是地质解译中常用的方法之一。因为多数地质体和地质现象不能以直接解译的方法解译，这时可利用已知地质体的影像标志与未知区及其相邻区来对比解译，从而达到识别未知地质体的目的。需要注意的是：①总结好已知地质体影像标志的可靠性和代表性；②注意标志的局限性。

3．相关分析法（逻辑推理法）

对某些地质构造现象不能直观识别，但是通过与其有内在联系的明显标志来间接解译即能获得较好的效果。这种重要的解译方法需要在地学领域中各学科的理论指导下，掌握已知的各地质构造发生演化的规律，通过逻辑推理和综合分析来确定或推断其地质现象的存在。通常利用内、外动力地质作用产物之间的关系、地质体的分布与地质构造的关系、地质构造特征与隐伏构造的关系以及地质体和地质构造与人文、生态活动等的关系。例如，中新生代的断裂构造控制了现代河流，因此通过河流的发育、分布规律来推断断裂构造的存在；泉水溢出点、湖泊、落水洞等呈直线状分布或串珠状排列可能与断层有关等，由此去推断断裂的存在、确切位置和展布方向。

实际解译过程中多是上述方法综合使用。除此之外，解译效果的好坏还取决于解译人员的经验、理论知识（包括地质和遥感）的掌握程度等，只有通过实践才能提高自己的解译水平和能力。

（二）目视地质解译原则

遥感图像目视地质解译方法和步骤并不是不变的，可以根据工作任务的目的、资料收集情况而定。解译时可参考以下步骤：

1．先了解自然地理，后解译地质

首先概略了解工作区的地形、河流、交通及居民点等自然地理情况，有利于和前人资料对比分析与其相关的各种影像特征。然后才对地质内容详细解译。此外，解译时先熟悉图像的各种注记、符号等是非常必要的，如成像时间、季节、成像仪器、波段范围、太阳高度角和经纬度等。这些均是解译中的向导。

2．先整体，后局部；先已知，后未知

先建立区域宏观影像特征规律，划分出大致的影像区和构造线的展布方向。有了总体概念后再从已知区（即掌握资料多或熟悉地质情况）着手，总结各要素之间的关系，掌握解译标志、以此推广到邻近的未知区，从而分析研究整个工作区域的各地质体和地质现象之间的分布规律。

3．先岩性地层、构造解译，后对成矿条件进行分析

为提高解译效果，解译前需要熟悉该区出露的岩性、地层分布的特征及各种构造形迹和构造分布规律，然后根据相关的标志、分析研究有利成矿的岩性、构造背景。

4．图像解译与其它学科有关资料相结合和地面调查相结合是必不可少的

这里必须指出的是，强调多种解译方法的综合应用，不仅仅要多种遥感图像的选用，而且必须尽可能与其它资料（如区域调查、地球物理、地球化学、地震等资料）综合使用。实践证明，这种做法已被人们广泛采用，并收到较好的效果。

二、典型地物波谱曲线特征分析

（一）灰标和色标在波谱曲线上的差别

灰标和色标试验一般都是由一定面积不同程度的白、灰、黑和各种颜色的布标置于地面或空中测试，或用传感器记录、成像，并将其数据与图像对比研究。根据1979年长春遥感试验结果（图1-1，1-2）可以说明，不同灰度和不同颜色的物体的反射率是不同的，它们的影像色调（或色彩）也是不同的。

（二）典型地物波谱曲线特征分析

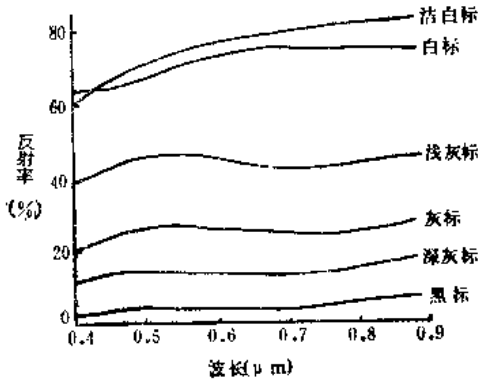


图 1-1 灰标

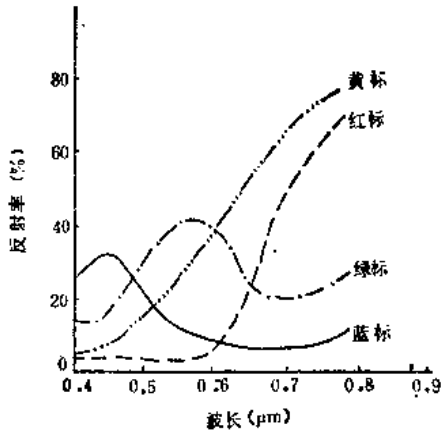


图 1-2 色标

任何一种物体，由于它的物质组成与结构差异而具有自己特有的电磁辐射特征。无论是在应用上还是理论研究中，同一物体在不同波长的波谱范围内具有不同的反射特性；不同的地物在同一波长的波谱范围内具有不同的反射特性。由此可知，地物反射电磁波的能力与波长有关，即物体对电磁波的反射率（$\rho\lambda$）是电磁波波长的函数，反射率随电磁波的变化而变化。

通常以横坐标代表波长（λ），纵坐标表示物体的反射率（$\rho\lambda$），这样做出来的曲线叫做地物波谱特征曲线（图1-3）。由波谱曲线形态可以直观的反映出地物的反射率与电磁波波长之间的变化特点和规律。

由图1-3所示的曲线可知，水体的反射率最低，在近红外波段趋于零。而植被在0.5—0.56μm范围内有一小的反射峰，反射率较低，大约在25%左右，在0.76μm以后反射率突然增大，高达60%左右。但是对于地质体来说，其反射率的大小是取决于它们的物质组成和表面风化状况的差异。岩石是由矿物组成的，矿物的反射光谱特征是由矿物结晶体中的电子跃迁和分子振动而产生的。此外，取决于化学成分和颜色以及粒度的大小等，即是不同的物体都有不同的波谱曲线形态。反之，不同的波谱曲线特征反映了物质的不同性质。所以，我们可以根据物体的波谱曲线来识别某些物体的性质，这也是遥感技术应用的理论依据。

根据图1-3中的曲线特征，结合观察博斯腾湖卫星图像（地球资源卫星像片图集142，库尔勒）分析地物反射率和影像特征。

如图 1-4 所示，说明沉积岩和火山岩的反射光谱曲线特征。岩石的反射率在 0.5—0.65μm范围内岩石反射率相差较小，在图像上不易判别；在 0.65—1.1 μm 范围内，不同岩石的光谱反射率差值大，适宜于区别不同岩石。因此遥感解译中常用MSS 5，7 波段解译岩石和地质构造。

地物除有反射特性外，地物的发射光谱特征也是十分重要的。地物除自身有一定温度外，还有因吸收太阳光等外来能量增加的热能。任何物体只要温度高于绝对零度，都能发射电磁波。不同物体的温度是不同的，它的发射率也是不同的，它们的波谱曲线的波谷形态有很大的差异性如图 1-5。基性岩波谷随着基性程度的升高，波谷形态变窄、变陡，变化范围在9—11.5μm范围内；中性岩岩石波谷形态变化较大，有窄的，有宽缓的，它们的

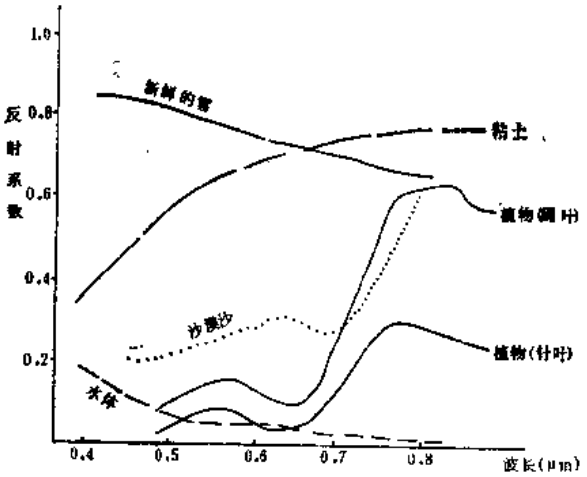


图 1-3 某些地物的反射系数
（太阳高度角为60°）

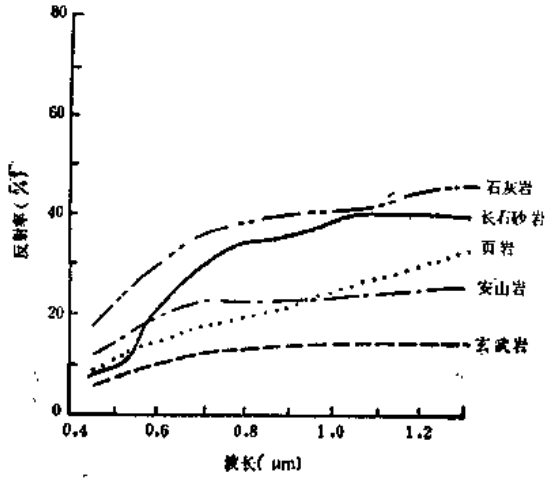


图 1-4 几种典型沉积岩和火成岩的反射光谱特征曲线
（据 Goetz, 1976）

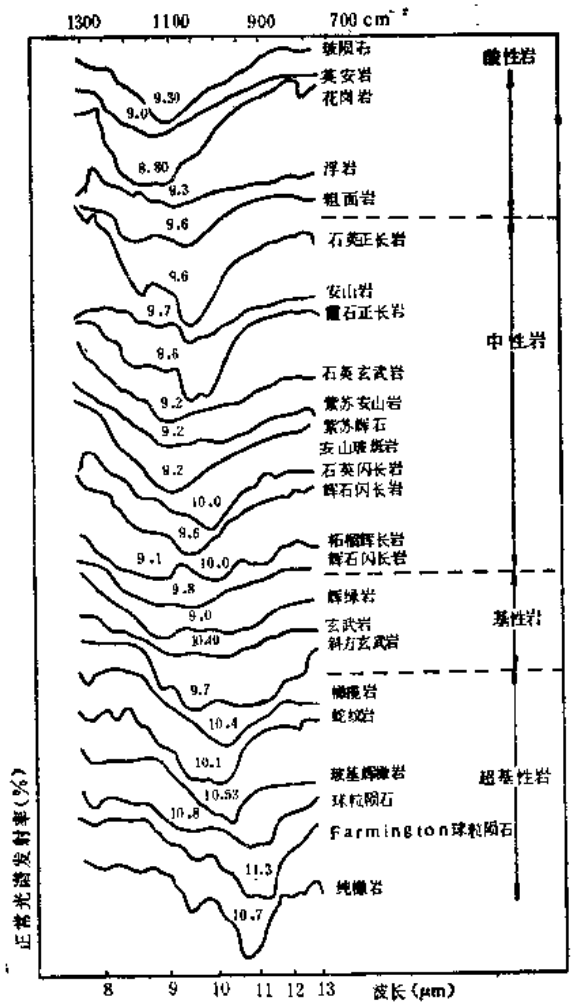


图 1-5 某些岩浆岩的发射波谱曲线
（引自《遥感图像地质解译教程》，1981）

变化范围在9—10μm范围内；酸性岩石波谷宽度为中等变化，变化范围在 8.5—9.5 μm 之间。说明不同岩石可用发射率的波谷范围进行区分。

通过国内外的大量实验证明：在可见光范围岩石的反射率差别是很小的；在短波红外波段1.55—2.35μm、2.08—2.35μm之间不同类岩石反射率差值（$\Delta\rho$）较大，有利于不同岩石类型的识别。因此1982年发射陆地卫星MSS 4 携带的传感器选用了这两个波段，所获得的图像应用于地质解译上有较好的效果。

（三）影响地物波谱的因素

自然界中影响地物波谱的因素很多，主要有：

① 物体的物理特性（物质成分，结构，物体的导电性，磁性等）差异。

② 测试光谱时的光照条件（入射波长与入射角）。

③ 环境影响

a．温度、湿度、季节、时间变化。

b．地形的风化程度，岩石的含水量，植被的发育程度等。

由上可知，地物波谱的影响因素是复杂的，它直接影响地物波谱曲线特征和应用。所以，将遥感图像解译与地物波谱特征曲线结合时要谨慎，全面考虑。

三、彩色合成基本原理和实验

通过实验，掌握和理解色光、物体颜色、色彩三要素，三原色光等基本概念。掌握加色法、减色法进行彩色合成的原理和方法。

1．用简易彩色合成仪或投影仪观察不同单色光。观察不同颜色的物体在白光及不同色光下的颜色变化。掌握色光、色别、物体颜色等基本概念。

2．用简易彩色合成仪，使白光通过各种滤光片，了解滤光片及其使用特点。

3．用简易彩色合成仪，使一束白光混入一种色光（红、绿、蓝中任一种），观察色光的变化。再进而改变白光光强（加大或缩小光圈），观察色光的变化，以理解饱和度的含义。

4．用彩色合成仪，先分别观察红，绿，蓝三种原色光，然后分别两两相混，得到三间色光，即：

红光＋绿光＝黄光

红光＋蓝光＝品红光

绿光＋蓝光＝青色光

之后将红，绿，蓝三色光束同时投向屏幕，三束光相叠加为白色光。即：

红光＋绿光＋蓝光＝白光

观察补色光，红光与青光，绿光与品红光，蓝光与黄光的关系，同一景物彩色正负片的颜色即为互补色光。

5．结合示教板进一步掌握加色法彩色合成（见图 1-6，1-7）。并用合成仪演示 MSS 4，5，7 三个波段图像的假彩色合成效果。改变滤光片的组合得到不同的假彩色图像；若改变各光束的明度，效果也不同。

6．利用投影仪，使透明彩色片（黄，品红，青）叠加，得到各种颜色——减色法（图 1-8）。可以以普通彩色摄影为例。

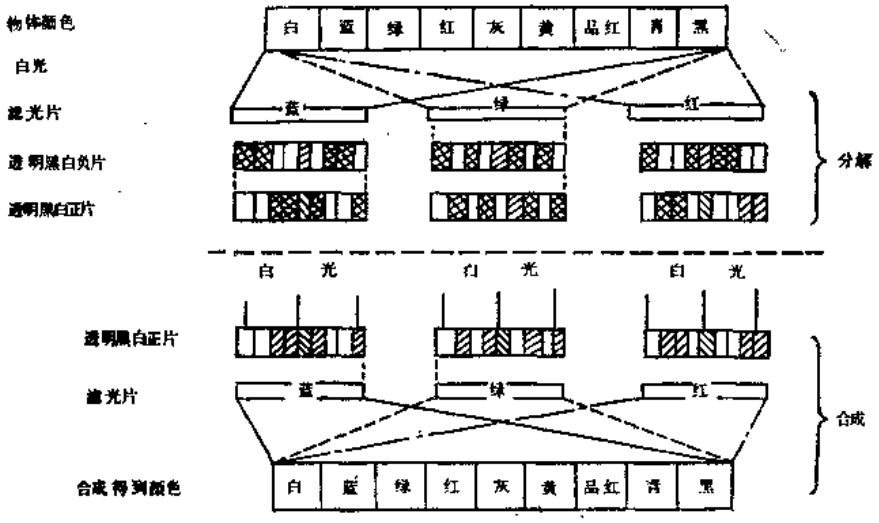


图 1-6　加色法与加色法彩色合成原理示意图

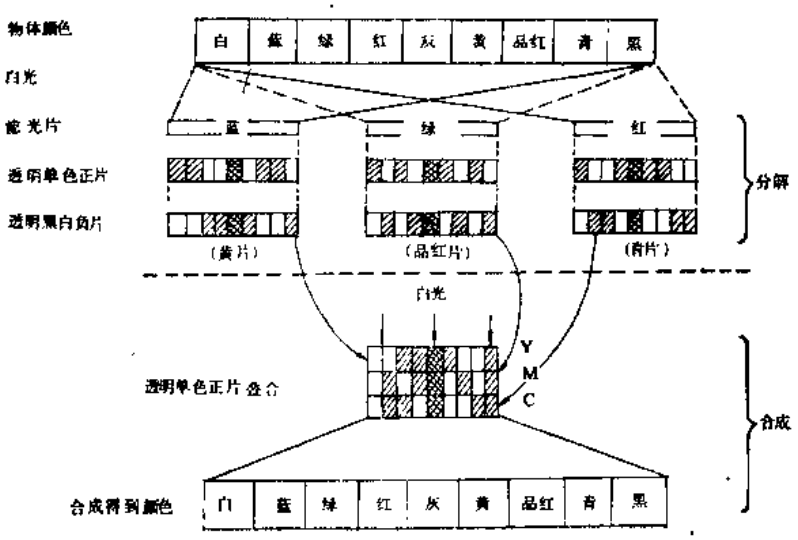


图 1-7　减色法与减色法合成原理示意图

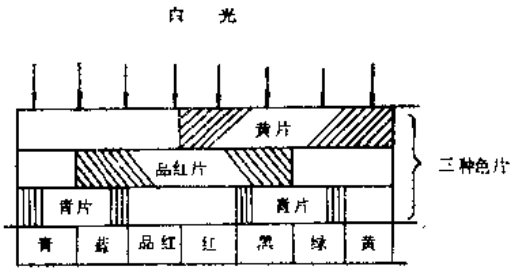


图 1-8　减色法合成示意图

7．结合示教板进一步理解减色法彩色合成及减色法彩色合成上的应用。

8．观察假彩色密度分割处理结果。对天池幅 MSS 卫星图像天池附近密度分割处理的识别植被的垂直分带。

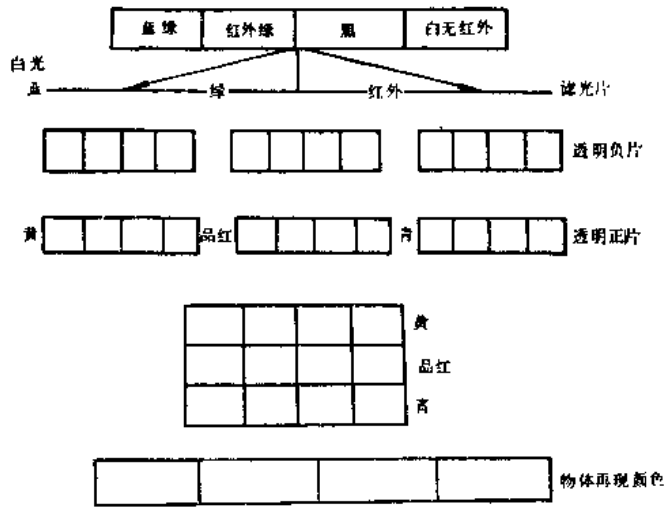


图 1-9　作业图

四、练习

1．在暗室的绿色光源条件下，太阳光条件下的红，黄，绿，蓝等颜色的物体分别再呈现何种颜色？

2．试用地物与电磁波相互作用原理，说明典型自然景观（植被，水体，雪）在MSS 4，5，7 波段黑白胶片上进行标准假彩色合成的图像上各呈什么颜色？为什么？

3．假彩色合成物体颜色再现过程练习，图1-9。

4．用地物与电磁波相互作用原理，试述遥感可见光图像，热红外图像和微波雷达图像的各自特点。

实习二　遥感图像的注记特征识别和地理要素解译

一、名词解释

1．遥感信息

利用安装在遥感平台上的各种电子和光学遥感器，在高空或远距离处，接收到来自地面或地面以下一定深度的地物辐射或反射的电磁波信息。这些反映地物性质、数量和动态特征的电磁波信息，经过各种信息处理技术，可以加工处理或能判读的遥感图像或电子计算机用的记录磁带。遥感图像和磁带都是遥感信息的载体。

2．遥感影像

指通过安装在遥感平台上的遥感器对地球表面摄影或扫描获得的影像。遥感影像有黑白和彩色的两种，可以处理成像片或透明软片。

3．遥感图像

遥感影像经过处理或再编码后就产生遥感图像。通过其影像特征综合反映地理环境某一部分或某些地物的质、量和动态信息；甚至还能反映一些从地下或水下一定深度地物传递到地表的隐伏信息，遥感图像所反映的各种信息是遥感图像判读的基础。

二、航空像片的注记特征识别

1．框标

在图像四边框中心部位的齿状或尖角状标记，还有的在四个角上以“X”表示，凡相对应的边框中心点或对角“X”的连线即为该片的像主点（像幅中心点）。

2．时钟

记录成像的准确时间，以此了解太阳高度角、方位角，以助判断地理方位。推断出波谱辐射特征及组成。

3．水准泡

为航摄仪附带的水准器的影像。可根据水准器上的同心环判断航摄仪主光轴是否铅直，铅直状态水准泡在中心部位。

4．压平线

图像四边相互垂直的四条细线，是暗盒中为压平胶片的金属线留下的影像，当压平线变形或变向，说明胶片不平整。现在的航摄仪多采用真空负压使胶片平整，故没有压平线。

三、陆地卫星 MSS 图像的注记特征识别

1．重叠符号

图像四角上的“+”符号，是多波段图像彩色合成时各波段影像套准的标志。四个

“+”符号中心的对角连线的交点是图幅的像主点（即中心点）（C）。

2．经纬度注记

图像边框外的经纬度标记，是根据成像的精确时间、卫星的姿态数据、前进方向等因素，通过计算先求得每幅图像的像主点（C）的经纬度，再以此为基准扩展而得出。经纬网格在中纬度地区以半度为一注记，高纬度地区以一度为一注记。经纬度的精确位置以连接相同度数旁边的短线段的内端点为准（如图2-1）。北半球分别以字母N和E代表北纬和东经。注意中、高纬度区的纬线实际上应当是微微弯曲的弧线。

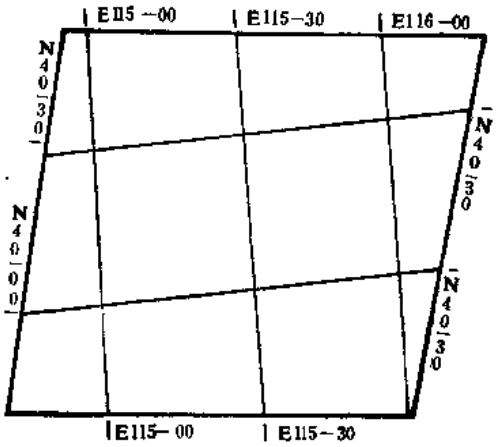


图 2-1 陆地卫星图像经纬度网格注记

3．纵向重叠号

图像边部有“⊤”或“—”符号，表示纵向重叠的位置。

4．灰阶（灰标）

在图像文字注记的下方，有一个十五级灰阶表，以表示图像中各级之间的差值。

5．文字注记

在每幅图像的下端，灰阶之上有一行文字注记，从左至右分别表示不同内容（以山东沂沭幅图像为例）：

14 May 78：为成像日期。即1978年5月14日。

C N35-54/E118-45：为图像像主点（C）的地理位置。即在北纬35°54′、东经118°45′。

D 130-035：表示该图像所在的卫星轨道编号和卷号。该图像的轨道号为130，卷号为035。

N N35-55/E118-43：为图像像底点（N）的地理坐标，即北纬35°55′，东经118°43′。

M 5：M表示该图像为多光谱扫描仪成像（MSS），5表示波段，即5波段图像。

R：表示“回放”，即图像数据先由卫星上宽频磁带机贮存，经地面站上空时再回放传输到地面。如为D则表示“实时”传输，即传感器取得的数据当即转发到地面。

SUNEL 58 A 115：分别表示成像时太阳高度角为58°，太阳方位角为115°（从正北顺时针方向计）。

SIS-P-N L 2：表示图像传输时的一些参数。S，说明图像经系统几何校正；I，表示满幅尺寸，即每幅图像为地面面积185 km×185 km；S，图像为空间斜麦卡脱投影；P，表示图像中心点坐标是按轨道星历表计算的（如为D，则按天体历表计算，它比轨道星历表精确）；N，为正常处理程序（若为A，示非正常处理）；L，示低增益（如为*H*则为高增益）；2，表示卫星资料数据用压缩方式发回（如是1，表示按线性方式）。

NASA：美国国家航空与宇宙航行局发射。

LANDSAT：即陆地卫星。

E-30070-02022-5：为卫星编号和成像时间。E-3：表示为Landsat-3的图像。0070，是从卫星发射日起算的天数。02022：表示成像时间是格林威治时间2点2分20秒（秒数

用十位数制，1即10秒，5即50秒)。5：表示为5秒段。

图像中的符号、注记与遥感图像地质解译有些是密切相关的，如成像日期或时间，可反映气候和光照条件，以利于图像之间对比；经纬度则指明地理位置；波段记号则反映物体的波谱特征等等。学习过程中不能忽视。

四、陆地卫星TM图像的注记特征识别

TM图幅的注记较复杂，它可分为三部分：

1.TM图幅左上方的注记

①TM，主题制图仪传感器；②14/SEP/84，接收本幅信息的年月日，即1984年9月14日；③D118-030，轨道号；④F，全景识别符号；⑤3，波段号；⑥BK，全景纠正，有的注UC代表未经纠正，注PC代表精密纠正。

2.TM图幅的下部，灰阶上方的注记

①14/SEP/84，接收本幅信息的年月日；②CN 43-12/E125-15，像主点，即图像中心坐标，北纬43°12′，东经125°15′；③D118-030，轨道号；④NN 43-11/E125-20，像底点即WRS中心坐标，北纬43°11′，东经125°20′，⑤T，主题制图仪传感器，即TM；⑥3，3波段；⑦SunEL 43A143，太阳高度角（EL）为43度，太阳方位角（A）143度；⑧BKU-CIN，图像处理规则，BK，表示几何纠正整幅纠正，注UC，表示未经纠正，注PC，表示精密纠正；U，表示横轴麦卡托投影（即UTM投影），有的注S，表示空间斜轴麦卡托投影（即SOM投影）；C，图像中心天文时历计算类型，C为立体取样或N表示邻点取样；I，图像中心的计算法，有的注P，表示预测轨道像主点，或注D，则表示确定轨道计算像主点，有的注GCP，表示按大地测量控制点计算；N表示正常处理，如注A，表示非正常处理；⑨NASDALANDSAT，国家宇宙事业开发团（日本）陆地卫星；⑩E50197-01515-3，E表示地球资源技术卫星，陆地卫星5号，从卫星发射后到接收本幅信息为止经过的日数为197天，格林威治时间1时51分50秒（秒为十位数制）波段号3。

3.TM图像的下部，灰阶右下方的注记

①14/MAY/85，本幅图像处理的年月日，即1985年5月14日处理；②S202，灰度纠正记录代号；③B，使用光谱色为蓝，有的注R或G则表示光谱色为红或绿。

TM图像的经纬度网格注记与MSS相似。灰阶由0—255级灰阶表组成，在图像的下方（图版Ⅰ-1）。

五、航空像片的地理要素解译及练习

1．正确使用立体镜，立体观察航空像片（如A-22-3-22446和22447），建立立体感。

2．立体观察某城市（如长春市）彩色或黑白航空像片。掌握人文现象的图像标志，勾绘出地理要素解译图。观察内容主要有道路、居名点、农田、工业区、商业区、文化区、树林、山地和平原等图像特征。

3．观看遥感技术和应用录像片。目的是增强对陆地卫星图像的产生过程与遥感技术应用方面的了解，提高对遥感技术的认识。

实习三　遥感图像立体观察和基本量测原理

通过实习掌握立体量测的基本原理、步骤方法和应用。

一、立体观察原理

（一）眼睛的构造和特征

人眼好象一只完善的、能自动调节的照相机。眼睛中水晶体的作用等于照相机的物镜。它能自动改善焦距，以获得清晰的影像。瞳孔似光圈、能自动调节光量；眼睛后壁的视网膜好象底片能够“感光”、承受各种投影。因此人眼观察物体也是中心投影的过程。

1．单眼观看物体

单眼观看物体时不能可靠地分辨出物体的形态和远近。如单眼观看物体A，视轴转向A，在视网膜上构成像点a。假如把物体A沿视轴方向向前或向后移动，则在视网膜上构像的像点位置不变化，即不感觉物体在移动（只能凭生活经验判断物体的远近和立体形态。因此实际生活中用一只眼睛观察总是感觉不舒服。必须用双眼同时观看才能准确判断。

2．双眼观察物体

双眼同时观看物体时，两眼视轴转向同一目标物，视轴相交于被观察物体之上。其交角称作交会角（视差角）γ。当两眼视轴交会的同时，眼睛的水晶体也自动调节焦距。而同样距离的物体具有等大的交会角，水晶体也具有相应的焦距。人两眼距离称为“眼基距”，每个人的眼基距是固定的，一般是5.5—7.5 cm。当物体固定不动时，物体在两眼睛视网膜上像点也固定不动，其交会角不变。如果物体移动，则物体在视网膜上的像点位置和交会角均发生变化，因此使得人的眼睛能够感觉出物体在空间的移动距离和位置。这样双眼的观察才能比较正确的观察出物体的主体形态。为什么呢？主要是存在生理视差的缘故。

（二）生理视差

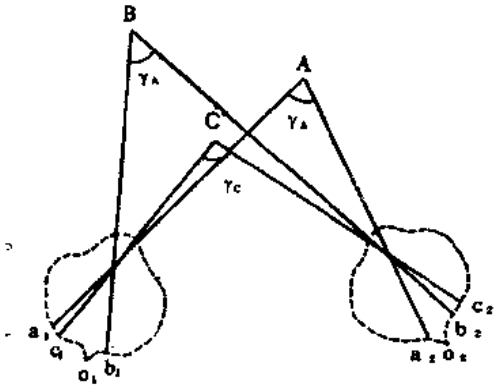


图 3-1　交会角与生理视差

如图 3-1 表示双眼观看物体的情景。空间三个物点A、B、C。在每只眼球内视网膜上的影像点分别为a_1、b_1、c_1和a_2、b_2、c_2，设左眼眼窝为o_1，右眼眼窝为o_2。人为假设像点位于眼窝左侧时距离为负，右侧距离为正。从图上可知物点A、B、C三点在左右眼睛上距离眼窝o_1、o_2的距离之差分别为$(-o_1a_1)-(-o_2a_2)$，$o_1b_1-o_2b_2$，$(-o_1c_1)-o_2c_2$，显然它们的值是不相等的。在两眼中同一物体（点）的像点距离眼窝的距离之差我们称为生理视差，生理视差不等，则物体离眼睛距离和方向位置也不等。生理视差是双

眼观察立体感的基本原理。这一点还可以从交会角的不等来解释。A、B、C三个物点与两眼视轴所夹的三个交会角γ_A、γ_B、γ_C也是不相等的，而且物点距两眼距离越近则交会角也越大；物点的方位不同，其交会角也有变化。因此用交会角的大小不同的原理也可以解释人眼能观察出物体的远近和空间位置的现象。经验证明，人眼交会角只要有10″—25″的角度变化即可辨认出物体的远近和移动情况。当交会角太小时，则人眼就不能分辨出物体的远近。我们夜晚观察距离相差悬殊的天空中千百万颗星星都一样远近和大小就是这个道理。

（三）人工立体成像

从上述双眼观察物体原理可知，由于生理视差的存在能产生观察物体的立体效应，假设我们利用双眼观察物体时，在眼和物体之间放一玻璃片，保持距离不变，闭上左眼先用右眼观察该物体并把影像画在玻璃片上，然后再闭上右眼用左眼观察该物体并把影像画在玻璃片上。这样两眼观察物体的像就是人工立体成像所需的像对。当把实物拿走后，再用双眼同时观察该玻璃片上的影像，为了保证左眼看左侧图像、右眼看右侧图像，在两眼间垂直玻璃片放置一不透明的挡板，凝视片刻后即可看到好象原来的物体仍在原处一样，这就是人工立体成像的效应（如图 3-2）。

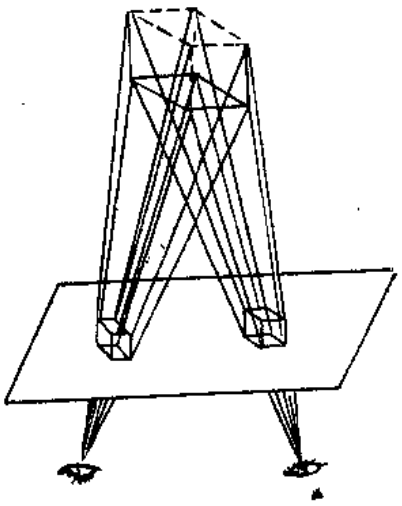


图 3-2　人工立体成像示意图

根据这个原理我们可以在空中同一航线相邻的两个摄影基站对同一物体拍摄两张相同影像的像片，这样的两张像片称作立体像对，它可以满足立体观察。立体观察成像的条件是：

1．两张像片必须是在两个相邻基站对同一物体或地区所拍摄的立体像对。

2．两眼观察时必须保证左眼看左片，右眼看右片。

3．眼基线必须平行两张像片的同名点连线——基线。

4．两张像片比例尺应该相等，如有差别时，最大差值不应超过 16%，否则建立不了立体视觉。

二、航空像片的立体观察

人们观察物体时由于生理视差而产生立体效应。应用这原理设计制造了反光立体镜等仪器，来观察立体像对，就能产生与地面起伏相对应的立体效应。

立体观察时，首先要保证所用图像必须是同一航线上相邻两张且有足够的重叠和相同的比例尺。然后放置于立体镜下左片放左侧，右片放右侧，亦即是立体观察时保持左眼看左片，右眼看右片，而且要求眼基线、航片基线和立体镜的基线必须保证平行，这时才能观察到正确的立体感。

三、立体量测的具体方法步骤

（一）像点横视差

即把生理视差的概念引到对立体像对的观察中来。两张像片相当于两眼视网膜上的影

像。o_1，o_2（两张像片的像主点）相当于视网膜。像点 a 的横视差 $p_a=o_1a_1+o_2a_2$；像点 c 的横视差 $p_c=o_1c_1+o_2c_2$（图 3-3）。

（二）视差较

即两点视差之差。像点 a 、c 的视差较 $\Delta p_{ac}=p_c-p_a$

$$\begin{aligned}&=(o_1c_1+o_2c_2)-(o_1a_1+o_2a_2)\\&=o_1c_1-o_1a_1+o_2c_2-o_2a_2\\&=(o_1c_1-o_1a_1)+(o_2c_2-o_2a_2)\\&=a_1c_1+a_2c_2\end{aligned}$$

如果测出 a_1a_2 和 b_1b_2 的距离，求出 $a_1a_2-c_1c_2$ 就可以得 $a_1c_1+a_2c_2$，即

$$\Delta p_{ac}=a_1a_2-c_1c_2=a_1c_1+a_2c_2$$

（三）高差公式

由立体量测示意图（图 3-3）可知$\triangle S_1S_2A\backsim\triangle AA_1A_2$，

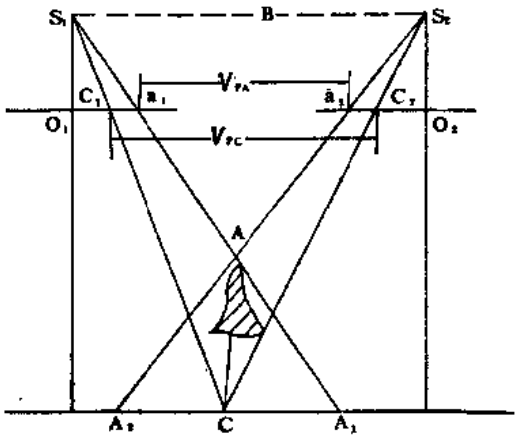


图 3-3　高差与横视差的关系示意图

$$\frac{H_a-h_a}{h_a}=\frac{S_1S_2}{A_1A_2}\qquad(1)$$

设比例尺为$\frac{1}{m}$则有

$$S_1S_2=(o_1a_1+o_2a_2)\div\frac{1}{m}$$

$$=m(o_1a_1+o_2a_2)\qquad(2)$$

同理

$$A_1A_2=A_1C+A_2C$$

$$=m(a_1c_1+a_2c_2)\qquad(3)$$

将（2）、（3）代入（1）

$$\frac{H_a+h_a}{h_a}=\frac{m(o_1a_1+o_2a_2)}{m(a_1c_1+a_2c_2)}$$

$$=\frac{o_1a_1+o_2a_2}{a_1c_1+a_2c_2}\qquad(4)$$

又：

$$p_a=o_1a_1+o_2a_2\qquad(5)$$

$$p_c=o_1c_1+o_2c_2\qquad(6)$$

$$\Delta p_{ac}=p_c-p_a=a_1c_1+a_2c_2\qquad(7)$$

将（5）、（7）代入（4）

$$\frac{H_a-h_a}{h_a}=\frac{p_a}{\Delta p_{ac}}$$

$$h_a=\frac{\Delta p_{ac}}{p_c+\Delta p_{ac}}\cdot H_a$$　此即为高差公式

其中　$p_a=\frac{o_1o_2'+o_1'o_2}{2}$，$\Delta p_{ac}=a_1a_2-c_1c_2$

H_a若资料未给出，则可以通过比例尺和焦距求出：

$$H_a = f \cdot m$$

（四）视差杆的应用

按照高差公式，其中 p_a、H_a 从资料中都可以求出，如果能量出 Δp_{ac} 的长度。任何两点高差可得 Δp_{ac} 可由求 a_1a_2、c_1c_2 的差求得，视差杆就是可以测量同名像点间在立体观察下模拟尺度的一种工具。

视差杆的基本构造是由主杆、手轮和用手轮推动在主杆上改变距离的测标板构成。主杆上有 1 mm 和 0.5 mm 的刻度，手轮旁的测微鼓上有 50 格，转一圈测标板移动 0.5 mm，每格为移动 0.01 mm，因此精度可达 0.01 mm。

测量时要求：

1．在立体镜下已形成立体感时将视差杆放于航空像片，主杆平行立体镜长轴和像片基线；

2．把左测标板上的圆圈（或圆点或＋号）测标落在左片待测点（如 a_1）上，然后转动手轮使右测标板上的同样测标落在右片待测同名像点（如 a_2）上，即可读出两点（a_1，a_2）间相对模拟标度读数值 Vp_a；

3．按上述方法测出第二点（如 c 点）对应像点（c_1，c_2）间相对模拟标度读数值 Vp_c。

4．求 Vp_c 与 Vp_a 的差，即得 Δp_{ac}。

5．测量时要注意使测标准确落在待测测点上，只有此时观察测标是贴着地面，测量是准确的。否则会感到测标是浮在地面之上或象“飘”起来，这时测得的值小；或者测标“沉”到地面以下，这时测得的值大。这种现象称为浮点原理如图 3-4。

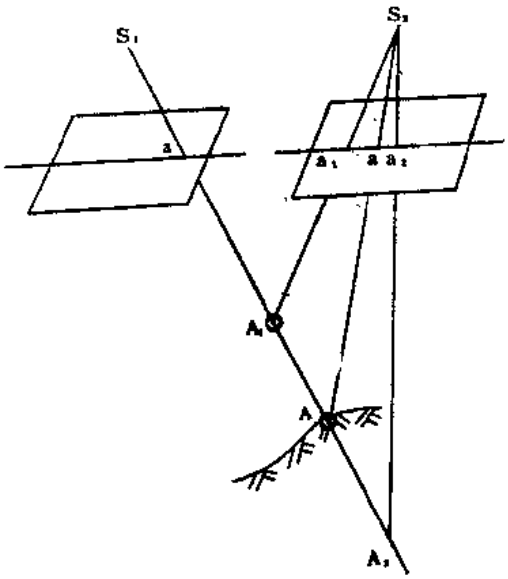


图 3-4　浮点原理示意图

四、练习

（一）测量某地地形剖面

用某幅航空像片，选 6 个点（1—6 号），以 1 号点为起点，依次测量 1—2、1—3、1—4、1—5、1—6 各点高差。给出 p_a、f、$\frac{1}{m}$、1 点高程，求出各点高程（见表 3-1）。

表 3-1 高程测量记录表

测点	视差杆读数			读数平均值	视差较 Δp	高差 Δh	高程 h(m)
	一次	二次	三次				
1							238
2							
3							
4							
5							
6							

$F=115$ mm　$1/m=1/16000$　1点高程为238m

（二）作地形剖面图

纠正像点位移，因为航空像片是地面的中心投影，有高差的点都有位移，所以作图都应进行纠正。

具体方法是：用透明纸蒙在左片上画出像主点（o_1）、转刺像主点（o_2'）和各测点1、2、3，连接o_2o_2'和由像主点到各测点连接射线。再将此透明纸放在右片上使$o_1'o_2$与$o_2'o_1$线重合，o_2点与o_2'重合，画出各测点1、2、3……并与o_2点连射线，则与$o_1$1，$o_1$2，$o_1$3……射线相交于新的点，这些点即为1、2、3……各测点纠正后的位置。根据这些点的相对位置，按需要比例放大或缩小，即得相应平面位置图。

按平面相对位置，给出高程即可作出地形剖面图。

实习四　遥感图像地貌解译与地质分析

利用遥感图像的宏观性可以清晰地解译区域地貌特征以及各种地貌的形态特征、组合、空间展布规律和它们之间的相互关系。地貌形态又是遥感地质中解译标志之一，因此在遥感地质中的地貌解译有着双重意义。地貌解译包括三个方面，它们是水系分析、地貌分析和地貌形态的构造分析。

一、水系分析

在多波段遥感图像上，水系是十分清晰的，如利用MSS 4，7 波段可以绘出水系分布图。水系的类型、密度和组合是地貌解译的重要标志之一，也是岩石、构造解译的主要地质标志。在水系解译时要充分考虑自然环境和地质环境和自然界水动力的状况等，综合分析形成地貌的因素、识别地貌形态与地质体的关系。根据 T. E. Avery的水系图型分析如下（图 4-1）。

1．树枝状水系

它的发育程度取决于组成地形的岩石和构造性质。当岩性软、风化强烈、地形平缓、节理发育、树枝状水系密集，反之稀疏，如图所示砂岩水系密度中等，页岩水系密集、花岗岩水系稀疏。

2．紊乱状水系

它发育在不均匀的第四纪沉积物之上，水系无规律，无方向性随意扭曲，它们流入洼地或沼泽中。

3．角状—矩形状水系

它受断裂或节理控制，水系沿断层线、破碎带流动。角状的方向取决于不同构造线的方向，角状的发育程度和规模取决于构造运动的强度，一般构造运动作用强烈、角状水系发育。另一方面它也受岩性控制，如图所示砂岩呈角状水系，受断裂切割的砂岩呈矩形状水系，这也说明利用水系解译时要注意解译标志的可变性。

4．格子状水系

支流或支沟与主流或主沟之间以一定角度交汇，形成近似相互平行的格子状图形。它严格受褶皱轴部、共轭节理和大型节理控制。

5．落水洞状水系

它发育于暖湿气候条件下碳酸盐类岩石分布区，岩溶地貌明显，地表水系不甚发育，水系时隐时现，无完整格局，水系呈星点状分布。

6．放射状—环状水系

它发育于火山、岩体、穹隆或盆地地区。在遥感图像上常见的水系图形还有很多，如图 4-2，在此不一一赘述。

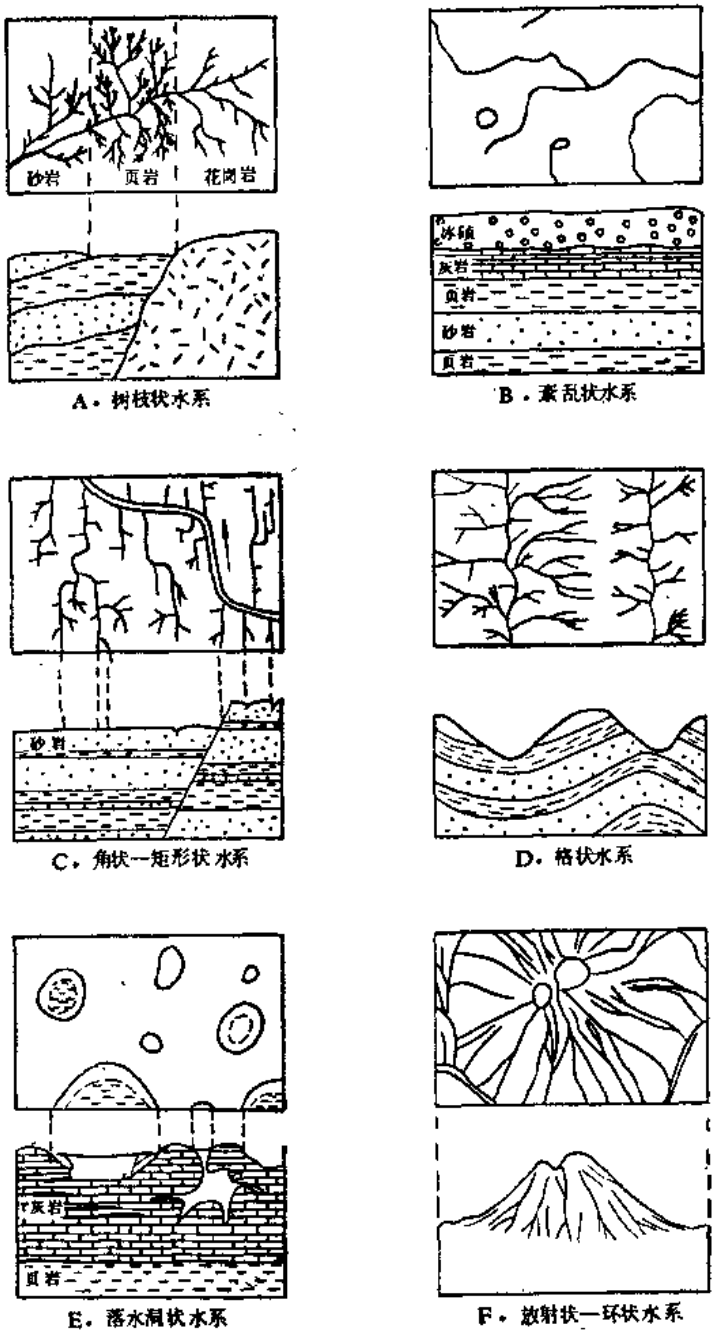


图 4-1　几种地形类型的水系图型及其剖面

(据 T. E. Avery)

二、遥感图像地貌分析

首先区分出大的地貌单元如山地和平原，其次在同一地貌单元内区分不同的地貌形态，注意它们之间的相互关系；第三在单个地貌单元或形态上，分析地貌形态的成因类型，如阶梯状地形，并非所有阶梯状地形都是河流成因的，它可以构造成因，如断层，也可以人工改造如梯田等。

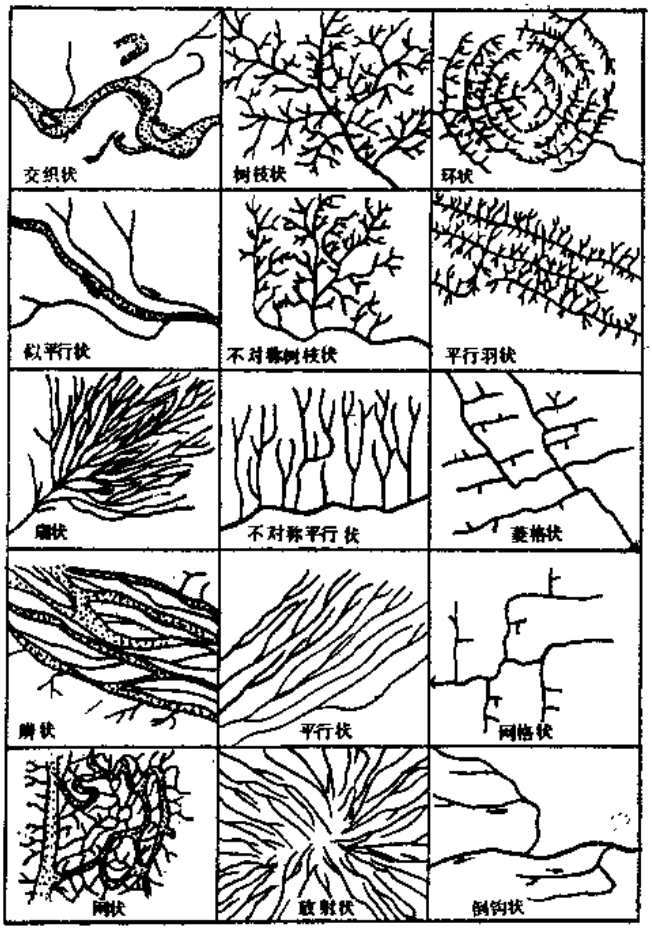


图 4-2 常见的水系图形
（据 H. F. 班达特）

1. 河流地貌解译

首先分析河流的平面轮廓特征，河床的形态、河床的曲流发育程度，河漫滩的宽窄程度、河流侵蚀和堆积状况，河谷的切割程度。分析河流主流与支流的夹角关系，它们的发育程度以及有否方向性排列等。如牛轭湖发育的程度和分布范围是解译古河道的主要标志。在山区要注意河谷的坡度、急流点、汇合点，要查明它们有否规律性。河流两侧的阶地类型，纵向阶地变化等。河谷类型与构造的关系，如顺向谷、逆向谷、先成谷等它们都是受岩性和构造所控制。

H86，87 航空像片，位于四川涪江某地河谷穿越侏罗纪砂岩和粘土岩，水平岩层。发育着三个河成阶地，第一级冲积阶地上有耕田和居民点；第二、三级为基座阶地。河谷不对称，东部抬升的速度比西部快。

2. 洪积扇地貌解译

它是图像中最常见地貌形态。从图像上研究洪积扇注意洪积扇的形态特征，洪积扇的迁移和叠置关系、洪积扇的物质组成等。

3. 岩溶地貌解译

在航片上根据岩溶地貌特征可以查明岩溶地貌的形态特征、类型和组合以及岩溶地貌

的分布范围和发展趋势。根据岩溶地貌的展布方向分析岩溶与构造的关系。如在17710航空像片上岩溶漏斗呈北东向和北西向排列，它们的发育程度受石灰岩的X节理所控制（图版Ⅰ-2)。在卫星图像上岩溶地貌呈花生壳状或桔皮状影纹，如贵州河池幅（502）碳酸盐类的岩石经流水作用形成岩溶地貌，在卫星图像上呈灰色调、桔皮状影纹、菱格状水系。

4．沙丘地貌解译

沙丘是风积地貌，通过航卫片分析沙丘的高度，迎风坡和背风坡的坡度，沙垅的方向，起伏程度，沙丘的组合形态和沙丘的类型等。用不同时相的遥感图像测定沙的流动速度和流量。例如塔里木盆地中的沙漠区发育着沙垄、沙链和金字塔形沙丘，在陆地卫星图像册上都可见到。在航空像片H-135图像上贺兰山，西腾格里沙漠有许多复合新月形沙丘链，在沙丘链上叠加了许多小型新月沙丘，沙丘的边缘有条状的湿地，显示这些小型的新月沙丘是由断裂构造引起地下水的上升而影响沙丘的发育。

5．黄土地貌解译

黄土地貌的类型是根据沟谷的切割和残余程度以及形态特征划分的。例如H-156，黄土源地貌，该航片位于甘陕交界黄土高原上，在黄土塬上发育二组近于直交的扭裂隙，以北北东向一组最发育，北西西一组发育较差，黄土塬边部有短而深的冲沟切割，冲沟不断切割就发育成黄土梁、冲沟呈似平行树枝状水系。黄土峁冲沟呈放射状、黄土阶地呈阶梯状耕田发育，冲沟发育程度不一。例如K-6310航空像片在一级阶地上冲沟较发育，二级阶地上冲沟不发育。在陆地卫星图像册陕西靖边幅中更新世—全新世黄土被冲沟切割呈羽状树枝状水系和栉状水系。

6．海岸地貌解译

海岸地貌解译除解译海岸地形外，对海岸地貌的高度、分布范围、坡积物发育程度都得观察分析。例如航空像片H-8，我国华东某地海积地形、沙咀、沙坝和泻湖，它在不同季节定向风的影响下，在海流作用下形成的。像片中部为沙咀，它由北向牵移的沿岸纵向沉积；像片的东北部有数条沙坝，它们之间有泻湖（图版Ⅰ-3)。

7．滑坡地貌解译

滑坡在遥感图像上呈簸箕形、舌形、弧形和不规则形等，它的规模大小与地质构造有关滑坡体内有滑坡壁、地裂缝、鼓丘、马刀树等这些地貌形态规模较小，一般在航空像片上可以观察到。目前利用多时相航空像片还可以测量单个滑坡体的几何形态，宽度、长度和滑坡体的运动速度以及滑坡的土方量等。

8．泥石流地貌解译

泥石流在航空像片上顶部呈瓢形，山坡陡峻，色调深浅不一，流动的泥石流呈条带状扇形，轮廓不固定。泥石流地区常有崩塌。利用多时相遥感图像也能测定泥石流的规模，形态特征、泥石流的牟变化率以及它的泥石土方量等。

9．冰川地貌解译

在航片上冰斗外形近似卵形或三角形，形成一个围椅状洼地。两个冰斗之间呈锯齿状的山脊是刃脊，二个以上冰斗汇集成金字塔形山峰是角峰，冰川谷呈开阔的“U”形，冰川谷中有垅状地形，为冰碛地形，如侧碛垅、尾碛垅等，垅外有冰水扇或冰碛丘陵等（图4-3)。

除上述外还可用多波段图像解译各类地貌，参见表4-1。

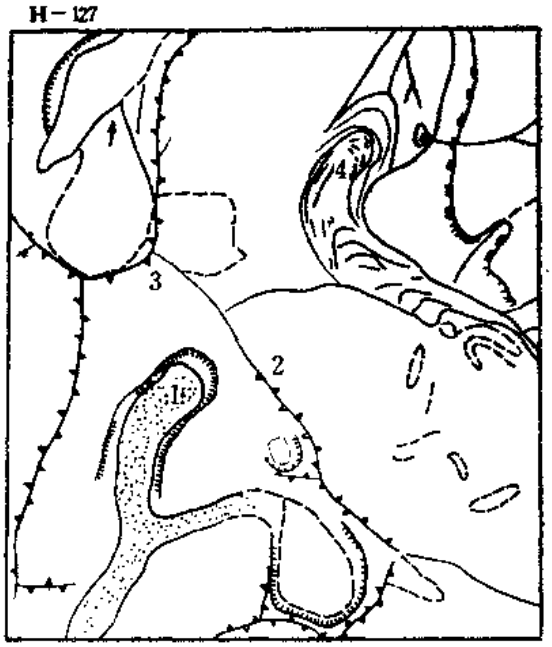


图 4-3　H-127 冰川地貌解译示意图

1. 冰斗；2. 刃脊；3. 角峰；4. 尾碛垅

表 4-1　多波段图像地貌解译表

波段范围	地貌解译主要内容
0.5—0.6μm	水下三角洲，冰碛地貌，冰川判别，勾绘冰川界线，水体内悬移泥沙，堆积地形地表水污染
0.6—0.7μm	地层、岩性、湖泊，海岸地貌、冰川、海水、河流、风沙地貌、三角洲、洪积扇
0.7—0.8μm	水体、湿地的显示、岩溶地貌、古河道、大断层、隐伏构造
0.8—1.1μm	河床沙流的移动和分布、三角洲、古河道、旧河道、河流变迁和分布范围、隐伏构造
微波雷达	能穿透云层和植被甚至干燥的沙漠、揭露出埋藏的地形，如古河道等

三、地貌形态的构造分析

在遥感图像上利用地貌形态特征分析构造是很直观、清晰的。能从区域上对比地貌形态与构造的关系，了解许多地面观察不易发育的地质构造问题。利用地貌形态分析构造最好充分利用多波段，多时相图像，获取更多的信息，如从卫星图像上分析山系和裂谷的分布，地貌-构造的分界线等。现在大陆上最明显的山脉都形成在中新生代以来，特别是与新生代构造运动有关，例如喜马拉雅山脉是新生代构造运动的产物。现代的裂谷都由断陷盆地组成如山东沂沭地堑等。

地表隆起可形成一系列的褶曲构造地貌，经风化剥蚀后可形成一些单面山、猪背岭、顺向谷、逆向谷等地貌形态，这些形态是分析褶皱构造重要标志。环状水系、放射状水系是分析岩体的侵入和穹窿构造的依据。断层崖等是分析断裂构造的依据。

例如1623—1624航空像片，（图版Ⅰ-4）它位于青海某地，在图像上有侵蚀山、河流和洪积扇。图像北部侵蚀低山冲沟发育，呈树枝状水系。山脊尖棱，山脊前段发生“之”字形扭曲，显示扭性断裂的特征。图像中部河流发育了四个河成阶地，河流南部河成阶地有明显的位移反映有活动断裂。在图像上新老洪积扇可分3—4期，老洪积扇已改造成耕田，但它的扇形地形和冲沟仍很清楚。较老洪积扇叠加在老洪积扇向东南偏移、冲沟发育，耕田不发育。新洪积扇分布在图像北部和中部，扇形形态特征清晰表面由于颗粒粗细不同呈花斑状，在扇缘色调均一。其东侧有一最新洪积扇正在形成并叠加在新洪积扇上，其位置也向东偏移，显示区域性西部上升东部下降的特点。在图像上还能利用水系、色调和形态特征分析隐伏断裂，不妨可以一试（图版Ⅰ-4）。

四、练习

航空像片K-18616金沙江幅解译河流地貌。

要求：

1. 划分不同类型的地貌单元和物质组成。
2. 在立体镜下观察河流流向、河流阶地及类型。
3. 洪积扇的形态特征，有几期洪积扇，它们的叠置关系。
4. 重力地貌和堆积物的分布。
5. 勾绘流水地貌略图。

实习五　沉积岩图像解译及地层分析

沉积岩在遥感图像上以条带或条纹的影纹呈现。沉积岩图像特征往往与岩石的结构、构造和成份密切相关。在流水作用下岩石常形成不同类型的水系，如格子状，树枝状水系等。在地形上形成一些独特的地貌形态，如单面山，方山，岩层三角面等，因此在遥感图像上解译沉积岩是比较容易的。

一、沉积岩图像的主要解译标志（表5-1）

表 5-1　沉积岩遥感图像解译标志表

岩性＼标志		色　调	影纹图案	地形（貌）	水　系	植被与土地利用	其　他
沉积岩	砾岩	不均匀的深灰色调呈斑块状	不甚发育的条纹条带表面粗糙呈斑杂状。阴影发育	沿主要节理方向发育陡崖垅岗地貌，崎岖不平的地形	地表水系不发育	基岩区植被不发育	崩积物发育
	砂岩	浅灰色调，植被丛生或铁质胶结多为中一深灰色	发育有规则的条纹条带状影纹	常成单面山，猪背岭陡峻崎峰，山脊走向稳定	中等密度的树枝状格状及角状水系，冲沟短切割深横剖面呈"V"形	树木，耕地较少，仅集中于河道沟边	可据砂岩稳定延伸远，特有地形，水系等特征而作标志层
	粘土岩类	灰一暗灰	条纹条带状影纹较发育。平缓坡地，开阔洼地	低矮圆滑馒头状山丘	典型树枝状及似平行状水系，冲沟短而密。横剖面呈圆滑的"U"形	土壤较厚、村镇，路，林耕地较多，是很好的农作物区，边坡树林覆盖	易风化多残坡积物，呈浅色斑状
	碳酸盐类	干旱区：较均匀的浅一中等灰色调	可发育有条纹条带状影纹	呈陡峻山势，山脊走向连续	水系以细小冲沟为主	植被较稀少，少耕地	基岩裸露残坡积物少
		潮湿区：基岩区为浅灰色调，植被覆盖多呈深灰色调	斑块状不规则	溶蚀地貌发育	内向水系为典型，星点状，冲沟稀疏短而浅	植被茂盛，农田，村镇，道路集中在河谷	裂隙均匀分布，并成组出现

二、沉积岩图像特征分析

不同的岩石由于颜色、成分、结构构造等差异，形成不同的影像特征，如沉积岩的胶结物，铁质色调深，钙质色调浅。但当沉积岩遭受强烈风化时，可产生褪色，使色调变浅。沉积岩的颗粒大小、均匀性，裂隙和透水性的发育程度，直接影响沉积岩的水系类型和稀密程度，当沉积岩受构造变动时往往出现异常水系。沉积岩在地形上经受风化剥蚀形成高低起伏的山地，坚硬的岩石呈山脊或山顶，较软的岩石呈山的鞍部。例如砾岩，粒度粗，较易风化，透水性好，层理不发育。在图像上显示出水系稀疏，树干状水系，地形起

伏不平。影像上条带不发育。石英砂岩，粒度细，抗风化较强，透水性较好，层理发育，在图像上显示出水系较密集 锯齿状山脊，影像上有明显的条纹条带。页岩，颗粒细，抗风化弱，透水性差，层理发育，在遥感图像上地形低缓，水系密集，条纹影像明显。

例如H-29H-33 航空像片。它是贵州某地航空像片，在影像上地层柱状图表明它是由砂岩、粉砂岩、粘土岩和碳酸盐组成，它们的岩性主要特征如下：（图版 I-5）

T_3（香溪群）泥岩、砂页岩。

T_2f（法郎组）灰白-浅灰色含燧石团块的灰岩及白云岩。

两套岩性影像标志为定向性很强的山脊，山脊形态呈半浑圆状，较为陡峻。

T_2g（关岭组）：上部为浅灰白色白云岩；中部浅灰一深灰色灰岩夹泥质灰岩、白云岩；下部黄、黄绿、暗紫色页岩夹泥质灰岩。航片上呈灰白一浅灰色调，地形低缓、零碎，有溶蚀残丘，页岩层中细条纹发育。

T_1yn（永宁镇组）：以灰色灰岩为主，夹泥灰岩及杂色页岩。图像上为灰白一淡灰色、地形低缓，岩层条纹不明显。

T_1f（飞仙关组）：为杂色粉砂岩，泥岩夹砂岩及少量灰岩。具暗灰色调，尖棱状谷脊，“V”形冲沟发育。

P_2l+p_2d（龙潭组、大隆组）：主要岩性为黄灰色砂岩，含砾砂岩、粉砂岩、泥灰岩夹煤层。图像上灰白一淡灰色调为主，负地形，因多耕田而呈花斑状影纹。

$P_2\beta$（峨嵋玄武岩）：深灰色拉斑玄武岩、角砾熔岩、火山集块岩、角砾岩及凝灰岩。图像为灰色调较均匀，山脊尖棱状直线状连续性好。

P_1m（茅口组）：为深灰、浅灰色灰岩夹燧石灰岩及燧石层，图像上呈浅灰、灰色调。

P_1q^2（栖霞组上段）：深灰一浅灰色灰岩夹白云质灰岩，泥灰岩，图像上呈均匀浅灰色调，溶蚀峰林较发育。

P_1q^2（栖霞组下段）：为灰白、黄褐色石英砂岩，砂质页岩，黑色灰质页岩及煤层，成层性好。图像上地势低缓、负地形、细条纹条带影纹发育。

C_{3mp}（马平群）：为浅灰色灰岩、夹瘤状灰岩。

C_{2hn}（黄龙群）：上部为浅灰色灰岩、泥质灰岩及鲕状灰岩。下部为白云岩。

C_{1b}（摆佐组）：灰白色灰岩、白云质灰岩及白云岩。

以上三组地层在图像上影像特征相似，均以较明显的岩溶峰林地貌景观为主要标志。

地球资源卫星像片图集贵阳幅（483）图像上不同影纹图案显示出不同的岩性：泥盆系（D）以石英砂岩、粉砂岩、泥岩为主夹灰岩、白云岩，受两组节理控制形成菱形块状山体。石炭系（C）下部以燧石灰岩，硅质灰岩为主夹砂页岩，色调浅，岩溶不发育；上部以生物碎屑灰岩为主，色调深，植被发育，岩溶峰林地貌发育，在影像上呈花生壳状影纹。二叠系（P）：由灰岩、硅质灰岩、页岩、泥岩夹煤层互层组成，中灰色调，影像上呈条带状影纹。三叠系（T）：岩相变化较大，在像幅南部及西南部以砂岩，粉砂岩、泥岩为主，色调呈灰色，水系发育，山脊呈“之”形尖棱状山脊，在图像上南部等地区有不规则块状地形，色调浅，它是中三叠系藻礁白云岩和灰岩，发育岩溶地貌。

三、遥感图像岩性地层分析

岩性地层分析是在沉积岩岩石类型和构造解译基础之上，根据工作任务和遥感图像上

标志显示程度，对工作区内出露的岩层影像进行分析对比和划分或归并，确定影像地层单位，建立各单位解译标志和标志层，并分析各单位的接触关系，构造变形特点，纵向、横向岩性岩相变化规律，建立相对地层层序和时代。

1．确定影像地层单位，应注意岩性组合特征，岩层出露的宽度，根据成图精度的要求和影像的显示程度，将解译出的岩性层组合对比分析，详细划分或归并，建立可行的影像地层单位。

2．建立影像地层单位解译标志是在总结出各影像地层单位的色调、地形、水系等方面特征的标志及变化规律的基础上进行的，特别注意各单位上下层位分层标志和具有特征标志的层位。

3．解译和分析陆相地层时特别注意同一影像地层单位，由于岩性、岩相的变化而引起标志的改变，总结这种变化规律。

岩石地层解译时应注意几个问题：

第一，要注意解译区的地理位置和气候环境而形成一些特殊的地形或地貌。

第二，解译区的大地构造位置和所处的构造部位及古地理环境。

第三，风化剥蚀或植被掩盖程度和人类改造的影响等。

四、练习

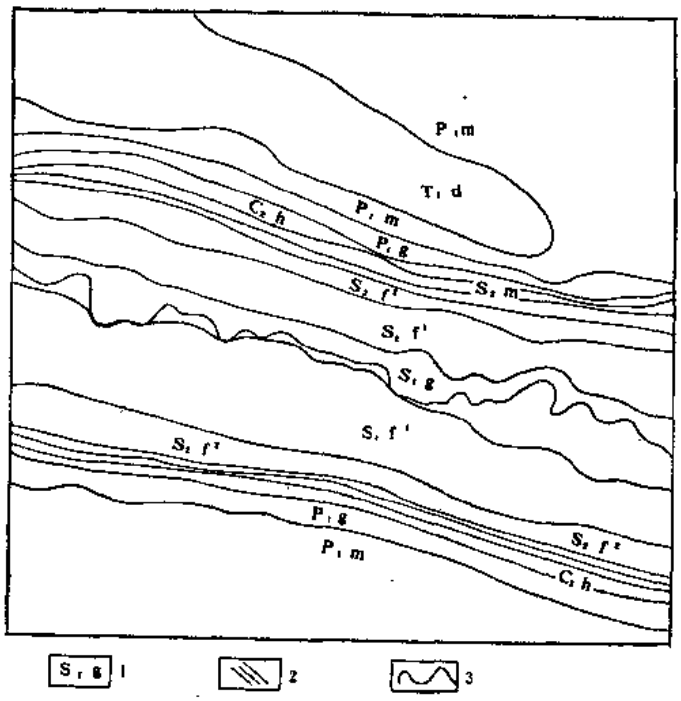


图 5-1　H-85航片地层解译示意图

1．地层代号；2．地层界线；3．河流

1．解译H-85航空像片（图5-1），根据航片上的影像地层柱和地质资料，划分影像地层单位，总结各单位的标志，在透明纸上勾绘各单位地质界线。注意地层产状和褶皱地层的对称性重复。分析各单位岩性特征与影像标志的内在联系（图版Ⅰ-6）。

附地层主要岩性资料

T_1d：灰质页岩，砂岩夹煤层；

P_1m（茅口组）：灰岩；

P_1q（栖霞组）：以燧石灰岩为主；

C_2h（黄龙群）：以灰岩为主；

S_3m（茅山组）：暗紫色，暗红色砂岩，底部为白色砂岩；

S_2f^3（坟头群上岩组）：暗绿色，杂砂页岩及含磷层；

S_2f^2（坟头群中岩组）：黄绿色砂质页岩及含磷层；

S_2f^1（坟头群下岩组）：黄绿色砂页岩；

S_1g（高家边群）：上部为灰绿色砂岩，下部黄绿色泥质页岩。

2．解译地球资源卫星像片图集长治幅（305）：该图像位于山西省与河南省交界处，图像的中部和北部由中石炭统至下三叠统的砂岩、粉砂岩；泥岩及页岩互层，中石炭统岩性色调浅，二叠系和下三叠统色调较深，树枝状水系，冲沟密集，影纹细腻，均匀；在图像的西南部和东北部为中元古宙长城统石英砂岩，安山岩及少量页岩和灰岩组成，由平行状和栉状水系呈现，冲沟不发育，形成粗栅状影纹；图像的东部，南部及西北部由寒武系至中奥陶统的灰岩、白云岩夹多层砂岩和页岩组成，水系发育呈树枝状和羽毛状，其影纹与中石炭统至下三叠统的岩性相比略显粗糙。

在图像上岩性地层的影纹出露有对称性，显示一个轴向北东东的向斜构造，其南端扬起，核部由中石炭统至下三叠统的地层组成，向斜内部发育着北东向、北北东向和北西向的线性断裂和隐伏断裂。

3．除上述外航空像片H29，H182；地球资源卫星像片图集河池幅（503）忠县幅（419）（图版Ⅱ-1）都是较好的典型实习片，可作参考。

实习六　岩浆岩图像解译

岩浆岩在遥感图像上也是十分醒目的，它常以不同形状的环状构造或放射状水系呈现的。一般岩浆岩出露地表其影像清晰，常以地形形态特征和水系特征显示，未出露地表的岩浆岩以色调、水系和微地貌间接显示。岩浆岩的成分，结构和产出的位置直接影响到岩浆岩的图像特征。除外岩石的抗风化剥蚀能力的强弱，岩石的裂隙发育程度等都对岩浆岩图像特征都有影响。解译时通过色调可以了解岩浆岩的性质，一般酸性侵入体呈浅色，基性侵入体呈深色。根据水系分布特征，密度和地形形态特征分析岩体出露范围，岩体特性和展布规律等。解译时要注意岩体的侵入产状，特别在航空像片上注意岩浆岩侵入接触关系，有否蚀变带，控制岩浆活动的断裂构造等。从卫星图像上注意岩浆岩的形态特征、空间展布规律以及不同期次岩浆岩的相互关系等。

一、岩浆岩图像的主要解译标志（表6-1）

表 6-1　岩浆岩遥感图像解译标志表

岩性 \ 标志	色　调	影纹图案	地形（貌）	水　　系	植被与土地利用	其　他
侵入岩	均匀，随岩性（酸性—基性）色调从浅—深变化	浑圆状串珠状	穹形低缓圆滑丘陵或较高山地	稀疏树枝状，环状放射状水系明显受裂隙控制	超基性岩类不发育	无层理、有岩相带围岩蚀变带，岩体长轴常与构造走向一致
喷出岩	暗灰色调	斑纹状图案，表面粗糙感	火山地貌，舌状熔岩流，熔岩台地，独具火山机构	树枝状，环状放射状、平行状水系	植被稀少土壤层不发育	玄武岩常具柱状节理，构成悬崖

（据张槐英改编，1987）

二、岩浆岩图像特征分析

1．航空像片H55

它是宁夏回族自治区北部某地。根据色调和形态特征，可将航空像片中的影像分为三个不同的地质体（图6-1）（图版Ⅱ-2）。

A是像片内主要地质体，浅灰色，水系发育呈密集而均匀的树枝状水系，地形平缓，是酸性岩浆岩的特征，根据资料证实，它是海西期灰白色中粗粒似斑状黑云母花岗岩。

B分布在图像的西北部，呈浅灰色，色调较均匀，水系较发育呈网状水系，它是第四纪冲洪积物，由砂和亚粘土组成。

C零星分布在图像中部，色调呈深色—深灰色，有大小不等的团块状和直线形垅状地

形组成，它们是由加里东期闪长岩和闪长玢岩组成，闪长岩是残留体，以不规则的块状体呈现，闪长玢岩是后期岩脉沿裂隙穿插在海西期花岗岩中，延伸较长，受北西向节理所控制。

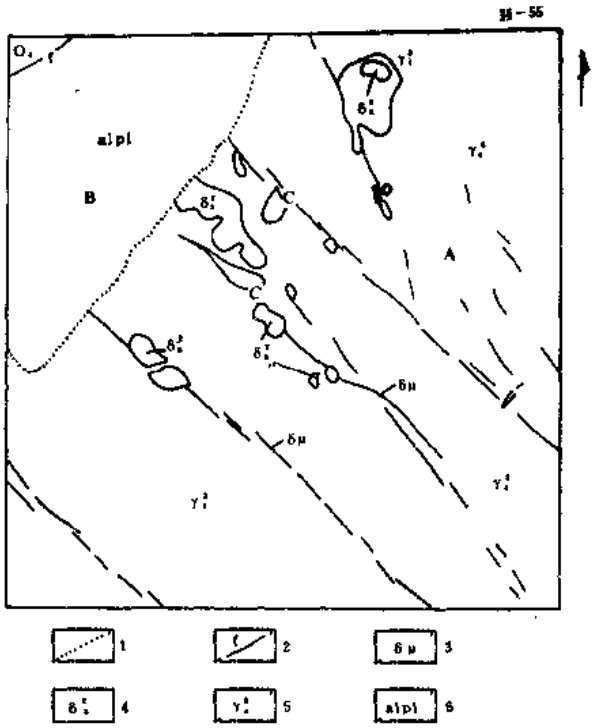


图 6-1 宁夏某地航空像片岩浆岩解译示意图

1. 地层界线；2. 断层；3. 闪长玢岩脉；4. 闪长岩残留体；5. 花岗岩；6. 冲洪积物

在图像的东北部尚有一条浅色细线形的垅状地形，是花岗斑岩岩脉侵入花岗岩的影像标志，它是在海西期花岗岩侵入后形成的。

2. H-21 航空像片

航片为我国甘肃北山地区海西期花岗岩侵入中上元古宙变质岩系中。中上元古宙由变质碎屑岩夹片岩，大理岩和少量的中基性火山岩以及硅镁质灰岩夹碎屑岩大理岩等组成。海西期花岗岩色调呈浅灰—灰白色，水系稀疏，树枝状水系，地形平缓，其形态似卵形，岩体被北东向扭性断裂切割，图像上线性平直，其北东部岩体边缘有明显的错动现象，“X”节理明显。变质岩系的片理方向与条纹展布方向一致。它们之间接触界线明显，中部为侵入接触，西部为断层接触，部分花岗岩体被第四纪冲洪积物所覆盖（图版Ⅱ-3）。

3.H-32 航空像片

航片为我国贵州西部某地。该山地由二叠系峨嵋山玄武岩和砂页岩组成。影像特征明显，玄武岩色调呈灰色，中等密度，树枝状水系和树枝状钳状水系，影纹似蠕虫。图像上树林发育呈斑点状。砂页岩呈灰白色，以斑状影纹显示，耕田发育，它覆盖在峨嵋山玄武岩之上（图版Ⅱ-4）。

地球资源卫星像片图集昭通幅（464），位于我国西南地区，图像的南部，中部和北部都有零星分布的二叠系峨眉山玄武岩，图像上色调较均一，地形较平坦，地貌上呈单面山，顺层面平缓，有细而长的河流向下流动。冲沟不发育。受后期断裂切割破坏，形成多边形岩块。(图6-2)。

4.B38-10103-10104 航空像片

立体观察图像中火山岩地区的影像特征。在比例尺1:4万航空像片上，观察内容如下：

（1）火山锥：圆形山体，环状火山口保留完好，清楚可见熔岩溢出口，水系成放射状、植被较发育。

（2）火山熔岩区：色调为浅灰—灰色，色调较均匀，地形平坦，水系稀疏，单个沟谷长而弯曲，已干涸成白色条纹。

5. 天池幅卫星图像（地球资源卫星像片图集171）

图像中两座完好的火山锥，北侧为白头山曾于1597年、1688年、1702年三次喷发，形

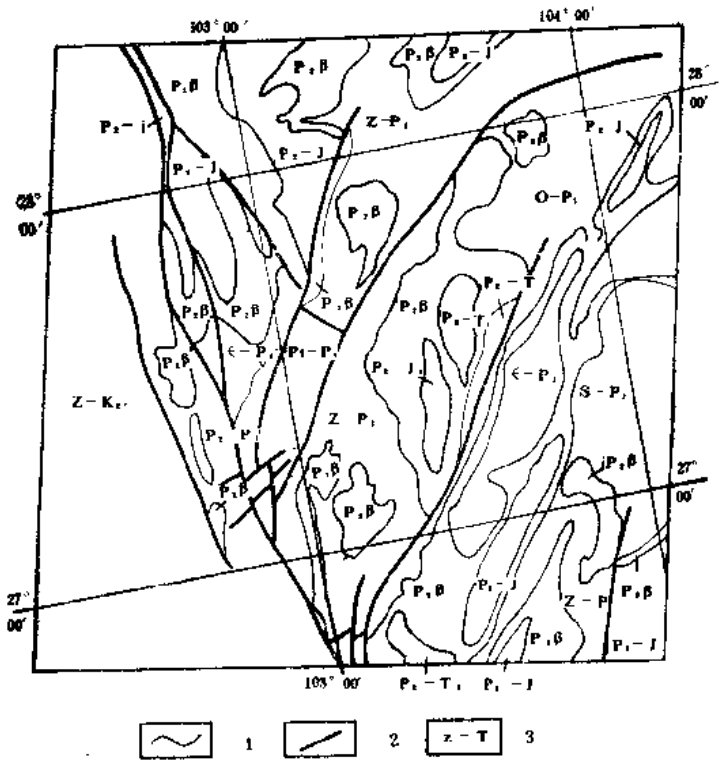


图 6-2 陆地卫星昭通幅地质解译示意图

1．地区界线；2．线性构造；3．地区代号

成了一个高耸挺拔的火山锥锥顶为白雪所覆盖。火山口中心部位形成火山湖（即天池），湖岸陡峭，湖水较深，影像色调呈黑色。围绕火山口，粗面岩与玄武岩呈同心圆状展布。南侧的火山锥为望天鹅，锥顶火山口形态清晰，但因河流溯源侵蚀至其内部，而未成湖。两个火山锥都具独立的放射状水系，直至玄武岩覆盖区边缘，才出现其它水系型式。

6．抚顺地区卫星图像（TM局部放大）

要求：对比观察中生代侵入岩体与太古宙侵入体的影像特征，分析它们影像差异的地质因素。（参看地球资源卫星像片图集169）

（1）中生代岩体解译标志

色调深灰—浅黑色，植被十分发育，同心双环状，外环色深，地势高陡山脊尖棱状，沟谷深多“V”形，水系不发育；内环色略浅，地势较低缓，山脊次棱角状，谷深为“V”形，水系较发育，似平行状。

根据地表调查和区测资料证明，外环为肉红色粗粒角闪钾长花岗岩。内环为粗粒以黑云母为主的钾长花岗岩。岩体为燕山期侵入到太古宙变质杂岩中。

（2）太古宙变质深成侵入体标志

色调灰—暗灰色，植被发育，地势较高，山脊尖棱角状，冲沟浅“V”形，水系密度较大，水系类型总体为放射树枝状。总体图形为环状—放射状。

经野外调查和室内鉴定，该地质体为一太古宙深成侵入杂岩体。岩石已变质成中粗粒黑云片麻岩、角闪片麻岩、辉石黑云片麻岩等变质杂岩。

三、练习

1. 航片H151,152

该航片是我国新疆维吾尔自治区西部某地。根据色调、水系和影纹特征，该区可分为三部分：第一部分是图像中部浅色调花岗岩（岩株）；第二部分在图像的东侧，围岩是泥质岩，它的色调呈灰色；第三部分是它们之间接触带，色调较浅，呈不规则条带状影纹，其岩性为接触变质的角岩。在与岩体接触面上发育着大致平行的层节理，呈弧形分布，已被岩脉充填，岩体中部还发育原生节理和几组后生断裂，它们延伸至围岩，将围岩有错移现象，请在立体镜下观察并绘制成解译图，并描述其特征和节理性质。

2. H-103航空像片

我国江苏北部花岗岩体特征，根据水系特征可将该航片影像特征分为二个不同水系类型，二者均为花岗质岩石，一类为花岗岩，另一类为中粗粒斑状黑云母花岗岩，二者为侵入接触，请根据水系类型绘出两岩性之界线。根据地质体的接触界线形态特征，地质体之间的关系，确定地质体形成相对早晚和接触关系，用文字描述各地质体的标志，接触关系和期次的证据。

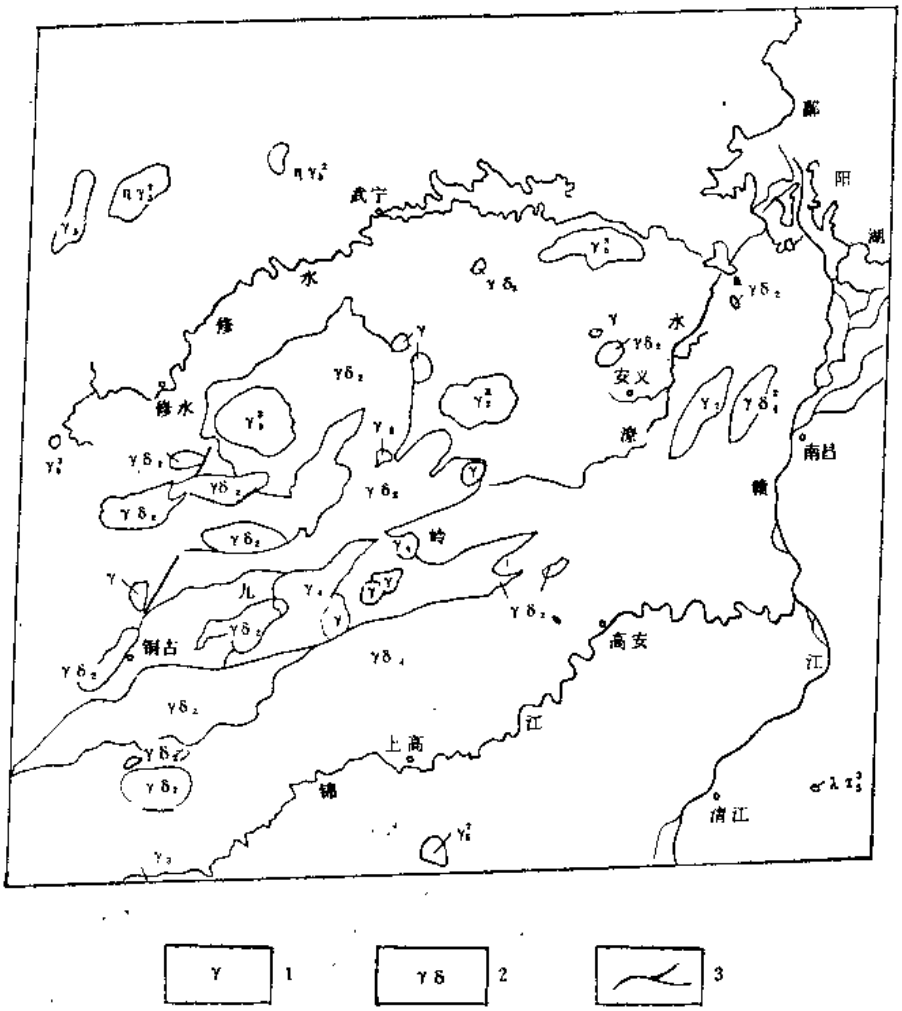


图 6-3 陆地卫星靖安幅解译示意图
1.花岗岩；2.花岗闪长岩；3.水系

3．地球资源卫星像片图集靖安幅（451）（图版Ⅱ-5）

它位于我国鄱阳湖的西侧，图像的北部以褶曲状条带影纹呈现，它以下古生代变质砂岩，板岩、结晶灰岩为主。图像的中部和西部发育着大小不同的环形构造，有的受后期断裂切割呈不规则状，有的呈同心环，有的呈项环，它们分别由花岗岩，花岗闪长岩组成。在图像的东南部主要是第四纪冲洪积物，有残山。请根据已知地质解译草图，将不同类型的环形构造绘成岩浆环形分布图，并将主要线性构造表示在图上，分析岩浆活动与断裂构造的关系（图6-3）。

4．秦皇岛地区遥感图像环形构造解译研究

该地区发育有不同成因、不同类型、规模各异的环形构造。如柳江环形构造，是褶皱构造成因的；黄土营环形构造为岩株、岩盖；后石山湖环形构造则为火山机构；还有多组断裂构造圈闭的地块形成的环状。这里简介后石山湖环形构造的影像特征（地球资源卫星像片图集205山海关幅）。

该环形构造在各类遥感图像上均表现为明显的环形构造。其主要特征为：

（1）在图像上为一深色调椭圆形影像。

（2）影像上自内向外可分为四个同心色调环，呈现为环套环的影像特征。

（3）地貌上表现为椭圆形的正地形。

（4）发育环状—放射状水系。

（5）在环形构造内发育有放射状断裂。（图6-4）

附：与每一影像环相对应的岩性岩相由外向内依次为石英正长斑岩（$\xi\pi_5^3$）（次火山岩相），孙家梁组流纹岩（J_3）（火山喷发相），燕山期斑状碱性花岗岩（边缘相），燕山期中粗粒碱性花岗岩（内部相），表现为一个火山机构的特点。

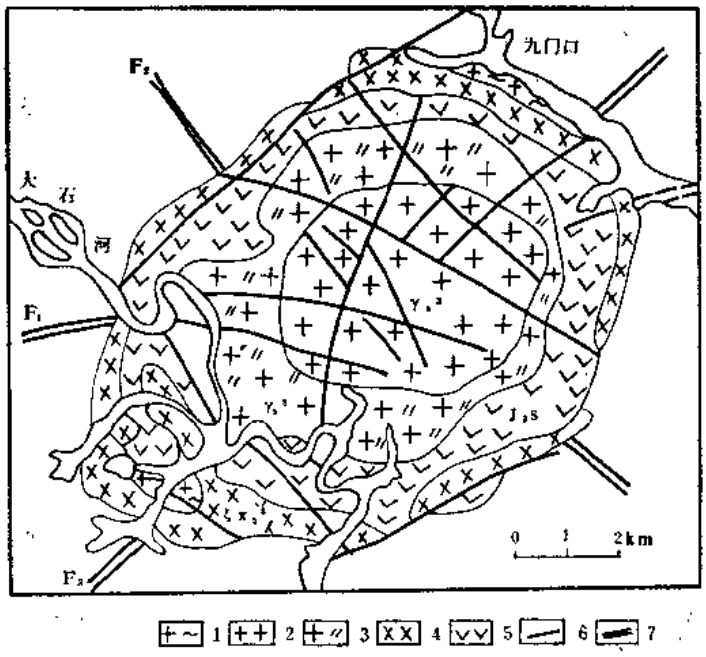


图 6-4 秦皇岛地区航空像片后石山湖环形构造解译略图

1.元古代混合花岗岩（γ_2）；2.燕山期中粗粒花岗岩（γ_5^3）；3.燕山期斑状花岗岩（γ_5^3）；4.燕山期石英正长斑岩（$\xi\pi_5^3$）；5.侏罗系流纹质—安山质火山岩（J_3s）；6.线性构造；7.控岩断裂构造

实习七　变质岩类图像解译

变质岩类图像解译与沉积岩和岩浆岩图像解译相比，其难度较大。原因是变质岩岩石类型复杂、岩相变化大、厚度大小不一，不稳定。它经过多期变质和变形，变质构造多次叠加，使其标志复杂而不稳定。所以，解译时以岩性组合为单元，以影纹特征为主要标志，结合其它特征标志进行综合解译。要充分应用多波段、多时相、假彩色合成图像和计算机图像处理等资料，获取更多的信息，为变质岩类图像解译提供依据。解译时一般从水系分析着手，变质岩的水系常呈丰字型或羽毛状水系。在影纹组合上常呈断续的细条纹条带，在假彩色合成图像上尤为突出。当原岩是岩浆岩时，它呈环状，其形态特征与岩浆侵位时形成的环形构造十分相似，但变质岩类环形构造不太明显，在环形中常有一些细的条纹叠加，在遥感图像上有些部位较明显，有些部位十分隐晦，它是变质岩的片麻理在影像上的特征。

一、变质岩类图像的主要解译标志

变质岩类遥感图像主要解译标志见表7-1。

表 7-1　变质岩类遥感图像解译标志表

标志 / 岩性	色调	地貌	水系	植被	其它
板岩千枚岩	色调呈灰一深灰色、灰黑色	地形低缓、岗状或垅状或脊状地形。山脊定向性明显，连续性好	梳状、格状平行状树枝状水系 冲沟切割较浅	植被发育程度差	有较密的线纹，它代表板理或千枚理的方向
片岩片麻岩	色调深浅变化较大	地形平缓、当变质岩性很坚硬时，地形陡峭	丰字型水系、树枝状水系、树枝状羽毛状水系 片岩水系较稀疏，片麻岩水系较密集	植被发育，常种植庄稼或果林	有条纹条带影纹。条纹呈直线形、扭曲状、环状或不规则

二、变质岩类图像特征分析

1. H-109航空像片

该航片位于我国青海省不冻泉附近，它由三叠系上统硬砂质长石砂岩与板岩互层，岩层直立。在图像上条纹条带明显，延伸稳定，丰字形水系，在立体镜下观察山脊陡峭尖刃（图版Ⅱ-6）。

2. H-186航空像片

我国北方某地元古宙变质岩系和侏罗—白垩系碎屑岩，它们之间呈不整合。在图像上元古宙变质岩系分布在图像的南部、中部和西北部，由片麻岩组成。片麻岩的条纹条带呈

十分明显的褶曲，产状变化较大。南部和中部的元古宙变质岩系与西北部元古宙变质岩系之间被北东向断裂所切割，形成两者条纹条带有斜交的现象。在图像的东侧元古宙变质岩系也被断裂切割。侏罗—白垩系碎屑岩分布在图像的东北角，碎屑岩形成的地形明显，岩层三角面发育，山脊呈条状分布走向稳定，色调较浅。根据岩层三角面判别其走向为北西向，倾向北东，倾角较平缓，它覆盖在太古宙变质岩系之上呈角度不整合（图7-1，图版Ⅲ-1）。

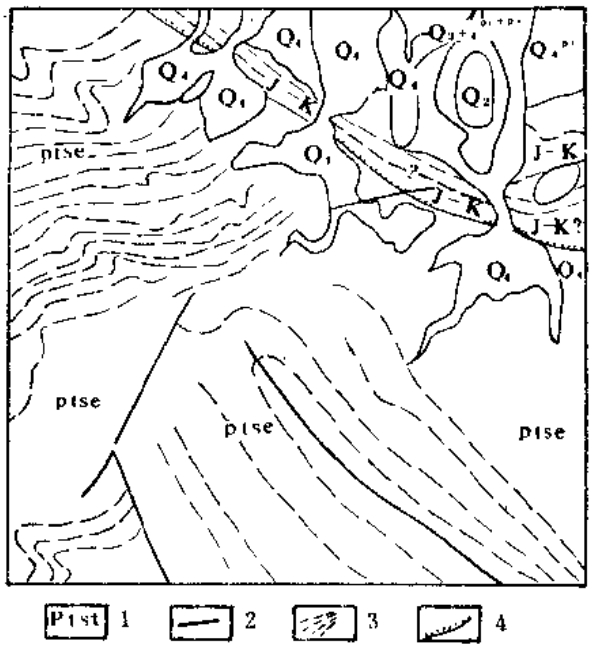


图 7-1　H-186航空像片解译示意图
1.地层代号；2.断层；3.地层条带；4.不整合界线

3．地球资源卫星像片图集五台幅（238）

该卫片位于山西五台山一带，在MSS5，7波段上大面积太古宙片麻岩、片岩出露地区，色调呈灰—浅灰色，一般片麻岩色调较深，片岩色调较浅。树枝状水系。地形陡峭。图像的西部分布着下元古宙的砾岩、砂岩、石英岩、千枚岩和板岩夹有大理岩。色调较浅，呈浅灰色。似树枝状羽毛状水系，地形较低缓。太古宙变质深的岩性与元古宙变质浅的岩性，在图像上特征显然有所不同，易于区分。

三、练习

1．航空像片H-63，64（图版Ⅲ-2）。

该航片反映山西某地下元古界与太古界阜平群片麻岩呈不整合接触现象。

（1）根据影像标志将太古界变质岩与下元古宙石英岩分界线划分开。

（2）根据色调、水系、影纹等特征，勾绘出变质岩中的片麻理，用花纹表示。

（3）根据太古界变质岩系和下元古界碎屑岩的产状绘出它们接触关系的示意剖面图。

（4）在该航空像片上有否断裂，其标志是什么？请写出其依据。

（5）将该航片勾绘成变质岩性解译图。

2．地球资源卫星像片图集榕江幅（484）

该幅卫片位于贵州的东部，大面积出露着元古界板溪群变质岩，它以千枚岩、板岩、片岩、砂岩砾岩和凝灰岩夹碳酸盐组成，其中以砂岩为主，分布在图像的西部、北部和南部。图像的西南部古生代地层不整合覆盖于元古代地层之上呈不整合接触。

请根据色调、水系和影纹等标志，勾绘出不同时代的岩性界线，不整合接触界线用花纹表示。该图像上有明显的线性和环形构造，请解译和绘制成图，并写出解译依据说明。

实习八　褶皱构造图像解译

褶皱构造是遥感图像中常见的形态之一。它是有成层性的岩石或地层在应力作用下，发生弯曲而形成的。因此，成层的地层条带或条纹的褶曲形态是褶皱构造的主要标志之一。在遥感图像上确定褶皱构造，必须判断和量测各种构造要素的产状，构造形态特征和构造要素的组合关系，以及它们在空间的分布特征和规律，编制构造解译图。解译褶皱构造时应从区域构造轮廓分析着手，解剖典型褶皱构造或单个褶皱构造，结合多波段、多时相图像和不同比例尺图像相对比，总结区域或局部地区褶皱构造特征。

在航空像片和卫星图像上观察区域或局部的褶皱构造是比较好的。但是，并非都很理想，有易有难。一般情况下，裸露区、沉积岩区的褶皱构造标志明显，容易被解译，而覆盖区的隐伏褶皱或变质岩系的褶皱，其标志隐晦或不清晰，解译难度大。

一、褶皱构造的解译标志（表8-1）

表 8-1　褶皱构造解译标志简表

褶皱类型		影像标志				
		地层影像标志	岩层产状判断	转折端	地形	其它
主要褶皱类型	直立褶皱	以褶皱轴部为中心，向两翼岩层对称重复出现，表现为色调或色带、地貌、地形组合、岩层、裂隙水系花纹等对称重复同一高度上两岩层出露宽度相同或相似	两翼分水岭上岩层三角面尖端指向相对、倾向坡相背。岩层三角面或单面山地形沿褶皱轴线对应部分，形态相似	褶皱倾伏端岩层自核部向外倾斜	背斜成山，向斜成谷，或向斜成岭，背斜成谷，褶皱两翼岩层倾角相似，可出现对称相似的地形特征	
			两翼岩层倾向相向或岩层三角面尖端相背，倾向坡相对	褶皱转折端岩层向核部倾		
	斜歪褶皱	褶皱两翼相同高度上岩层出露宽度不同一翼宽，一翼窄	岩层三角面形状在两翼表现不同：缓翼三角面尖端较尖、长，陡翼三角面尖端较宽、短，甚至成直线状条带		褶皱两翼地形不对称	
	倒转褶皱	两翼岩层同向倾斜，并沿某一界面两侧三角面的形态有明显差别	两翼岩层三角面尖端和单面山缓坡指向同一方向若三角面尖端指向一致，图形完全相似，则属等斜褶皱	转折端处层序正常		易将等斜褶皱误判为单斜构造，可追溯转折端、注意岩层出露宽度和岩层三角面形态差别

续表

褶皱类型		影像标志				
		地层影像标志	岩层产状判断	转折端	地形	其它
主要褶皱类型	平卧褶皱	轴面近于水平，两翼岩层产状近于水平，一翼岩层层序正常，另一翼岩层倒转，是遭受剧烈构造运动后产生的复杂褶皱形态，在图像上平卧褶皱被剥蚀后其一翼可能为缓倾岩层，转折端岩层变为陡倾或直立。				
	翻卷褶皱	褶皱内倾或外倾转折端连接之轴迹弯曲，翼部是背斜或向斜影像特征，岩层层序一翼正常，另一翼倒转。				
	短轴褶皱	岩层圈闭，平行的色带呈环状或椭圆状	岩层有规律地向四周或朝向色环中心倾斜		一般形成顺地形（背斜山，向斜谷）少数也可能为逆地形	往往有放射状断层，穹隆形成放射状水系，向斜盆地则形成向心状水系
	箱状褶皱	呈矩形图形，核部出露开阔，两翼狭窄	箱形背斜，两翼岩层倾角很陡，近于直立	倾伏端岩层倾角较缓。外呈转折。转折端呈"∩"形，两个近直角转折	表现为一系列背岭地形，据几部地形切割可见岩层略向外倾	核部形态不协调，翼部、肩部发育斜向断层
叠加褶皱解译标志		1. 两组不同方向褶皱相交，晚期褶皱改造早期褶皱，同时又为早期褶皱所控制，形成"横跨褶皱"，在两组褶皱相交的部位，往往形成一系列交互排列的穹隆和构造盆地。 2. 早期褶皱轴面被弯曲。早期褶皱受到不同方向的后期再褶皱作用时，其两翼岩层及组和褶皱轴面便作为一个褶皱层被同时弯曲，构成叠加褶皱。该褶皱在图像具有两个转折端（一早、一晚），成为叠加褶皱最重要的标志。 3. 陡倾伏或倾竖褶皱广泛发育。 4. 早期转折端呈尖棱状，且有虚脱和拉断现象；后期转折端呈圆滑状。 5. 大型褶皱转折端部位存在有其轴面走向横切大褶皱轴面的小褶皱，可作为帮助发现褶皱叠加的标志。				

（据张桃英，1987）

二、褶皱构造图像特征分析

1. 观察H-88、89、19964-65航空像片

H-88、89航空像片是四川某地侏罗系上统水平岩层，它由紫红色砂岩、粘土岩互层，形成阶梯状山坡，在影像上环绕山脊有黑白相间的细线条纹，砂岩呈陡坡，粘土岩成阶梯面。平面形态上似花边状或朵状影纹，类似等高线。

19964-65航空像片。该图像的东侧为侏罗系的单斜岩层，图像上呈折线状或锯齿状影纹。岩层三角面清楚，根据岩层三角面的倾向，在立体镜下可以估测其产状要素。

各类产状岩层解译标志见表8-2。

2. H-163航空像片

表 8-2 各类产状岩层解译标志简表

主要标志 / 影像特征 / 产状	影纹图案	水　系	地形（貌）	注意事项
水平岩层（<5°）	条纹条带状，影纹为云朵状或复杂的花边状似等高线	环状、放射状水系，大的河谷可成对称形梯谷	方山、桌状山阶梯状地形	与梯田、褶皱构造的区别
倾斜岩层	可具典型的岩层三角面。一般可为波状线或折线状条纹条带，产状缓者条带宽陡者条带则窄	顺向坡多为稀疏而长的冲沟，逆向坡则为短而密集的冲沟，不对称形河谷	单面山、猪背岭，条带状或垄脊状地形	山坡的坡向与岩层走向的关系（"V"字形法则）
陡倾斜或直立岩层	直线状条纹条带	对称型U型谷	对称型条带状、脊垄状地形	

该航片是青海省西部沙漠半覆盖区背斜构造，图像上背斜的外形清晰，呈椭圆封闭环形，其枢纽向西倾伏，背斜的两翼产状向外倾。背斜由第三纪砂砾岩、泥岩和中更新统的粉砂岩、泥岩、砂岩、砾岩和黄土组成。背斜被第四纪风积物所覆盖。背斜核部微微向北突出呈弧形，并发育着一系列横向断裂（图8-1，图版Ⅲ-3）。

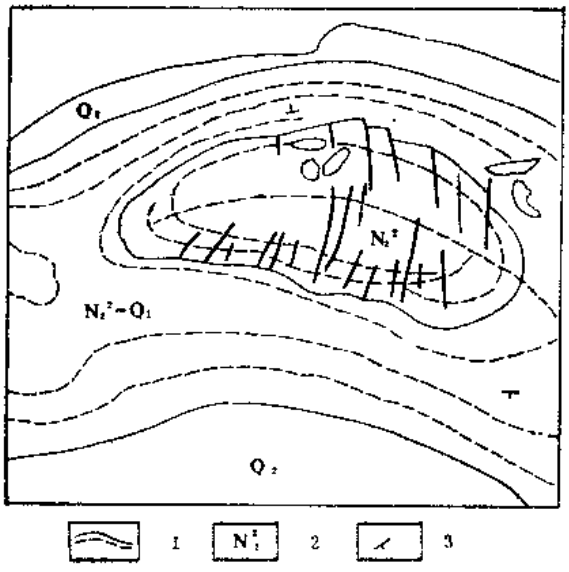


图 8-1 H-163航片背斜构造解译示意图
1.地层界线；2.第三纪地层；3.产状

3．716-00362-363航空像片

该图像为新疆阿艾地区捷斯德里向斜构造。向斜延伸十余公里，影像清晰，清楚可见对称的两翼及转折端。向斜的核部由中侏罗纪砂岩组成，两翼由下侏罗纪碳质泥岩含煤层组成。向斜北翼倾向南，倾角约30°—40°，南翼倾向北，倾角较缓10°—20°。核部产状平缓，向斜呈东西向展布，其枢纽向东西两端扬起，扬起端岩层产状向内倾（图8-2）。

① J_2^1为标准砂岩层，出露于向斜核部。翼部可见四层含煤层。

② J_1^5煤层顶板为粉砂岩、细砂岩、局部为泥岩，顶板因煤层自燃而破碎，呈灰白色调条带，尤以南翼清楚。煤层顶部有一标志层：灰白—黄灰色厚层中粗粒砂岩，地貌上呈延续性较好的尖棱状山脊，以此判断煤层位置。

③ J_1^7煤层顶板为炭质页岩、深灰色泥岩和粉砂岩，底板为浅色粉砂岩，呈灰白色调，断续细条纹条带状。

④ J_1^{10}煤层顶板为粗砂岩、含砾粗砂岩，形成连续性较好尖棱山脊。煤层自燃严重，呈白色细条带，底板为粉砂岩、粉砂质板岩。

⑤ J_1^{12}解译标志不甚明显。

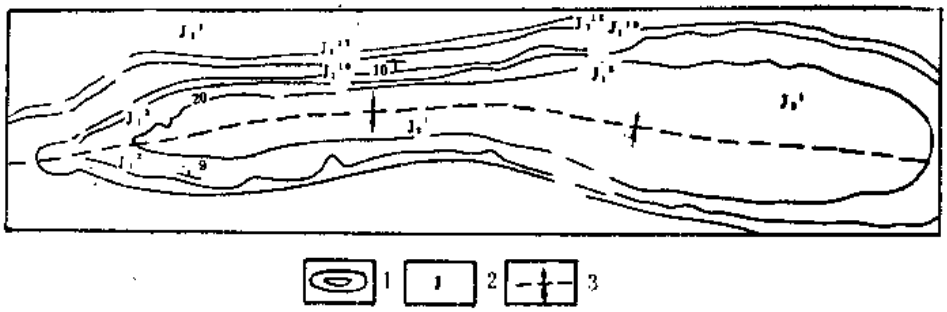


图 8-2 新疆某地向斜构造航空像片解译示意图

1.地层界线；2.侏罗系；3.向斜轴部

⑥ J_1炭质泥岩主要出露在图像边缘，为灰黄色砂岩夹紫红色泥岩。多为第四纪堆积物覆盖，色调较浅，基岩出露部分可见层理。

4. H23-24

我国甘肃省西北部某地叠加褶皱图像。该区地形较平缓，出露下二叠统哲斯群下段粉砂岩、细砂岩和灰质砂岩，中段细—粗粒长石砂岩夹砾岩、粉砂岩、粉砂质页岩及灰岩组成以及下志留统里山组炭质硅质板岩、石英岩及粉砂岩夹钙质板岩组成。图像上清晰可见先期褶皱核部岩层被后期褶皱叠加改造，再次弯曲，双重叠加的转折端所展现的弯钩状圈闭图形，外部岩层围绕其分布，以不同色调不同宽度的岩层条带构成复杂的图形。从褶皱所呈现的图形及产状特点反映后期褶皱轴向为北东东—南西西，具有舒缓波状特征，转折端开阔，较圆滑，向南有逐渐紧闭和尖棱之势。该褶皱被断裂所切割破坏，图像南部被东西向压扭性断裂切割，褶皱构造的南翼被北东向压性断裂切割，图像中部有一扭性断裂，明显将褶曲平移移位，顺时针方向扭动（图8-3）（图版Ⅲ-4）。

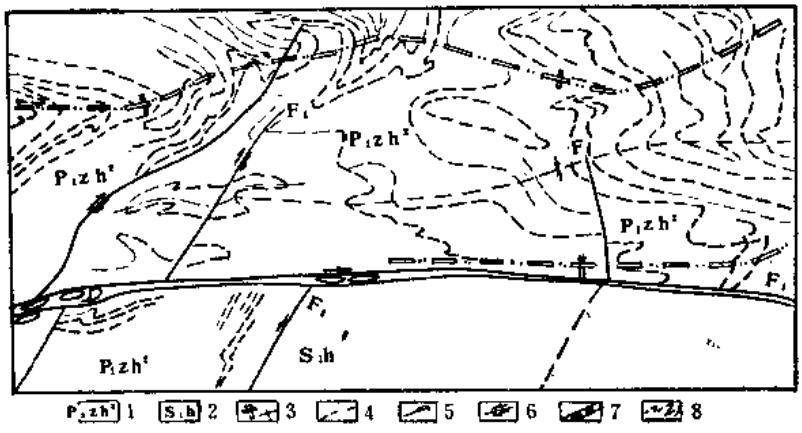


图 8-3 H23-24航空像片解译示意图

（据张楣芙，1987）

1.下二叠统哲斯群中段长石砂岩、砾岩、粉砂岩、页岩灰岩；2.下二叠统哲斯群下段粉砂岩、细砂岩；3.下志留统黑山尖组板岩、石英岩、粉砂岩；4.叠加褶皱轴迹；5.早期褶皱轴迹；6.压剪性断层；7.扭性断层；8.构造透镜体

5.地球资源卫星像片图集襄樊幅（392）

该幅位于湖北西部地区，在图像的南部有一明显的椭圆环状构造，轴向近南北，它是

穹窿构造。地质上是著名的黄陵背斜。背斜核部由元古宙片岩、片麻岩夹大理岩、石英岩和吕梁期侵入的花岗岩和闪长岩组成。穹窿的四周由元古宙至三叠纪地层不整合叠加其上。环状构造的东部还有一个轴向北西向的环形构造，它是中生代向斜盆地，由三叠纪至侏罗纪地层组成，核部为侏罗纪地层。黄陵背斜的北部有二条北东东向线性断裂，它切割了元古宙地层。二条北东东向断裂之间有二个穹窿和一个短轴背斜组成，短轴背斜向西已出图幅。它们的核部都由元古宙硅质条带状白云岩、灰岩与砂岩、砾岩、板岩互层组成。图像东部主要由上白垩纪地层和第四系组成，有零星元古宙和古生代地层出露。(图8-4)。

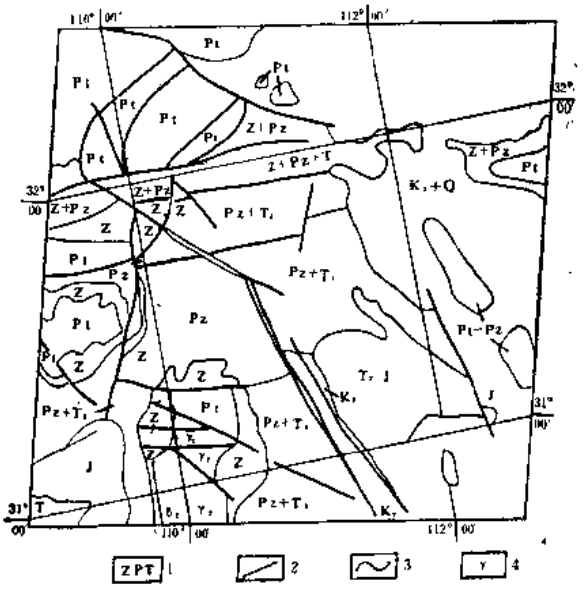


图 8-4 陆地卫星襄樊幅地质解译示意图

1.地层代号；2.线性断裂构造；3.地层界线；4.花岗岩

6. 胶东某地红外航空像片

它位于山东省的南部。图像上可以见到清晰的褶皱，它是由中生代白垩纪黄绿色粉砂岩和紫红色粉砂岩组成。褶皱影像一半裸露地表，一半被断裂切割下陷被第四纪堆积物覆盖，但在红外图像上能见到其形态特征，其影像十分隐晦。可以从下列几个方面观察：（1）根据色调、水系和地形等标志划分影像地层单位；（2）分析出各条带弯曲变形特点，确定褶皱的形态和褶皱类型；（3）解译褶皱构造与断层之间的关系；（4）注意解译隐伏于第四系下的褶皱构造形态，并分析岩层影像显示的原因。

三、练习

1. H-182航空像片

它是我国四川东部某地褶皱构造。它由三叠纪、侏罗纪地层组成，东部为南东翼岩层产状较陡，北西翼产状较缓，形成斜歪背斜，西部为南东翼缓而西北翼较陡的斜歪向斜，其轴向北东-南西走向。倾伏端和扬起端以及它们的转折端都很明显，褶皱轴面倾向北西。在西北角有一北北东向断裂切割了煤系地层，使地层的条带变窄。

附地层层序及主要岩性：

J_3（重庆统）：泥岩夹砂岩。

J_2（自流井统）：泥岩、泥灰岩及砂岩。

J_1（香溪群）：砂岩夹页岩的煤系地层。

J_c（嘉陵江统）：白云质灰岩、灰岩、泥岩和角砾状灰岩。

T_3（飞仙关群）：以紫红色页岩为主夹粉砂岩，近底部为一套灰岩。

解译步骤：

（1）建立岩石地层条带的解译标志，合理划分影像地层单元，可对应五个组的地层岩性划分五个影像地层单元；

（2）根据岩层对称性，确定中心核部地层，从核部地层向两翼解译影像地层单元界线，同一影像地层单元在两翼应具相同的标志；

（3）分析影像地元单位对称重复出现的规律和岩层条带转折特征，确定褶皱构造的存在；

（4）在立体镜下观察褶皱构造两翼的岩层三角面，目估岩层的产状。

（5）作出解译图，画出影像地层单元界线，标上代号和产状，写出各地层的解译标志。请注意岩层标志与岩性之间的内在联系。

2．陆地卫星忠县幅地质解译

忠县幅位于四川万县地区，该区广泛出露二叠系、三叠系和侏罗系。其岩层成层性良好，岩层三角面极为发育，岩层呈条带状展布，呈北东—南西向延伸（图版Ⅱ-1）。

解译时可以根据影纹特征和岩层条带以及岩层三角面的重复对称性，确定褶皱构造性质和分布范围。根据背斜和向斜的组合关系，确定其褶皱构造类型，并参照地质图检查解译成果（图8-5）。

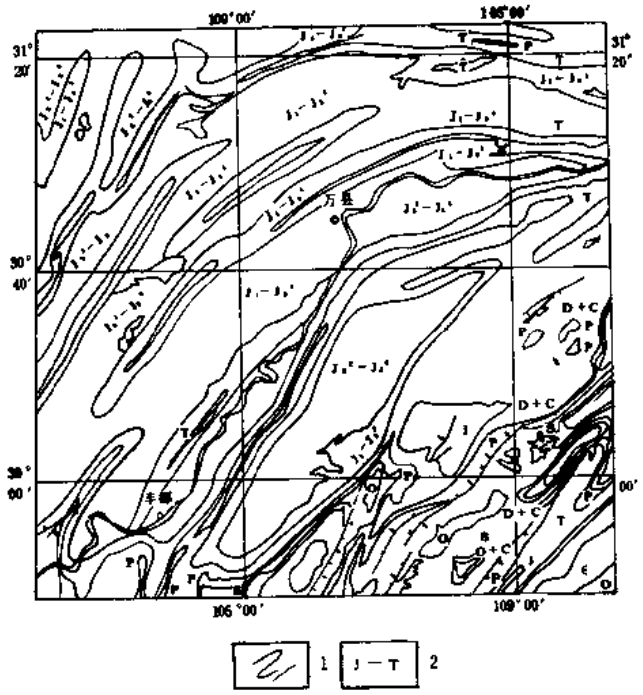


图 8-5　四川万县地区地质示意图

1.地层界线；2.地层代号

实习九　断裂构造图像解译

航卫片上对断裂构造解译是比较理想的。它常以构造地貌特征显示，使图像直观、清晰。在大比例图像上对节理、剪切带、片理、挤压带等构造形迹都有比较好的显示。在小比例尺图像上对区域性断裂性质、规模和分布规律以及断裂切割关系，以至隐伏断裂构造都能得到显示，这是一般常规地质工作方法难以做到的。

断裂构造解译时应该以断裂标志为依据，从已知断裂或典型断裂构造着手，推测未知断裂的性质、规模和分布范围。了解和分析表层构造与深部构造的关系，不同断裂的组合特征，活动断裂构造与深部隐伏构造的影像特征。尽量解译其生成顺序以及与岩体和矿化的关系，从而总结区域构造特征。断裂构造在图像上常以线性构造显示的。不同的线性构造形态和组合特征，代表着不同的断裂性质、规模和受应力的强度，因此在解译遥感图像时充分利用线性构造的特征进行分析和推测断裂构造。

一、断裂构造的解译标志

断裂构造标志很多，解译某一断裂构造可以用某单一标志去识别，更多情况下是用多种标志或综合标志去识别。特别是多期活动的叠加构造、大型断裂、深部断裂或隐伏断裂等用单一标志解译容易引起误差，往往应用综合标志进行分析和判别效果较好。断裂构造的

表 9-1　断裂构造解译标志简表

标　志	断 裂 标 志 主 要 内 容
色　调	遥感图像上出现各种直线状色调异常，线状色调呈条带时，常是大断裂或破碎带。第四纪覆盖区线状色调差异是隐伏构造标志
地　貌	断层崖呈线状分布，并延伸一定距离。山前洪积扇呈方向性排列。线状沟谷平直呈线状，延伸远，连续性好，河谷深切呈线形、湖盆、断陷盆地、沼泽、漏斗、坡立谷、洼地、岩体、火山口和火山锥呈方向性、断续有规律性排列，是判别断层的重要标志，也是识别隐伏断裂的重要标志。由于地震活动引起的地裂缝、线状分布的喷沙口、冒水口等都是判别活动断裂构造标志。不同地貌单元相截或接触部位呈线状分布，背斜山向斜山和条带状山脊突然中断，由岩墙、岩脉等地质体有规律的排列或突然中断等。
水　系	格子状水系、角状水系、河流的拐点、分流点、汇流点等异常点或河流由宽变窄、直流段、异常弯曲段等呈线状排列。地下水溢出点或泉的方向排列，水系密集或稀疏或水系类型呈线状排列，水系的变异点呈线状排列。
影　纹	密集的微细线纹呈方向性或带状分布、地层条带的花纹结构不协调的重复出现或缺失，影纹突然中断、线性组合成人字型或牵引褶曲影纹，由构造挤压形成透镜状菱形状或不规则块体等影纹
植　被	植被稀少带或茂盛带，有规律分布 植被生长异常带如植被中毒引起树叶枯萎或叶绿素下降等
综合景观	断裂两侧的色调、地貌形态、水系、影纹、植被等综合景观的差异
其　它	地球物理磁异常、重力异常的梯度变化带、异常曲线扭曲带等，地震活动带

常见解译标志见表9-1。

二、断裂构造图像特征分析

1. H-164航空像片

它是我国四川东部典型构造像片之一，在图像中部有一明显的椭圆环形构造，这环形由环形节理形成，环形的长轴呈北东东—南西西向。从形态特征分析环形构造北陡南缓呈歪斜背斜。由于背斜核部的张裂被流水切割呈V形谷，显示一个似穹窿状环状的影纹特征。环形的南北两侧有花斑状影纹，它是岩溶地貌特征。这个环形构造在地球资源卫星像片图集神农架幅（391）上也有显示，呈小的环形影像。根据地质资料证实，背斜的核部是由二叠系至志留系的页岩和灰岩组成，背斜的两翼是由三叠系中统灰岩和白云岩组成以及下统泥岩和页岩等组成。在航片上还能见到一条北东东向压性断裂，分布在背斜的核部，在河流的东侧最明显，断层面向南东方向倾斜，倾角陡，断裂的南盘向北逆冲，北盘受到挤压，断层面呈微微波状，似飞鸟形，故它是压性断裂（图版Ⅲ-5）。

2. H-1568、1569航空像片

它位于我国西南某地。图像上山脊前端发生方向性转折，其转折点在同一方向线上，呈北西向展布。根据弯曲形态特征可以判别它是顺时针方向扭动，它是扭性断裂。在图像的西南部河流发育，河谷发生异常弯曲如呈直角状等，其展布方向为北西向，它与洪积扇中的冲沟方向一致，推测这部位也有一条隐伏的北西向断裂。

3. H-39航空像片

它位于我国贵州西部。断层发生在三叠系砂岩中，砂岩岩层走向呈东西向，倾向北，倾角40°—50°，在图像的南部可以清晰见到东西向断层的三角面向北倾，角度较陡，断层的北部下降，南部上升，故属正断层（图9-1）。在该图像上还发育两组扭性节理呈“X”形，分布在图像的中部，以折线状或锯齿状呈现（图版Ⅲ-6）。三叠纪飞仙关组灰岩等色调呈灰色，冲沟发育，有岩溶地貌；而三叠纪永宁镇组泥灰岩等呈浅灰色、块状、冲沟不发育。

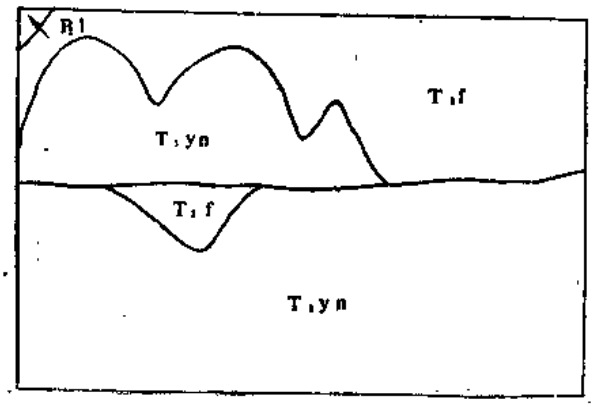


图 9-1 H-39航空像片地质解译示意图

T_2yn永宁镇组：泥灰岩、灰岩夹页岩；T_1f飞仙关组：灰绿、紫红色粉砂岩、泥岩夹灰岩；P_2l龙潭组：煤系

4. H-178航空像片

我国新疆维吾尔自治区某地扭性断裂，在图像上可分为两大影像特征，东南部由泥盆纪火山岩，混合岩化强烈，局部有混合岩、岩脉。在图像上色调呈灰—浅灰色，色调很不均匀。基岩北东向和北西向两组节理发育，形成似菱形树枝状水系。在图像的西北部为中下石炭纪混合岩，大部分被第四纪覆盖。色调浅，基岩受风蚀作用破坏呈网状丘陵地形。在它们之间有一条线状河流呈北东向线性构造穿越，线状河流平直，有首尾相接的直角弯曲，断层崖发育。在立体镜下观察其断层崖向北西倾斜，说明南东盘上升，而北西盘相对下降，因此，该断裂是扭性断裂。

5. 3575航空像片

它是我国甘肃西北部某地活动断裂，图像上西北部是由海西期中粗粒花岗岩组成，东南部是由二叠纪碎屑岩夹火山岩组成，它们之间是断层接触，断层线很平直，其走向呈北东45°展布。断层两侧影像特征十分不同，西北部花岗岩以浅灰色、花斑状影纹和树枝状水系显示；东南部二叠纪碎屑岩以灰色的条纹条带呈现，其展布方向为北东向，平行树枝状水系。在断层的两侧水系呈直角状，河流由窄变宽又变窄。洪积扇和河漫滩被断裂错移，有明显的色调差异，说明这条北东向断裂自第四纪以来仍有活动，它是一条活动断裂（图9-2，图版Ⅳ-1）。

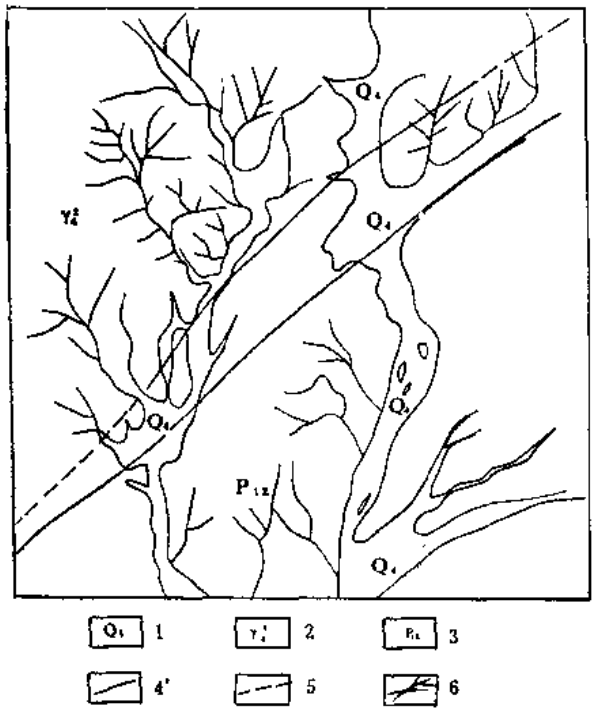


图 9-2　03575 航空像片地质解译略图

1．第四纪；2．花岗岩；3．碎屑岩夹火山岩；4．断层；5．推测断层；6．河流

6．H-473航空像片

我国西北部辫状河流，它呈线状分布，展布方向呈北北东向。在图像上可以清楚见到河流发生多次变迁、河流的古河道与现代河道近似平行，呈北北东向展布，古河道牛轭湖不发育，说明河流下部有隐伏断裂，断裂的活动控制了表层河流的流动，形成现今的面貌（图版Ⅳ-2）。

这种现象在我国中下游地区也是十分明显的。古黄河的变迁中部分流径都是沿断裂流动的。如河南兰考至山东梁山—微山一带，黄河的古河道部分受活动断裂控制。

7．陆地卫星图像沂水幅（309）（图版Ⅳ-3）

它位于山东南部，我国著名的郯庐断裂是该图像的主要影像特征。在图像的中部有四条平直的，延伸长的压扭性大断裂，它们主要标志是在断裂的两侧色调有明显地差异，水系呈角状或倒钩状水系，它的东部沿断裂有花岗岩侵位形成环状构造。断裂呈北北东向线性展布，四条线性断裂将山地切割形成两堑夹一垒的地形。地堑主要由白垩纪砂页岩组成。地垒由太古宙片岩、石英岩和大理岩组成。在图像的西南部还能见到二条北西向断裂切割了太古宙地层，形成断隆地貌特征。西部由古生代碳酸岩类和碎屑岩组成，树枝状水系，与其它时代地层的水系类型绝然不同。古生代地层发生了褶曲，并被北东向和北北东向线性断裂所切割。它的北部有新生代第三纪玄武岩喷发，小型环状放射状影纹较清楚，图像的西北部是由中生代侏罗纪火山岩组成，地形较平缓，色调较均匀，有粗糙感（图9-3）。

8．陆地卫星图像成都幅（416）（图版Ⅳ-4）

我国四川成都市位于四川盆地西部。图像西部是成都平原的龙门山地区，构造复杂，在图像上的北北东向和北东向线性断裂构造都被第四纪冲洪积物覆盖，线性影像比较隐晦。图像中部深色的条带状山体，它是龙泉山背斜，有隐现的褶曲构造。它的东南角有深

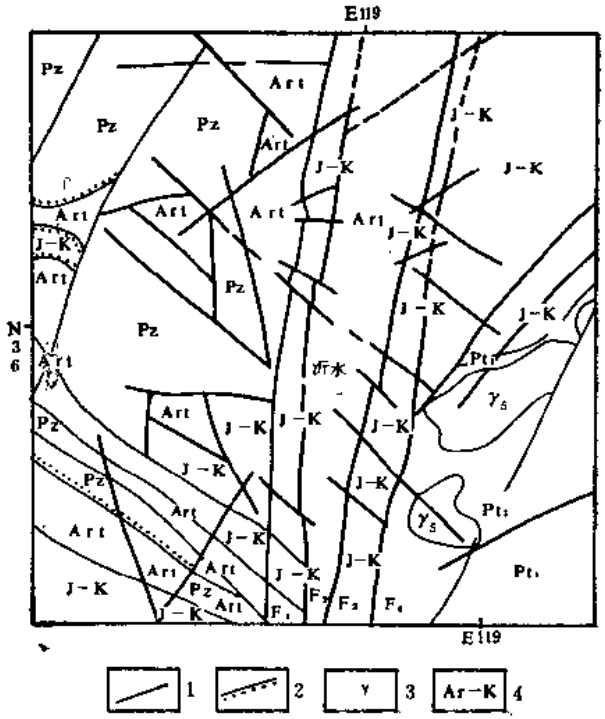


图 9-3 陆地卫星图像沂沐断裂中段地质解译示意图

1. 线性构造；2. 不整合界线；3. 花岗岩；4. 地层代号

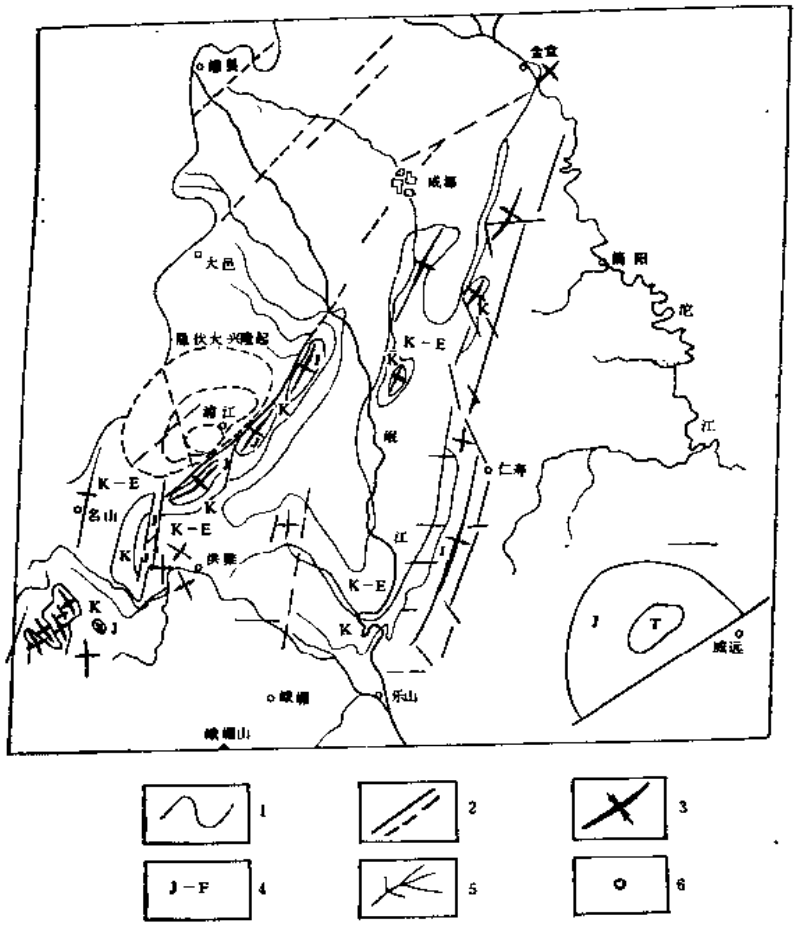


图 9-4 陆地卫星图像成都幅地质解译示意图

1. 地层界线；2. 线性断裂构造；3. 向斜构造；4. 地层代号；5. 水系；6. 居民点

色半圆形的影像，是一穹窿构造，即威远穹隆。它被北东向断裂所切割。图像的西部有一条北西向深色条带呈北东向展布，条带的色调和影纹对称出现，它是熊坡背斜。该地区的背斜和向斜除威远穹窿构造核部由三叠系组成外，其它背斜和向斜都由侏罗纪砂岩、泥岩互层组成。在龙门山与龙泉山之间都被第四纪沉积物覆盖，仅在西部山麓边部有少量的白垩纪砂砾岩层，在图像上色调有深有浅，不易辨别（图9-4）。

在北部第四纪沉积物覆盖区，可以通过色调的差异分析四条北东向隐伏断裂，影像十分隐晦。在灌县附近有一条北东向隐伏断裂十分清晰，并将龙泉山体错断（图9-4）。

在熊坡背斜西北侧，有一隐现的椭圆形环状构造，具有同心圆状的色调差异，是一隐伏的穹窿。图像上可见有二条隐伏断裂切割了它。一条呈北北西向，另一条是北东向，北东向切割了北西向断裂，都是直线形扭性断裂。

三、练习

1．航空像片 H58-59

它位于内蒙古自治区的中部地区，图像上海西期闪长岩和辉长岩脉侵入到元古界白云鄂博群的石英砂岩和灰岩中。线性构造和环形构造比较清楚，请根据图像形态特征、色调等将线性构造和环形构造的分布勾绘成图。根据线性断裂的形态组合特征，分析断裂的类型。鉴别图像中的环形构造是岩体还是褶皱构造，为什么？（图版Ⅳ-5）。

2．航空像片 K-12254-55

它是我国西北某地。图像特征十分醒目，它是由老第三纪砂岩页岩和灰岩互层组成，构造复杂，图像上岩层条带多次重复不对称出现。在立体镜下观察岩层产状陡，直立。请根据图像上的条带、形态和色调等标志，判别该图像中有几条断裂、断裂的展布方向、断裂的性质和依据，节理和断裂的关系。在山前地带洪积扇发育，根据色调、微地貌形态特征能否判别隐伏断裂？根据图像上的标志能否判别出它是一个复式背斜？为什么？（图版Ⅳ-6）。

3．陆地卫星图像北京幅（202）

它包括华北冀北山地、延庆—怀来盆地、西山—军都山和北京平原，在图像上水系发育，主要河流有潮白河、拒马河。在山区与平原交汇山麓交互地带冲洪积扇发育，房山花岗闪长岩以浅色环形醒目显示在图像上。图像中断裂发育，有东西向、北东向、北西向和北北东向或南北向等五组线性断裂构造，其中北北东向以紫荆关—大海坨断裂最醒目，规模巨大，两侧次一级断裂发育。北西向断裂以大洋河断裂为代表，河流呈不规则的锯齿状流动。东西向断裂属承德—北票大断裂延伸部分，它以平直的沟谷和山脊组成，是本区最老、最大的断裂。

请根据山系的形态特征、水系和色调将不同方向的线性断裂构造勾绘出来，注意它们的相互切割关系。官厅水库地区线性构造的特征，在第四纪沉积物覆盖区，有否隐伏断裂，为什么？

实习十　遥感图像图件的编制简介

一、遥感图像镶嵌略图的编制

将经过粗制校正的系列遥感图像，按地形图幅和制图要求严格拼接成整幅影像图。其方法有切割镶嵌、光学镶嵌、数字镶嵌等。工作中常用的是切割镶嵌。切割镶嵌是将粗制校正后具有重叠的像片，根据控制点或同名影像进行拼接，沿重叠中线附近切割，舍去重叠部分的边条，将中央部分粘贴在图纸上而成整幅像片图。日常工作中一般使用的遥感图像是粗制品未经校正，作镶嵌图时有误差。若定位要求不高时，可按粗制品影像拼接镶嵌编制成镶嵌略图。若定位要求高时，则将遥感图像经过平面纠正或微分纠正后，再根据纠正点拼接镶嵌编制成像片平面图。在地质工作中遥感图像镶嵌略图常用于区域地质构造分析或作为工作设计图。

（一）准备工具和材料

作镶嵌图的工具包括有手术刀或单面刀，直尺、压铁、粘贴材料、略图底板，可用硬纸板、胶合板或铝板、玻璃铅笔、棉花、毛巾、透明胶、地形图等。粘贴材料要收缩性小，不易受潮变质或被虫蛀的粘性物质，一般可用桃胶、乳白胶等。

镶嵌图像要求影像清晰、色调相近、比例尺相同。在镶嵌前首先决定像片逐片镶嵌或隔片镶嵌。隔片镶嵌可以节约像片，但误差较大，特别在山区地形起伏较大时，拼接误差大，常常有地形错断或重复或缺失等现象。逐片镶嵌相比之下误差要小。

（二）编制镶嵌图的方法

镶嵌图制作的关键是使影像拼接误差减小到最小，使影像之间相互连接协调，其制作方法有下列三种：

1．按工作区地形图图幅范围和航空像片比例尺，在粘贴底板上画好图框边线，挑选出与地形图四角相对应的四张航片，找到与地形图四角的同名点，将这四个点固定在底板图框的四个角上，摆正航空像片位置按航带影像重叠拼接。在拼接各航带之间要注意平差，使影像重叠的误差降低到最小，使部分误差平均到全图中。但四角上的四张航空像片不能移动，在全部拼接后，用透明胶带暂时将航片粘贴住，再用刀切去相邻航片的重叠部分。切割时先按航带切割，再切割航带与航带之间的重叠部分。这种方法拼接的航片略图边界线与地形图基本一致，但由于四角或四边的航片已固定，平差时航片的移动受限制，中心部位误差大些。

2．将航片按航带重叠拼接好，然后再将航带与航带之间进行拼接和平差。用透明胶带固定，用刀切割拼接成图。这种方法做出的航空像片略图四框边界可能与地形图不对应，但平差时可灵活移动航片，制作较容易。

3．将航片大致重叠，了解全区航片重叠的概况。将全幅中心的一张航片粘贴到底板的相应位置上，然后拼接上下左右四张航片，边拼接边切割同时又粘贴。由中心向四周放射状向外扩展，将全幅航片拼接完。这样方法制作的航空像片略图中心误差小，四周误差

逐步增大，但制作速度快，一次性完成。

卫星像片拼接镶嵌图与航空像片很相似。由于卫片像点位移量小，影像拼接时误差小，易于拼接。但制作时要选择同时相、色调相似和反差适中的图像，否则镶嵌界线处会出现明显的色调差异。在卫星图像拼接时首先将经纬线表示出来，按经纬度线重叠为主，要注意经线应是直线，纬线应是弧形线。切割时先确定切割线，一般用特种铅笔将切割线画在像片重叠的中心线上，线要呈波状，尽量避开重要的地质要素、重要地物，要斜交线状地物，切割线要尽可能垂直线状地物。波状切割线摆动的幅度不宜过大，一般不超过2cm。切割时要一次性透过重叠的两张像片，切刀略向上层航片倾斜，倾角20°左右，上层像片切出的斜断面可压在下层像片的斜断面上。这样粘贴后美观大方。粘贴像片可全幅一次性粘贴完成，也可以按张逐个粘贴。粘贴前将像片用细砂纸打毛，胶水涂在底板上，将像片对准相应的位置粘贴，并用滚棒在像片上滚动，将多余的胶水和气体挤出，然后压紧等待凉干。最后整饰图框、图名、图例、比例尺和责任表等，在图框四周注上经纬度。

二、水系图的编制

水系是一个流域内各级河流的排列形式。它往往与地质构造和一定岩性及新构造运动有关。遥感图像上作水系能迅速有效地了解某地区的地形、地质构造和区域地质概貌，它是遥感地质解译的基础图件，也是遥感地质解译的主要标志。

（一）水系图的编制

在航空像片略图或卫星像图镶嵌图上，或单张航片和单张卫片上，蒙上透明薄膜直接描绘各级水系。描绘时首先绘出全区最大的一级水系，依次类推描绘完最小一级水系。平原区的河流可根据实际影像特征用多条曲线绘出其河流的特点。较小的冲沟用单线绘出冲沟的中心线。人工渠道可用特殊线条表示。湖泊、海岸线、水库按实际影像的水边线绘出其边界形状。泉、落水洞或水井等可用特殊花纹表示。勾绘水系图时一定注意水系的形态特征、流向、主流与支流的交汇角等。以航空像片略图为底图时，由于拼接线处像点有位移，造成同一条冲沟有错移现象，这时应参照剩余的单张航片在立体镜下观察勾绘水系。最后成图时应注上大河流的名称，绘出图框，标上图名、图例、比例尺以及主要居民点、水库、湖泊等名称。

（二）水系汇水盆地分布图的编制

水系的汇水盆地分布图是为了解区域水系和汇水盆地的分布特征和规律，分析汇水盆地与构造地貌的关系，便利于重砂、化探样品的采集或成果分析。

它以水系分布图为底图，以同一水系流域为单元，以分水岭为界线，绘出不同级别的汇水盆地，划分它们的类型并编制成图，成图时应标上汇水盆地的级别，大河流、水库、湖泊和居民点的名称，最后整饰图框、比例尺和图名、图例等。

（三）水系密度等值线图的编制

水系密度等值线图是了解水系发育程度，分析岩石的含水性、透水性、岩石的结构和断裂的发育程度以及它们的分布规律。

它以水系分布图为底图，蒙上透明薄膜，等间距画上网格线，网格大小按比例尺相应选择，一般在1:2万或1:5万的航空像片略图上，可用$1\times1cm^2$网格。在网格内统计水系的条数或长度等。将统计数值写在网格中央，根据全区统计数值的最高值和最小值，选择线

间距值。勾绘等值线时，用同一等级的数值连接成闭封的曲线，数值与数值之间可用数据插值求得同一级的数值。等值线勾绘时，不允许出现交叉等现象。连线时由最大数值至最小数值逐个固定，最终使一幅水系图转换成半定量的水系密度等值线图。这种方法也可统计水系的交汇点和冲沟的交汇点作等密度图，其方法相同。

三、遥感图像目估转绘方法简介

目估转绘是将影像上的点线转绘到地形图上，它方法简便，速度快，但精度较差。它以航片或卫片略图为底图，可以直接清绘成图，或清绘到与底图相同比例尺的地形图上，也可以在立体镜下解译出点和线，目估转绘到地形图上，使遥感影像地质图成为地质略图。转绘时将影像图上和地形图上的同名点按要求正确地转绘，注意航空像片上点位的位移。在对应点找准时可用徒手转绘到地形图上，也可在立体镜下进行立体观察转绘。充分利用微地貌与地形图的对应关系，确定其位置，或参照同名地物的位置、距离和方位转绘。航片与地形图的比例尺不一致时，要经换算求得一致。要注意航卫片摄影的时间与人文地理的变化以及季节等因素。这种方法容易掌握和操作，基本能满足地质调查成图的要求。

实习十一　遥感图像地质解译实例分析和应用

一、遥感技术在区域地质调查中的应用

遥感技术用于区域地质调查是遥感地质应用中的一个重要方面。填图中应用遥感地质方法可以加快速度，提高质量和加强基础地质研究，使地质调查更科学性和合理性。由于地质环境和自然条件的差异，遥感技术的应用方法有所不同。下面介绍在1∶5万区域地质调查中三类不同岩石类型的填图实例。

（一）胶南地区沉积岩地质填图实例

山东南部为低山丘陵区，沉积岩地层发育，岩石出露良好。根据遥感解译标志，它可二大类，一是下古生界海相碳酸盐岩类为主的海相地层；另一是中生界下白垩统陆相碎屑岩地层。

1．工作原则和方法

应用1∶2.4万彩红外航片和黑白全色航片及TM彩色合成图像（1∶5万1∶10万1∶20万）等图像资料作地质解译基础。以遥感技术方法填图为主，地面地质调查为辅，将图像反映的地质影像信息和解译成果与野外观测资料相结合，在综合分析基础上编制实际有关图件。这样既可保证图幅质量，又能加快填图进度。

具体工作步骤是在踏勘基础上，做出遥感地质解译草图，初步划分影像地质单元，分出解译程度好、中、差三类不同地区。在不同类别的地区上布置疏密不同的观察路线、实测剖面位置和取样位置和重点观测地段。填写解译卡片、表格、编出各种地质解译图件。在填图过程中反复解译和修正解译成果，达到提高质量的目的。

2．解译效果

在胶南地区下古生界海相沉积地层层序清楚、标志稳定。在图像上可划出15个影像地层单元。大部分标志清楚界线明显，是勾绘地质界线的主要依据。部分界线应用标志层和野外地质点结合用内插法连图，可以提高填图精度要求。部分岩层产状可在立体镜下测定，特别在褶皱变形和断层改造或破坏时，应用航空像片的地层标志进行连图，可以超过常规方法连图的精度。

该区白垩系划分三个群，即莱阳群、青山群和王氏群。青山群为火山沉积岩，它的解译效果较差，但从航卫片解译结果表明，它是多个火山中心喷发形成的，图像上影像明显火山机构呈环状，根据影纹特征可将火山碎屑岩、火山熔岩和次火山岩区分。莱阳群和王氏群由碎屑岩组成，层序不稳定。王氏群岩相变化大，单纯从地表点或观察线上进行研究是不可能真实反映的。由于这两个群岩性差异大，在彩红外航片上显示出十分明显的影像差异。因此工作中利用彩红外图像来追索莱阳群和王氏群的界线，真实准确地将它们各自的岩性界线、岩相变化和空间分布规律反映到地质图上，成为基础地质研究中可信的实际

资料。

（二）胶东地区岩浆岩地质填图实例

胶东荣成地区是低山丘陵区，大面积出露中生代燕山期伟德山深成岩体。

1．工作原则和方法

应用1：3.6万全波段黑白航片和1：20万TM彩色合成图像为基础，根据图像的可解程度和自然地质条件以及填图要求，制定岩浆岩填图工作方法。填图方法的原则是以地面地质调查为主，遥感图像解译为辅，在解译程度较高的地段适当放稀野外路线，对有地质意义的地段做图像处理，突出岩体特征、岩体蚀变带、岩体的接触关系等。野外调查前，在1：20万卫星图像上，做全区区域构造解译，将伟德山岩体不同的形态特征划分不同的影像地质单元。然后在立体镜下解译各单元之间的关系，小侵入体、岩脉和断裂构造之间的关系等。详细填写解译卡片，勾绘出岩浆岩解译草图。填图时根据实测资料，反复对照和修改解译成果。在室内连图时各类岩性点、构造点的连线均以航空像片或卫星图像上的标志为准。

2．填图效果

在彩色合成图像和TM图像上伟德山岩体呈半圆形，其长轴方向为东西向，边界清晰。根据影像分析伟德山岩体内部可划分四个同心圆的影像地质单元和一组东西向线性分布的岩脉群。经地表调查与实际划分的伟德山超单元深成岩体的四个单元的形态分布和影像十分吻合。这四个单元由外向内它们是：第一个单元在岩体的北部和西部发育较好，卫星图像上岩体呈淡红色、地形平坦，大的沟谷稀疏，是由中粒石英二长闪长岩及石英二长岩组成。第二单元在卫星图像上呈灰绿色、地形平坦，冲沟较稀疏，由斑状二长岩组成。第三单元在卫星图像上呈淡粉色、水系发育，树枝状水系，由巨斑状二长花岗岩组成。第四单元在岩体中部，呈红色，地势高陡，植被十分发育，冲沟密集，由石英成分较高的中粒二长花岗岩组成。这些解译成果对指导野外填图和岩体单元的划分起了十分重要作用。

（三）辽北地区变质岩地质填图实例

辽宁北部抚顺地区大面积分布太古宙中高级变质岩系。区内植被发育、残积物覆盖较厚，地质工作比较艰难。

1．工作原则和方法

应用1：4.5万黑白全色航空像片和单波段TM放大图像等资料作为填图的基础。该区地质和自然条件都很差，所以工作中以常规地质填图方法为主，填图准备工作时，将遥感图像详细解译，提出有效信息和问题，增强野外工作的目的性，提高效率和提高填图质量。因该区植被覆盖严重，解译时充分应用遥感图像的水系形态、地貌特征和影纹结构等标志，结合地球物理资料从构造解译入手，进行线性构造、环形构造等综合分析，将全区太古宙地层划分若干影像地质单元和不同的构造形迹（图11-1）。

2．解译效果

本区可划分二大类影像单元和三类不同的构造形迹。二大类影像单元是：填图区西部的线性影像单元，主要由太古宙中细粒黑云母角闪斜长片麻岩组成的上壳岩，原岩是成层的火山岩经强烈变质变形改造，使该岩性组成的山脊、河谷、冲沟的走向具有明显的定向性，呈北西向展布。在航空像片和卫星图像上表现为北西向展布的树枝状花纹条带定向分布。另一影像地质单元是东部的环形影像地质单元，它占全区三分之一，主要由黑云母长

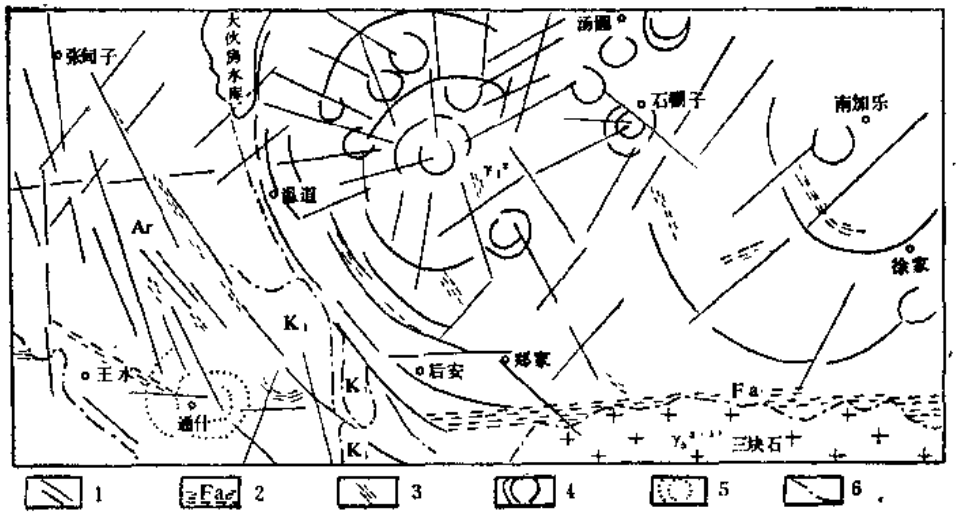


图 11-1 辽宁省抚顺地区张甸子—郑家堡子幅地质构造解译示意图

1．线性构造；2．糜棱岩带；3．变质岩面理走向；4．环形构造；5．隐显环形构造；6．影像地质单元界线；K_1：下白垩统；Ar_1：太古宙变质上壳岩；$\gamma_5^{3(1)}$：太古宙变质深成侵入体；γ_6：中生代花岗质侵入岩

英片麻岩、角闪长英片麻岩和辉石长英片麻岩组成的太古宙深成侵入岩体。该单元地貌地势高陡，地形破坏强，山脊和水系呈环状和放射状。在航卫片上呈明显的环状或块状影纹。

三类影像构造形迹：它们是（1）线性构造、在西部区上壳岩条带状线性是多期变质和晚期脆性断裂叠加的构造形迹、（2）由韧性变形带构成线纹构造形迹、（3）深成侵入体形成大型环状构造形迹。在岩体侵入的边部常有线纹构造形迹，后期岩体的侵入形成大环包小环的环形形迹，充分反映出深成侵入岩的图像特征。通过遥感图像解译和综合分析提高了填图质量，加强了基础地质研究。

二、遥感技术在矿产普查中的应用

遥感技术在矿产普查中的应用已见成效。它常常作为一种重要的手段与地质调查、地球物理和地球化学等找矿方法相结合，进行综合找矿，预测矿床远景区。因此，它是目前世界各国找矿方法之一。它的应用主要有下列几方面：

（1）通过线性构造解译分析区域构造，将它与局部构造相对比，查明新的找矿构造信息。

（2）利用环形构造特征，查明岩体、穹隆、构造盆地和古火山等分布规律，寻找蚀变带、矿化分布与上述地质体之间的空间分布规律。

（3）利用多时相、多类型遥感图像，查明隐伏构造、深部构造和隐伏盲矿体分布的规律。

（4）以地质资料为基础，利用遥感图像上的各种特征数据，与地球物理和地球化学等数据相结合，经过数理统计分析或计算机图像综合处理，提取综合找矿方面的信息和数据，作为矿产预测中的重要依据。

下面仅例举二个实例，供作参考。

（一）利用航空遥感图像研究北京北部石窑地区地质构造特征及成矿预测

北京北部石窑地区大地构造位置处于华北地台燕山台拆带西端，怀柔穹断中部。具体工作范围属于大地石窑倾伏背斜的核部，轴向北东，向南西倾伏。

工作中使用1：18000航空像片和1：20万卫星图像，在重点区进行了计算机图像处理（简称CIP），获得大量有用地质信息。工作方法上以目视解译影像特征为主，结合CIP图像，综合运用化探资料，提取本区主要断裂和隐伏岩体的信息，为寻找盲矿体提供确切依据。

本区遥感图像的影像特征可分为三大类，它们是锯齿状条纹形影像、短线状或短线波状影像和环状影像。①锯齿状条带状影像是褶皱构造影像特征。它以中元古宙雾迷山燧石条带状白云质灰岩和中侏罗统火山岩系组成。前者菱格状水系，色调呈灰色、条带明显，后者稀疏的树枝状水系，色调呈灰白色。它们在地貌上都显示单面山或猪背岭。锯齿状条纹向北东方向变宽，向南西方向凸出，形成弧形条带纹形影像。在弧形弯曲部位水系呈似月牙形，显示出岩层条带的褶曲转折端、条带上有大小不同的岩层三角面，条带的东南面向东南倾斜，倾角较缓条带的西北面向北西倾斜，倾角较陡，形成一个向南西倾伏的不对称背斜构造。侏罗纪火山岩以条带状斑状纹影叠加在雾迷山灰岩之上，呈不整合接触。②短线状或波状影像是断裂构造影像特征。根据线性构造组合型式它可分为四种类型的线性纹形影像。a．帚状线性纹形影像，它分布在石窑背斜的轴部和两翼，在各类图像上都以三组线性断裂组成的帚状纹形显示。由北向南它们是北东30°左右分布在石窑背斜的北翼；北东40°—50°分布在石窑褶皱构造的轴部；北东70°—80°，分布在背斜的南翼。这三组线性纹形的延长方向都交汇在石窑背斜的转折端附近，在图像上形成似帚状线性纹形影像。b．斜列式细线条状纹形影像。它主要分布在背斜的轴部，两翼和转折端处，呈斜列式或“X”形。是由北西向和北东向节理或断裂组成，在背斜的转折端显示有较密集的撒开的似平行树枝状水系，它组合成一种撒开的弧形影像，从而显示出背斜构造特征。c．断续的短线状纹形影像，它很不规则分布在图像的中部和南部。这种短线状是由角状水系、陡崖或山的鞍部显示，它被其它线性切割呈东西向断续分布，这种影像是古老东西向断裂显示。d．倒钩状线性纹形影像，它分布在背斜南部、倒钩呈北西西向线性排列。唐山地震前夕，冒黑水，并有滑坡等不良地质现象，是活动断裂标志（图11-2、11-3）。环状纹形是本区侵入岩影像特征。环状纹形影像主要类型有放射状、钳状、环状纹形影像，半圆形环形纹形影像和不规则状环状纹形影像。前几种纹形影像主要分布在石窑背斜的核部；后二种纹形影像主要分布在背斜的两翼，常常出现在斜列式细线状影像的交叉部位。可以认为，这种环状纹形影像是受线性构造严格控制的结果。这些环状影像主要是花岗岩、花岗斑岩、英安岩和流纹质角砾熔岩的显示。因此这些环状纹形影像与岩浆活动和古火山活动密切相关（图11-3）。

根据带状纹形、线状纹形和环状纹形影像的组合和本区化探资料以及野外验证结果，可以得到下列结果：

1．本区控矿构造与北东向的帚状线性构造影像特征有关，成矿构造则与北北东或北北西的斜列式线性构造影像和环状构造影像密切相关。在帚状线性构造与环形构造的交叉部位是断裂构造和酸性岩浆岩的发育部位。在这些部位上铅、锌、铜、钼异常较高，如石窑涝洼。

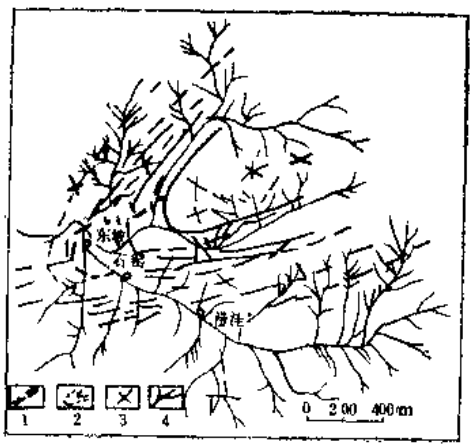


图 11-2 线性、水系褶皱构造示意图
1．线性构造；2．褶皱构造；3．节理和断裂；4．水系

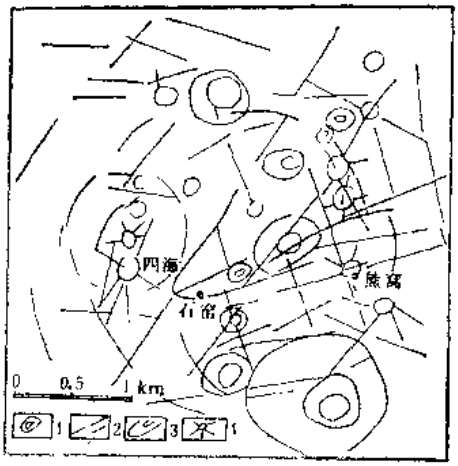


图 11-3 北京北部石窑地区 5/4、7/6、7/5比值增强图像解译图
1．环形构造；2．线性构造；3．条带状褶皱构造；4．似古火山口

2．在弧形条带转折端附近，放射状的线性断裂发育，在转折倾伏前端，有隐伏岩体存在。它在图像上呈环状纹形影像和花斑状蚀变纹形影像特征，为本区铜钼等矿化有利地段，也是盲矿体赋存的有利部位，例如庄户附近有明显的环状和花斑状纹形是蚀变带标志。钻孔资料证明在地表几十米以下有黄铁矿化，是寻找钼的有利地段。

3．在大环形构造与小环形构造的交界线附近，伴随着放射状的短线性纹形影像。它们呈条带状成群分布，是古火山口附近的影像特征。这种影像在图像中有七处，经过验证四处，其结果是：一处是火山集块岩，二处是火山熔岩，一处为角砾熔岩，后三处都有不同程度钼矿化。

（二）遥感增强图像在变质岩地区构造特征研究和找铁矿中的应用

我国冀东迁安地区是太古宙古老变质岩系发育的地区，也是我国变质铁矿主要基地之一。该区古老变质岩系以深变质的麻粒岩相为主，由麻粒岩、片麻岩、变粒岩和磁铁石英岩组成，岩性普遍受混合岩化作用。此外，还出露有元古宙碎屑岩，局部出露第三系砂砾岩、第四系砂砾岩层等（图 11-4）。本区经受了多期的变质作用和构造变动，使古老的基底遭受到强烈的变形，褶皱形态以紧密的同斜褶皱和不谐和褶皱为主，褶皱轴向呈北东向和东西向展布。由于后期断裂切割和破坏，使变质岩系的构造面貌难以识别（图像参看地球资源卫星像片图集唐山幅（204））

根据变质铁矿带状分布的特点，利用多波段、光学增强和计算机图像处理等影像，突出和提取与变质岩系和铁矿层分布有关信息，用变质构造的原理，探索变质铁矿层的分布规律，总结出本区变质铁矿层的分布是受古断隆构造所控制。

本区遥感图像增强处理方案选择依据主要根据地质体的波谱曲线特征（图 11-5）。按照曲线特征可分三类：第一类沉积岩反射率高，第二类变质铁矿层反射率次之；第三类变质岩系反射率最低。这三类岩石在 4 波段图像上差异较大，因此用 5、7 波段突出岩性和构造、4 波段突出变质铁矿层与围岩之间差异，收到较好效果。

不同地质体的不同波段光谱反射比有差异，不同地质体的 7/4、5/4、6/4 比值都有比较明显的差异，而不同地质体的 6/5、7/6、5/7 比值差异较小。因此用 7/4、5/4、6/4 比

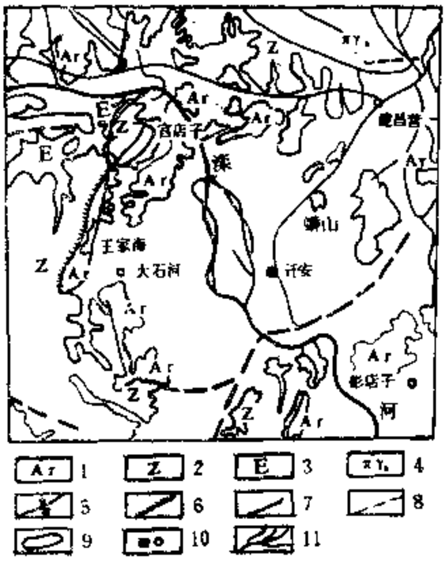


图 11-4 冀东迁安地区地质略图

1. 太古宙变质岩系；2. 元古宙碎屑岩；3. 第三系砾岩；4. 花岗岩；5. 背斜构造；6. 不整合界线；7. 断裂构造；8. 推测断裂构造；9. 地层界线；10. 居民点；11. 河流

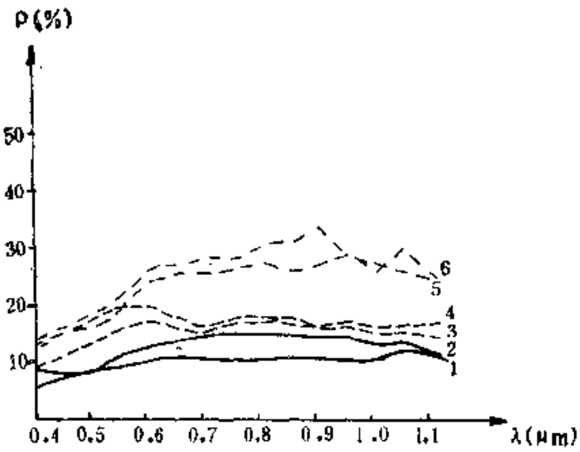


图 11-5 冀东迁安地区不同地质体波谱反射率曲线图

1. 黑云母片麻岩；2. 黑云斜长角闪片麻岩；3. 磁铁石英岩；4. 片麻状磁铁石英岩；5. 石英砂岩；6. 元古宙底砾岩

值与其它比值组合可以显示岩性差异的组合进行假彩色合成，其结果对岩性和构造特征的显示有好效果。用4/4+5+7、5/4+5+7、7/4+5+7,突出磁铁石英岩的空间分布范围，并揭示出本区含铁变质岩系与围岩的关系以及隐伏构造的分布规律。用密度分割突出微地貌，揭示出隐伏构造特征。

根据上述增强图像影像特征，结合地面地质工作、地球物理和钻探等地质资料进行综合分析和研究，本区地质构造特征和变质铁矿带的分布规律有下列几个方面：

1. 迁安地区存在一个较大的环形构造，其核部在迁安—迁西一带，轴向呈北北西向，长轴约 40 km，短轴 30 km，其平面形态似椭圆。大环的四周有小环相切，在核部环套环。环形构造被后期不同方向的线性构造所切割，形成菱形块体。环形构造中有紧密褶曲形态特征恰是含铁石英岩和变质岩系的图像特征。图像上不同彩色斑点或斑纹是含铁变质岩系在地表的残丘，或是隐伏的含铁变质岩系地表下的位置显示。这类特征与磁异常完全吻合（图 11-6)。经野外查明证实，在环形构造的北侧变质岩系走向北东东，倾向北西；在西侧走向为北东至北北东向，倾向北西—北西西向；环形构造南侧残丘的分布呈条带状，残丘岩层走向呈北西西向或北东东向，倾向南西或南东；环形构造的东部，被一系列北东向或北北东向线性构造切割。这样在图像上形成了一个断块式的环形，它就是迁安古断隆构造。根据赵店子附近钻孔资料证明，图像上的斑纹附近在地表下 64 m 和 123 m 处有磁铁石英岩 3—4 层，最厚可达 20 m，最薄只有 2 m。因此迁安环形构造是与变质铁矿有关的古断隆构造密切相关的。

2. 根据图像上反映古断隆构造条带分布规律，可分为三个环带即内环带、中环带和外环带（图 11-7)。在这三个环带上存在有较富的变质铁矿。环带被断裂切割，在断裂边缘，由一系列复式条带褶曲组成背斜和向斜，在图像上呈似小环。在地貌上向斜呈垅状山

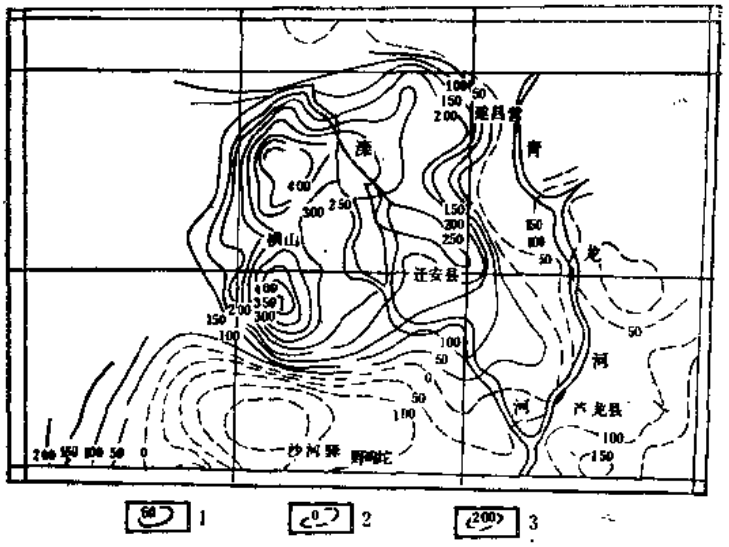


图 11-6 冀东迁安地区航磁垂直磁化 ΔT 等值线平面图
（向上延拓 2000 m）
1. ΔT 正值等值线；2. ΔT 零值等值线；3. ΔT 负值等值线（单位：r）

地，背斜呈凹槽谷。在图像上形成垅槽相间的环状弧形条带。变质铁矿大都赋存在向斜中，向斜北部扬起，基岩出露地表，南部倾伏于地表下。因此迁安古断隆环形构造是本区寻找隐伏变质铁矿的远景地段。

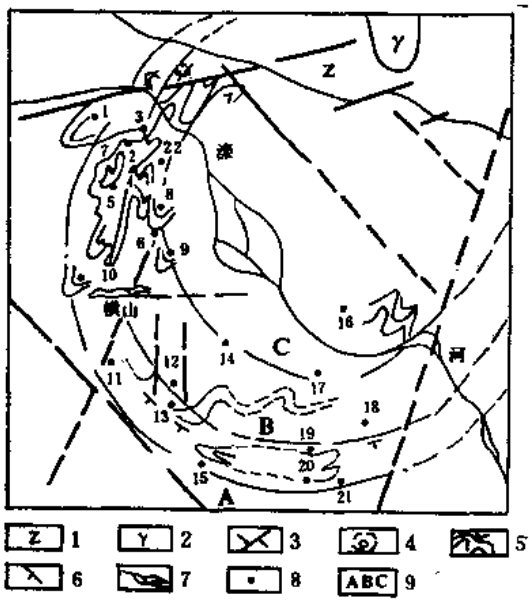


图 11-7 线性、环形、条带状构造与古穹窿关系综合示意图
1. 元古宙碎屑岩；2. 花岗岩；3. 线性断裂构造；4. 环形构造；5. 条带状构造和含铁变质岩系；6. 产状；7. 河流；8. 居民点；9. 环形构造外、中、内环形构造代号及铁矿点分布

3. 根据本区图像分析，本区含铁变质岩系有三种不同的环形影像。第一种是条带状纹形组成的大环形构造，大环的中部还有古断隆的核部形成小环，在图像上呈套环影像特征。第二种是斜S形和U形环带状纹形，它们分布于大环的四周，它叠加在大环之上。第三种是隐晦的蠕虫状环带纹形，它仅是次一级构造的形态特征。在图像上这三条纹形影像是叠加在一起的，显示含铁变质岩系是多期变质作用和多期构造变动叠加形成的，因此形态十分复杂。

4. 在图像上反映含铁变质岩系的条带纹形有明显的，也有隐晦的，但它们分布是有规律的。在大石河附近第四纪冲积层下，图像上以隐晦的“U”字形纹形和色斑显示。从航磁异常图和钻探资料证实，这些隐晦的纹形或色斑是地表下含铁变质岩系显示，是隐伏盲矿体所在位置。“U”字形条带也是隐伏的含铁变质岩系向斜构造的图像特征。

5. 在图像上含铁变质岩系条带纹形的色彩深浅变化是有规律的，由于第四系覆盖，由

西向东第四系覆盖下的含铁变质岩系条带的色彩由深变浅，由明显变为隐显或模糊，这说明西部或北部第四纪沉积物薄，东部或南部第四纪沉积物厚。业已证明，深彩色斑纹影像反映的含铁变质岩系有的埋藏在地下 20—40 m，浅彩色斑纹影像反映的含铁岩系有的埋深可达近百米。因此运用色彩的深浅变化，根据已知资料可以粗略地估算第四纪沉积物的厚度，帮助推测含矿层或隐伏地质体埋藏大致深度。

三、遥感技术在水文地质调查中的应用

遥感地质在水文地质中已得到广泛应用。例如，利用陆地卫星图像上的信息、为“南水北调”等大型水文地质调查提供依据。特别是利用红外或彩红外遥感图像，在寻找古河道、判别水体边界、查明隐伏储水构造、覆盖区的水文地质调查和水污染的调查以及水土流失地质调查中都已见成效。在此仅简介一实例，供学者参考。

柳江盆地位于秦皇岛市北 25km 处，为一轴向近南北的向斜盆地。盆地内出露的地层主要为寒武系、奥陶系及石炭系、二叠系，盆地边缘则为太古宙混合花岗岩和燕山期花岗岩，为相对隔水层，致使盆地成为一相对封闭的水文地质单元。

在秦皇岛地区被列为沿海经济开发区之后，工农业用水需求量日益增多，该市已决定把柳江盆地东部的石门寨地区作为重要的水源地。该水源地范围内，第四系砂砾卵石覆盖层下基岩为寒武系、奥陶系灰岩，由于该区断裂发育，导致地表岩溶、隐伏岩溶发育。若在第四系覆盖的隐伏岩溶发育区大量开采地下水，势必会破坏地下水的天然动态平衡。当地下水位下降后，第四系砂砾卵石层中的潜水变为垂直渗透补给岩溶水，导致松散层底部被潜水掏蚀、冲刷、崩落，从而引起地表灾害性塌陷。

地表塌陷的形成与隐伏断裂构造、地下水活动，隐伏岩溶发育程序等因素有关，从遥感图像上提取与地表塌陷有关的地质信息是迅速的，有效的，现将从遥感图像上提取的地质信息简介如下：

（一）与地表塌陷有关的地质信息提取

1．隐伏断裂构造信息

遥感图像在研究隐伏断裂构造方面有其独特的优势。通过解译发现并详细研究了该区与地表塌陷有关的数条隐伏断裂构造。解译时首先利用不同波段、不同时相的MSS图像、TM 图像及其计算机处理图像，经反复对比，根据线状展布的色带，线状延伸的不同色调区分界面、水系异常、地貌异常等解译标志确定隐伏断裂的存在。然后结合不同种类的航空像片在立体镜下进行观察解译和根据邻近基岩露头区的已知断裂构造外延及地面物探资料来具体确定隐伏断裂的位置和性质。

在本区，与地表塌陷有关的隐伏断裂大致可分为北西向、北东向、东西向和南北向四组（图 11-9），其中北西向和北东向隐伏断裂与地表塌陷的关系最为密切。

北西向隐伏断裂以展布于石门寨至山海关一线的大石河断裂为代表，该断裂带由一系列平行排列的断层组成，断裂带宽约 0.7km，长约 40km。该断裂具张扭性特点，并具多期活动性。断裂切割寒武—奥陶系灰岩，使隐伏石灰岩中岩溶、裂隙发育，成为本区最主要的充水断裂带。

北东向隐伏断裂为压扭性断裂，具多期活动性。主要断裂为F_2，F_3，F_4（图11-9）。

南北向隐伏断裂表现为张性断裂性质，主要断裂为F_5（图11-9）。

东西向隐伏断裂带以上平山—鸭水河断裂(F_6)为代表，断裂长约23km，宽约0.4km。该断裂为一由南向北逆冲的逆断层，控制着柳江盆地的地下水分布，致使盆地内地下水不能向南部排泄，形成一相对封闭的水文地质单元。该断裂带地表多为第四系覆盖，沿断裂带隐伏岩溶裂隙发育，是地下水富集地带（图11-9）。

2．地下水活动信息

在被第四系松散层覆盖的碳酸盐岩石分布区，地下水富水带位于隐伏断裂破碎带上及隐伏岩溶发育部位，这些部位的第四系含水层与下伏碳酸盐岩岩溶裂隙水含水层水力联系密切，即降水、河水→补给第四系砂砾石含水层→补给隐伏岩溶裂隙含水层。因此，地表第四系含水丰富的地区也就是地下水富水带的位置，亦即隐伏断裂破碎带及隐伏岩溶发育的位置。

由于第四系含水丰富的部位（富水区）比周围的地区湿度大，反射率低，因此，在MSS4及TM4波段图像上呈现出较背景区为深的色调。在经过计算机数字处理的卫片上也能以明显的色彩异常与贫水区相区别开，如在经MSS7/4、5/4、7（R、G、B）比值，合成组合功能处理的图像上，第四系含水层分布区呈深绿色，而贫水的第四系分布区及基岩区则呈黄色及明亮的天蓝色。据这些影像特征在该区圈出一个三角形的第四系含水层分布最广的地区。

根据大比例尺黑白，彩色航空像片立体观察，可进一步划分第四系松散堆积物的类型及相对发育情况，结合钻孔资料及物探激电测深资料综合分析，编制了石门寨地区第四系等厚度图。由图上可见第四系厚度较大的地区正位于隐伏断裂带位置上。

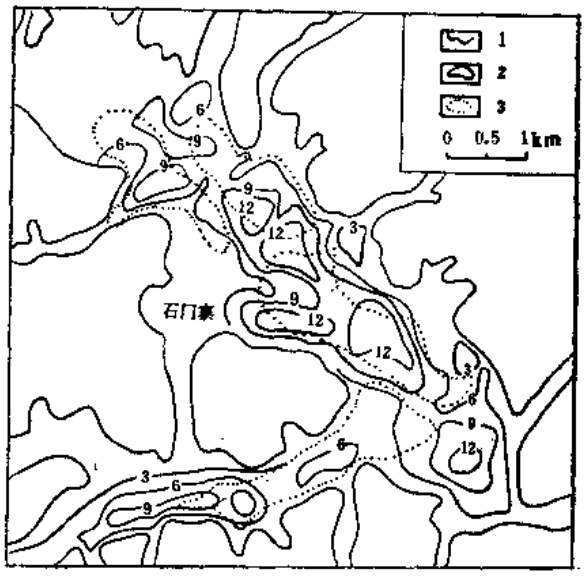


图 11-8 石门寨地区第四系厚度等值线图与隐伏岩溶区叠合图

1．基岩区边界；2．第四系厚度等值线；3．隐伏岩溶发育区

3．地表岩溶分布信息

本区寒武纪—奥陶纪碳酸盐岩石广泛分布，该岩石分布区发育有溶沟、石芽、溶洞等岩溶地貌。应用1:2.5万黑白航片及1:1万彩色航片可以圈出碳酸盐岩石分布范围及地表岩溶发育地段。溶沟、石芽发育区，基岩裸露，图像上呈浅色调，非常醒目，容易辨认，并且还组成表面粗糙的线状，脑纹状影纹。落水洞和地表塌陷土坑则呈现为深色的圆形或椭圆形斑点。

在解译圈定出的地表岩溶发育地段，经地表调查及参考前人资料，共统计出32个地表溶洞及17个地表塌陷土坑，按它们出露的标高(海拔高度)，该区溶洞至少可划分出四层。最高一层标高为180—200m；第二层溶洞标高为120—130m；第三层溶洞标高为80—100m；第四层溶洞埋没于地表之下，1976年唐山大地震时，一些地段地表出现的塌陷土坑就与该层溶洞有关。第四层溶洞在石门寨地区较发育。据17个地表塌陷土坑统计，它们的标高为80—90m，发育于大石河一级阶地上，表明大石河一级阶地之下发育有第四层隐伏溶洞。

（二）隐伏岩溶发育区分析及预测

据32个地表溶洞的统计分析资料表明，它们均发育在如下环境中：

1．发育于寒武系府君山组，张夏组（ϵ_2z）及奥陶系冶里组，亮甲山组，马家沟组等质纯、层厚的灰岩岩层中。在大比例尺航片上根据解译标志圈出该套岩层露头的分布后，再根据岩层产状及构造特征可以推测出隐伏在第四系覆盖层之下的该套地层的分布区域，而这些区域就可能是隐伏的岩溶发育区。

2．位于断裂破碎带及断裂相互交切的部位。

3．位于碳酸盐岩与其它非可溶性岩石接触带，特别是不整合面附近。本区可溶性岩石与非可溶性岩石不整合面主要是奥陶系马家沟组灰岩与石炭系本溪组砂页岩之间的平行不整合面。根据上、下两套地层不同的解译标志及本溪组底部常有开采G层铝土矿而留下的线状排列的小采坑等标志，很容易解译出该不整合面的位置，然后可根据不整合面产状可以推测出该不整合面在第四系下的分布位置，即隐伏岩溶发育的地区。

根据上述隐伏岩溶区发育条件的分析，结合地面电阻率ρ_s测量平面图上反映的充水带低电阻异常分析，圈出了本区隐伏岩溶相对发育的地带（图11-8）。

（三）地表塌陷危险区的预测

由于大量开采地下水引起的地表塌陷与隐伏岩溶塌陷有关，但并不是所有的隐伏岩溶发育区都是塌陷危险区。根据解译分析及野外调查结果统计表明，1976年唐山大地震引起的17个小规模地表塌陷土坑除与隐伏岩溶发育区有关外，还与如下一些地质环境有关。

1．大石河河谷的一级阶地。这里地下水与地表水转换频繁，且地下水水位埋藏不深，丰水期水位为1—3m（距地表），枯水期水位为5—8m，而这些地段第四系厚度多在3—6m，即地下水水位在基岩面上下波动，易使第四系松散层发生潜蚀、破坏，形成隐伏土洞，从而引起地表塌陷。

2．第四系松散层厚度不大的隐伏岩溶发育地带。本区第四系厚度一般小于10m。第四系厚度越小，被地下水侵蚀，搬运最终产生塌陷的时间就越短，因此，上覆第四系松散层越薄，越容易产生塌陷。

3．塌陷范围局限在抽水水位降落漏斗范围内，特别是水位降落漏斗边缘部位。

根据遥感图像解译，结合钻探、物探资料综合分析，圈定了该地区隐伏断裂构造、隐伏岩溶发育区、第四系松散层及其厚度分布情况，再根据地表塌陷危险区发育的条件，预测了四个地表塌陷危险区（图11-9）。

① 扬庄塌陷危险区（A）

② 浅水营塌陷危险区（B）

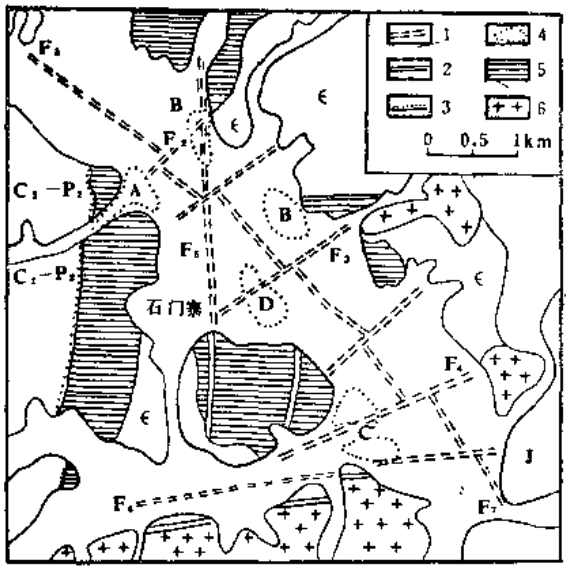


图 11-9 石门寨地区遥感综合解译地质图及地表塌陷危险区预测图

1．隐伏断裂；2．基岩区出露断裂；3．平行不整合界线；4．地表塌陷危险区；5．包括寒武系府君山组（ϵ_1f）、张夏组（ϵ_2z）奥陶系冶里组（O_1y）、亮甲山组（O_1l）、马家沟组（O_1m）地层；6．花岗岩、花岗闪长岩

③ 石门寨中学塌陷危险区（C）

④ 南、北刁部落村危险区（D）

四、雷达图像在遥感地质中的应用

雷达遥感地质是一个崭新的科学领域。雷达具有穿透能力，能够全天候、全天时工作，它不仅服务于军事侦察，日渐广泛应用于气象、水文、海洋的环境监测与预报以及普及到民用建设部门。它已成为资源与环境调查中重要手段之一，具有广泛的潜力。例如美国利用航天飞机雷达图像对撒哈拉沙漠中地下古河道和古地质特征进行了探测，取得好效果。由于篇幅的限制，在此仅简介由王超等研究“内蒙古巴音诺尔公”地区雷达图像构造分析。其内容简介如下：

（一）研究区概况

研究区位于内蒙古阿拉善左旗巴音诺尔公地区（图11-10）。该区属于典型的干旱沙漠戈壁区。分布有亚玛雷克沙漠，西部为著名的巴丹吉林沙漠。此外，区内还分布有中—低高度的山地。植被稀少，岩石出露较好，部分地区基岩被沙席覆盖。

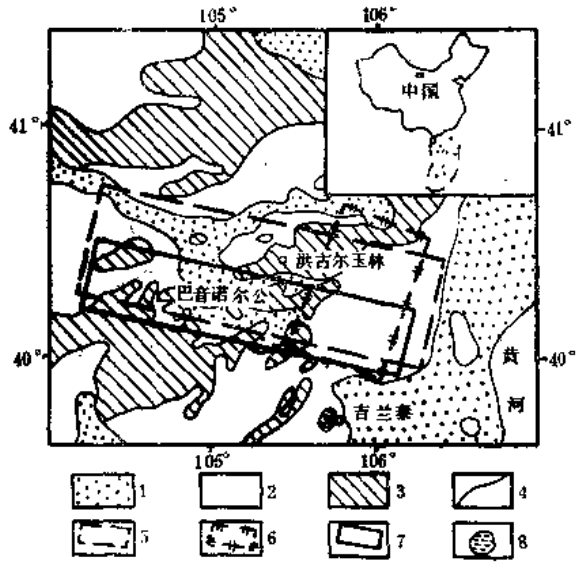


图 11-10 研究区位置及数据覆盖

1．第四纪风成沙；2．中生界—新生界；3．太古界—古生界；4．岩性界线；5．SIR-A 数据；6．SIR-B 数据；7．CAS/SAR数据；8．盐湖

在构造上，研究区处于阿拉善地体北部，其北为内蒙古天山—兴安晚古生代造山带。内出露的主要岩性有太古代变质岩、混合花岗岩及混合岩，晚古生代花岗岩类以及中—新生代沉积物。

由于该区自然条件很差，地质工作相对开展较少。雷达遥感则为该区的地质研究提供了有力的手段。

（二）数据获取及图像处理

该研究中应用1981年11月，美国哥伦比亚号航天飞机装载的SIR-A获取了研究区L波段HH极化雷达图像，其空间分辨率为40m×40m。1989年9月，中国科学院研制的CAS/SAR获取了同一地区的X波段HH极化雷达图像，其空间分辨率为10m×10m。两次获取的雷达图像均为光学记录方式。研究中将记录胶片扫描数字化成计算机兼容磁带数据，用以进行数字图像处理。

由于雷达图像是地物目标微波后向散射强度的记录，因此，其成像辐射特性和几何特性不同于可见光—红外遥感。研究中首先利用数字地形模型（DTM）对CAS/SAR和SIR-A图像进行几何校正，将校正后的CAS/SAR图像进行计算机镶嵌，通过滤波方法消除斑点噪声，然后，将CAS/SAR，SIR-A及陆地卫星TM多源遥感数据进行计算机复合，最后，利用多种方法进行地质信息的增强和提取。然后，通过与经计算机管理的图像进行对比分析，对CAS/SAR图像进行线性体解译，将解译的线性体进行长度和频率统计，并绘制成玫瑰图，以分析研究区应力情况。

（三）构造分析

1．线性体分析

人们利用雷达图像解译了线性体，分析了区域构造，并利用不同参数（特别是不同视向）的雷达图像的复合，消除方位偏差，为区域构造的解译提供更多的构造信息。该研究根据图像灰调结构变化及地貌形迹的分布，解译出研究区内300余条线性体（图11-11）。并利用I²S600图像处理系统对线性体进行了统计分析，并绘出了玫瑰图（图11-12）。从图

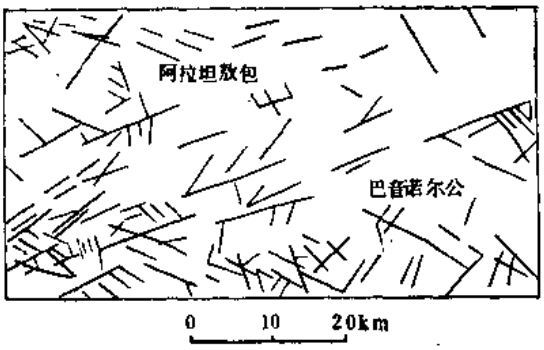


图 11-11　巴音诺尔公地雷达图像线性体解译简图

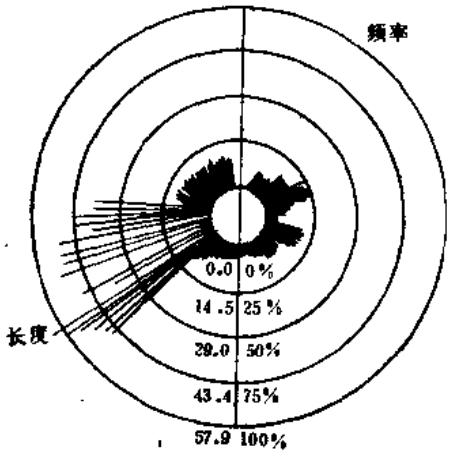


图 11-12　线性体玫瑰图

11-12可以看出两组方向的线性体频率最大（N75°E和S55°E），前一组线性体长而大。本区构造应力场挤压方向应为南北向，N75°E方向线性体代表由此应力产生的走滑断裂，而S55°E方向线性体则为走滑断裂派生的次级张性断裂，与此次级张性断裂共生的还有平行的基性辉绿岩墙群（图11-13）。

2．巴音诺尔公走滑断裂的雷达图像特征

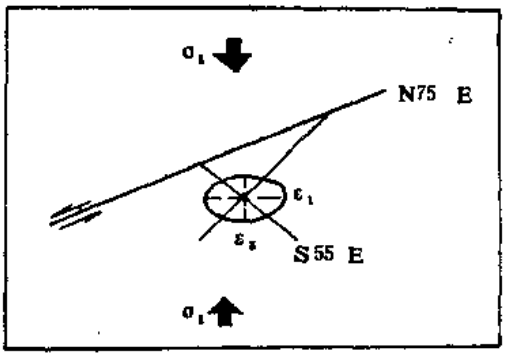


图 11-13　巴音诺尔公地构造应力场分析图

通过对雷达图像特征、断裂形态学及构造应力场的分析，识别出了巴音诺尔公大型走滑断裂。该断裂长达80 km，呈北东东向延伸。根据Bilham和King的研究表明，具复杂几何学的走滑断裂周围的应变场表现为垂直应变。增加面积的应变场将导致沉降，形成沟谷，而减少面积的应变场将导致隆起，形成山丘。尽管这些因素会受到后期剥蚀和沉积的改造，但断裂形态学的一般特征乃是断裂的几何及滑移量分布的作用结果。从CAS/SAR和SIR-A雷达图像上可以发现，沿巴音诺尔公走滑断裂，分布着一系列呈北东东向排列的山体，形成一条明显的线性形迹，如哈拉乌拉、踏木斯格、恩德尔和、麦子马来山体等。这些山体，皆为巴音诺尔公走滑断裂在端点或拐点处滑移量的变化所造成的应变场变化所致。这与Bilham和King提出的走滑断裂形态学模型基本相似，也可同美国西部的著名圣安德烈斯断裂形态相比拟。

从雷达图像上还可以看到，沿巴音诺尔公断裂分布的一系列孤立山体，不仅呈线性排列，而且一些山体为南西西向延伸的长条状，其南缘常因断裂切割而较平直，有时形成陡

崖。在隆和托山，可见断裂将山体错开并形成一沟谷。断裂南侧的冲沟向北北东向汇至断裂处，并在断裂处形成近于直角的转折而向北东东向延伸，最终汇集于哈拉毛滩低洼地。

综上所述，雷达图像解译的线性体及构造应力场分析，为巴音诺尔公走滑断裂的存在提供了佐证。

野外调查进一步证实了雷达图像上解译的巴音诺尔公走滑断裂的存在。在由走滑断裂形成的一系列山体的南缘，可见走滑断裂对山缘坡积物的切割及滑移造成的冲沟改向，一些小面积基岩露头因走滑错动而山体分离。其间分布有断裂角砾岩，特别是在隆和托山，沿断裂谷分布着断裂角砾岩及断裂蚀变花岗岩。岩石薄片鉴定发现，断裂角砾岩主要由花岗质角砾组成，碳酸盐胶结。同时，野外还发现断裂走滑形成的近水平的擦痕。

（四）雷达图像对区域板块构造运动认识的意义

雷达图像的分析及巴音诺尔公走滑断裂的识别，对于研究区的板块运动学研究有着重要意义。研究区位于阿拉善地体北缘，其北存在一条晚古生代天山—兴安缝合带。晚古生代该缝合带闭合后，沿该带发育了推覆构造。自第三纪开始，随着印度板块与欧亚大陆的碰撞，欧亚大陆内部形成了一系列走滑断裂，以调整板内的变形作用。巴音诺尔公走滑断裂就是在此构造背景下形成，其部分地段由古生代挤压断裂转化成走滑断裂。由于巴音诺尔公走滑断裂的左旋运动，造成了阿拉善地体绕欧亚板块旋转及向东运动，与其东面的鄂尔多斯地体碰撞，形成贺兰山北北东向挤压构造带，在贺兰山区出现南东东向的推覆构造。

实践证明，利用雷达对微地貌特征敏感这一特点，特别是在阿拉善元古代变质岩区域缺少地质资料情况下，从断裂形态学入手，综合分析、检测断裂的存在，更具有实际意义。当然，对于走滑断裂的滑移及运动的定量分析，还有待于利用综合手段进一步深入研究。

五、定量分析方法在遥感地质中的应用

（一）面积估算法

用它可测定地质体出露范围、面积、蚀变带的宽度，土地利用中城市面积测量、供水泛滥面积测量等，其公式如下（图11-14）

$$S=\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_i+y_{i+1})}{2}(x_{i+1}-x_i)$$

当地质体中有另一地质体时可用另一公式计算（图 11-15）：

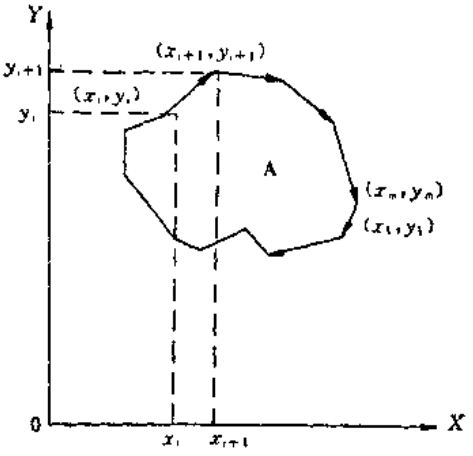


图 11-14 一个多边形

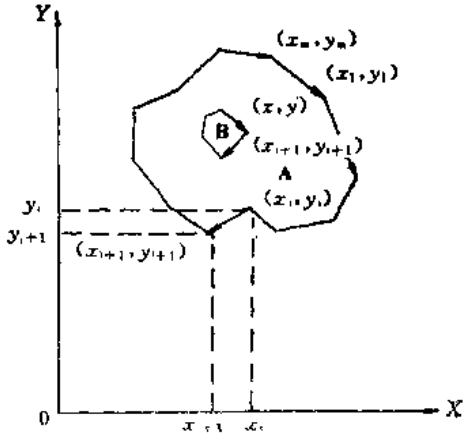


图 11-15 若干个多边形（含岛）

$$S=\sum_{i=1}^{m}\frac{(y_i+y_{i+1})}{2}(x_{i+1}-x_i)-\sum_{i=m+1}^{n}\frac{(y_i+y_{i+1})}{2}(x_{i+1}-x_i)$$

式中：$i=123\cdots\cdots$。

x_{i+1}、y_{i+1}、x_i、y_i 分别为相邻两数字化点的 X、Y 坐标值，m、n 是多边形的数字。

这方法也可以在计算机上进行，其速度快统计正确。

另一计算面积估算法，可用简单的模片法量算图像上的面积，其计算公式如下：

$$S=a^2n$$

式中：a 为单位正方形长边；n 为统计方格数。

计算步骤：可用透明方格纸，用 $1\times1cm^2$ 或 $2\times2cm^2$ 在图像中平移，然后统计方格数目，在多边形边缘时可以分割成小方格或用析估法求得面积之和，这种方法简便，但有一定误差。

（二）遥感动态监测的定量分析

动态监测如火山喷发、洪水泛滥、风沙移动和滑坡、泥石流等，是保护人民生命财产的一项重要工作，它能正确地提供数据，供给有关部分及时地采取预防措施。下面介绍比较简单又容易做到的定量计算方法：

利用遥感图像两个不同时相的航空像片或卫星像片进行对比、分析，计算同名点的位移，利用下列公式求得单位时间内物体的平均移动距离和速度，其公式如下：

$$V=|x_2\cdot m_2-x_1m_1|/|y_2-y_1|$$

式中：V 物体的平均移动的速度；

x_1、x_2 为同一物体不同时期航空像片上到某一稳定参照物的距离；

$\frac{1}{m_1}$、$\frac{1}{m_2}$ 两时相的图像比例尺；

y_1、y_2 两个时相照片摄影具体时间（年或月）。

按照这公式，青海省遥感站测量了龙羊峡水库区沙丘移动距离。他们计算出自1967—1985年间，龙羊峡水库附近沙丘平均移动了 12.98 米/年，其中小沙丘移动速度为 19.525 米/年，中型沙丘移动速度为6.43米/年。这些定量计算数据供青海省水电部门保护和开发龙羊峡水库资源和发电站的安危提供了科学依据。

实习十二　数字图像处理和线性构造统计分析及其应用简介

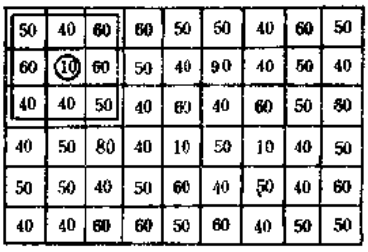
一、数字图像处理应用简介

数字图像处理是根据图像（或磁带）某些特征参数的范围和分布，经过各种方法的试验，选择一种合适的增强图像的变换方法，实现补偿或增强突出某些信息。其目的是改善图像的视觉效果，获取更多的信息。或者通过计算机对图像的某些地物波谱特征进行统计、判别，提取地物某些类别的信息分布。

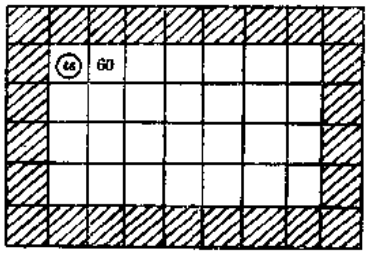
本实习是根据 Sabins(1987) 的资料，应用一些简单的数学知识，用手工处理的方法，模拟图像中某些数据的变换，以达到增强某些信息。

（一）修正随机噪声的滤波方法

在遥感图像（或磁带）中，随机噪声主要大气传输过程中的信息的噪声和传感器内所产生的。这些噪声一般采用频率滤波和平滑滤波技术进行减少或消除。在处理要求不高的条件下，通常利用空间域修正随机噪声的处理技术。



（a）滤波核的原始数据位置（3×3像元）



（b）无噪声像元滤波数据被置换为平均值代替

图 12-1　修正随机噪声的滤波方法示意图

图12-1 a 是陆地卫星图像中的阵列，其大多数图像像元的 DN 值在 40—60 之间，但也有个别的值小于或大于这个范围，这些个别值被认为是引起图像局部亮区或暗区的随机噪声的因素，因此要修正它。修正这些噪声可采用|3×3|模板计算，其步骤如下：

1．首先求得模板中 9 个像元的平均值；

2．将求得平均值与 9 个像元中的中心值对比，如果原始值的中心值在 40—60 之间，则中心值不变；如果模板中的原始中心值小于 30 或大于 70，则采用 9 个像元的平均值代替模板中的原始中心值（图 12-1b）。

3．在模板到达阵列的边缘时，将模板回到左边缘，并向下移动一列，重复上述过程，直至完成全幅。

4．根据上述方法将求得的数值，填写在图12-1b 中，这样就修正了图像中的随机噪声。

（二）蜕化处理

蜕化处理是通过空间域滤波技术增强边缘的一种方法，它包括全向和定向两种滤波。

1．全向滤波

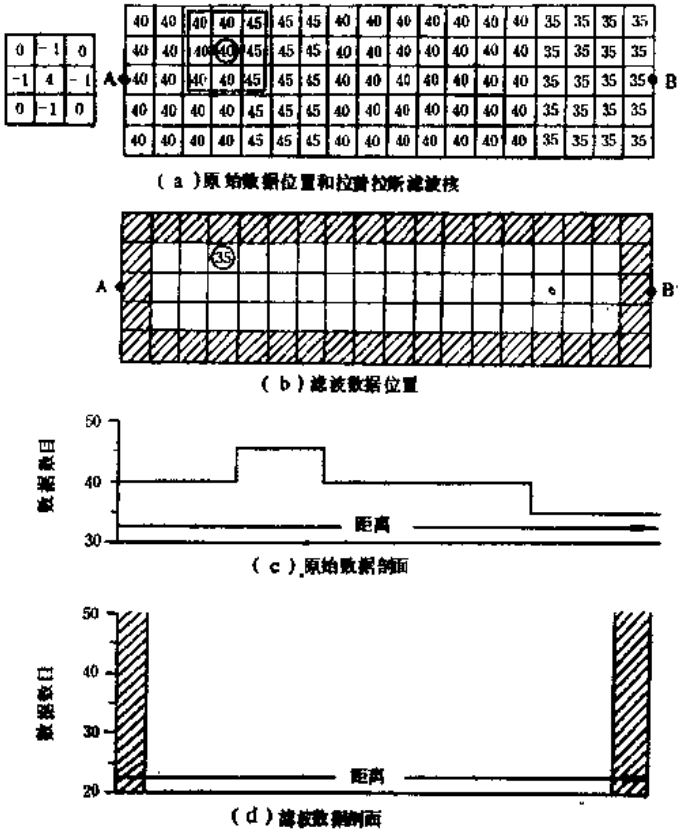
全向滤波是四个以上的方向梯度增强。它可以用拉普拉斯模板完成全方向的线性增强。现以图 12-2 为例作全向滤波，其步骤如下：

（1）将全向滤波模板（图12-2，a）放在原始数据上，每个原始 DN 值与模板中的相应值对应。在 9 个相对应值相乘后，相加得一新值（−5），将此新值（−5）与原始中心值 40 相加得 35（图 12-2 b）。

（2）然后，逐列向右移动计算，直至右边边缘，再向下移动一行，重复上述计算过程，一直到将像元统计完毕。

注意图 12-2 b 中，用斜线表示的像元是代表不处于模板中心的像元，它不能被增强。

（3）根据计算将图 12-2 b 中的空白区，填写所求得的数据，并作图 12-2 b 中的AB剖面（图 12-2，d）于D。



（a）原始数据位置和拉普拉斯滤波核

（b）滤波数据位置

（c）原始数据剖面

（d）滤波数据剖面

图 12-2　用拉普拉斯模板作边缘增强图

（4）将所求得数据作的 d 剖面，与原始数据作的剖面 c 相对比。

（5）将对比结果编写说明。

2．定向滤波

定向滤波又称方向性滤波或匹配滤波。它是增强某一方向的边缘，常用模板如：

1	1	0
1	0	−1
0	−1	−1

北东向

0	1	1
−1	0	1
−1	−1	0

北西向

−1	0	1
−1	0	1
−1	0	1

南北向

1	1	1
0	0	0
−1	−1	−1

东西向

现以图12-3为例，在图12-3(a)中，它是二个定向滤波模板联合，其左边是增强南北向模板乘上 $\cos A$，右边是增强东西向的模板乘上 $\sin A$。这里 A 是代表增强的线性构造线的方向与正北方向之间的夹角。规定北西象限为正值（A），北东象限为负值（$-A$）。其工作步骤如下：

（1）从左侧开始，将原始数据的 3×3 阵列与滤波模板相对应（图 12-3b），在相对应之值相乘后，求得一个新值（−5）。

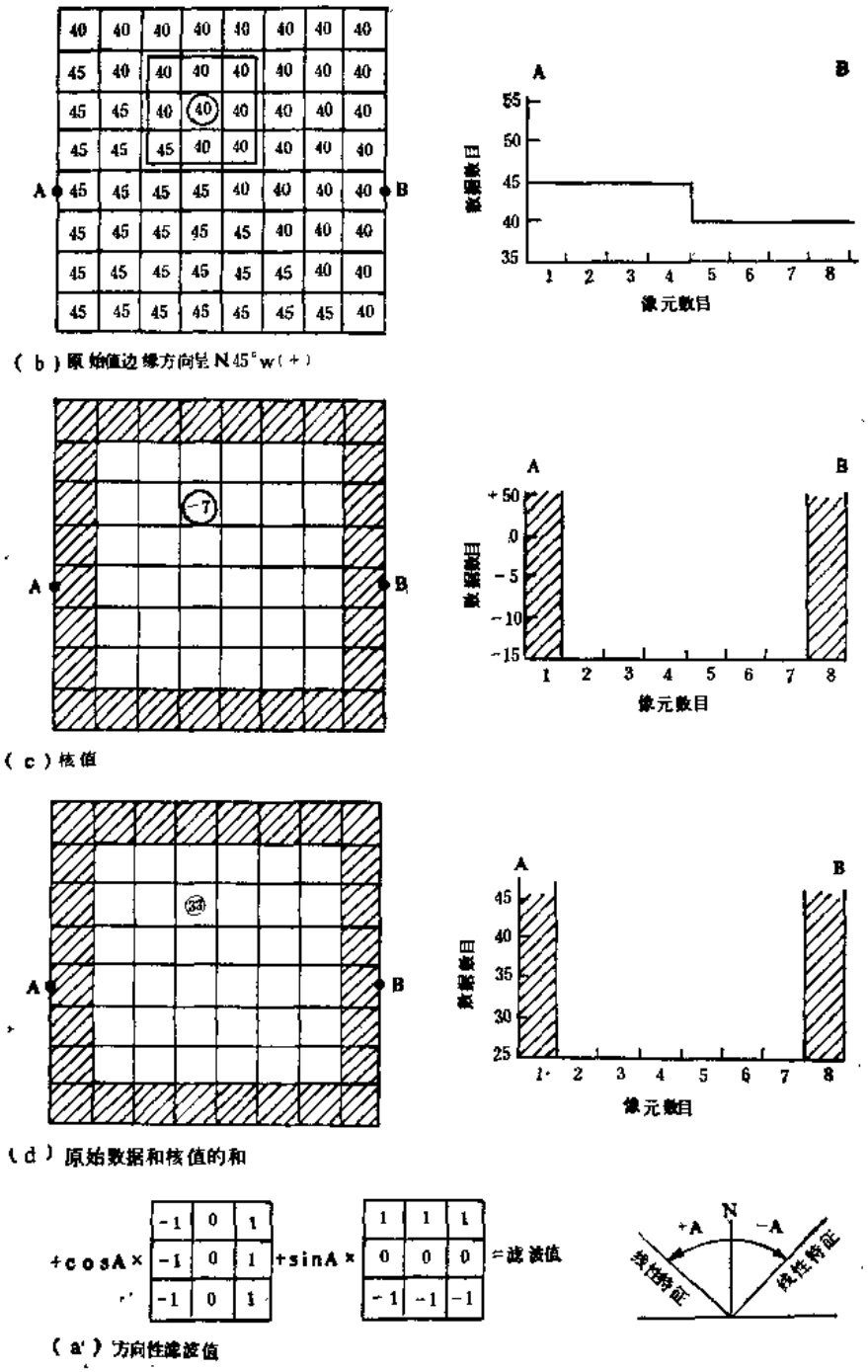


图 12-3　用定向滤波模板作边缘增强图

（2）将－5值代入图12-3a的公式中，又得一值（－7），将此值填写在3×3阵列的像元中心（图12-3c）。

（3）将3×3阵列的像元中心的原始值40，加上所求得新值（－7），其结果是33，将此数据记录在原始数字位置上（图12-3d）。

（4）根据图12-3c、d的数据，作c和d图的AB剖面。

（5）将c、d图的AB剖面与原始数据剖面（图12-3b）相比较，并解释其结果。

二、遥感图像线性构造统计分析及其应用简介

线性构造的统计分析是从数学特征上判别地质体的性质，定量研究地质体的空间分布规律，从统计角度去发现区域线性构造与局部异常特征的差异，避免人们目视解译中带来的主观随意性。通过线性构造的统计，阐明区域构造的格架，查明局部异常产生的原因，能够推测异常与隐伏构造、岩体和矿化蚀变，石油储集区等的关系，因此线性构造的统计受到国内外的重视，本实习仅介绍几类简明统计方法，供学习参考。

（一）几类统计方法简介

1．线性体的直方图分析

直方图分析的目的是认识全区域线性体长度和方位频数分布的总体特征。

（1）原始数据——线性体的长度和走向方位角的量度

可以在线性体图上量出各线性体的长度和方位角。也可以注记各线性体两端坐标（取直角坐标系。以图幅左下角为原点），然后通过公式

$$L=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}$$

$$\operatorname{tg}\theta=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$$

（这里的x，y分别是横、纵坐标）计算线性体长度L和方位角θ。显然，长度L的最大值不超过图幅对角线长度，θ的值域为[－90°，90°]，正北方向为零度。

后一种方法获得的数据与线性体的空间坐标位置相联系，有利于进一步作其它处理。

（2）长度——频数直方图

以线性体长度为横坐标，各长度区间线性体的频数为纵坐标，即可作出长度——频数直方图（如图12-4）。当直方图的形态接近对数正态分布，则可以认为断裂长度的分布是随机的。这意味着解译时的主观性没有造成系统误差。对长度——频数直方图的分析可以用来对线性体长度规模进行分组。

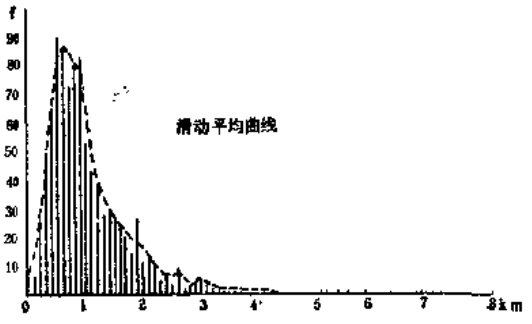


图 12-4　线性体长度——频数直方图

（3）方位——频数直方图和玫瑰花图

以线性体方位角为横坐标，各方位区间线性体的频数为纵坐标，作出方位频数分布直方图。玫瑰花图作法与构造地质学中所讲述的断裂构造玫瑰花图完全一致。方位角间隔一般以5°或10°为宜。这两种图可用以确定线性体方位分组，了解各方位线性体的发育情况。

2．线性体等密度图

线性体等密度图反映了线性体空间密度分布的数字特征和结构特征，这些特征可以提供深部构造信息和找矿线索。例如，高密度区可能是成矿有利地带，而密度等值线的环形结构则可能反映了深部的穹窿构造等等。

（1）基本方法

等密度图的基本作法是以一定的采样网格对线性体图进行采样，量出每个网格（即单位面积）内各条线性体的长度，然后用下式计算该网格内线性体的总长度：

$$L=\sum_{i=1}^{n}L_i$$

将该数据置于各单位网格中心，然后以这些数据插值制作平面等值线图。

也可以用单位面积内线性体条数或不同方位线性体交叉点数以同样的方法制作平面等值线图。

（2）采样网格的选择

对线性体图数字化时，采用网格的大小和采样重复率直接影响原始数据的统计分布特征，测量和计算工作量以及分析的有效性。一般采用正方形网格，这种采样方式可以通过一个单元方形网格采样所获得的数据得到边长是单元网格，边长整数倍的更大网格的采样数据。而不必重复测量。例如图12-5所示，四个单元网格线性体长度采样数据分别为4，6，8，10，那么包含这四个单元网格的边长为单元网格边长二倍的更大网格，其采样则为四个单元网孔采样数据之和，即28。

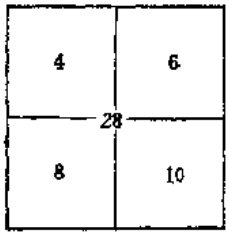


图 12-5 不同孔径网孔采样数据关系

方形格网采样数据在各方向上的代表性不均等（对角线为边长的$\sqrt{2}$倍），但对统计分析影响不大。

对一定的研究目标来说，客观上存在着一个最佳的网格单元，但目前尚无确定这种最佳值的理论和方法。下述两条原则可帮助合理地选择采样网格大小：

（1）所选用的采样网格使所获得的数据有较大的极差均值比：(max−min)/m，并且至少有一个网格的数据为零。

（2）采样网格大小与所研究的地质体的规模大体相当。

一定的采样重复率能够以较大的网格获得较密的数据。在单位网格情况下，其数据相当于次单元网格大小整数倍的窗口，对单元网格采样数据滑动平均的计算结果，能突出数据的低频变化特征。如图12-6所示，以|x|为单元网格，采样数据置于网格中，网格交点上为2×2网格按1×1间隔重复采样的数据。

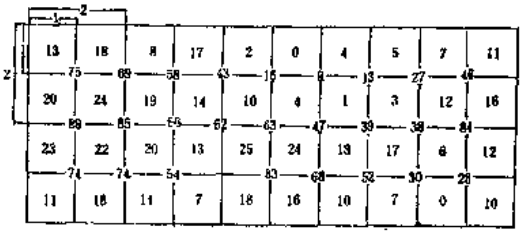


图 12-6 重复采样示意图

（3）等密度图的解释

对等密度图的解释应结合所掌握的地质资料和其它资料，根据不同的研究目的谨慎进行。

一般首先要确定高密度异常区域，这些区域可能是矿化或储水的有利部位，或者是断

裂或褶皱的发育部位。高密度异常值界限可根据全区平均密度上推一个值，或根据全区最高密度下推一个值予以确定。

进一步要分析等密度图特别是高密度区的等值线形态结构。例如：两向延长的高密度区或密度梯度带意味着可能有隐伏大断裂存在；外围为高密度区而中心为低密度区的环形闭合可能是隐伏的穹窿或等轴状侵入体等。

利用趋势面分析可以提高对等密度图解释的深度。可拟合一至六次趋势面。通过对趋势面的分析能够了解不受局部高密度异常影响的线性体区域密度变化，这往往是区域构造特征的反映。以等密度图与不同次趋势面图相减可得到不同次趋势面差值图，该图上以闭合曲线圈出的正高值区为高密度异常，负低值区为低密度异常。以这样的方法圈出的异常剔除了趋势值，因此不受岩性差异或构造单元不同所造成的线性体密度的区域系统性变化的影响，更为客观。

在实际应用中，线性体等密度图的作法和用法是多种多样的。例如，可以用不同的网度和不同的采样重复率由一张线性体图作出一系列等密度图，显然网格越大细节丧失越多，区域特征越不明显。也可以对不同方向和不同长度的线性体分别作等密度图，以期分别获得不同期次，不同规模、不同方位的构造信息。

（二）应用实例

冀东金厂峪地区线性构造等密度图分析

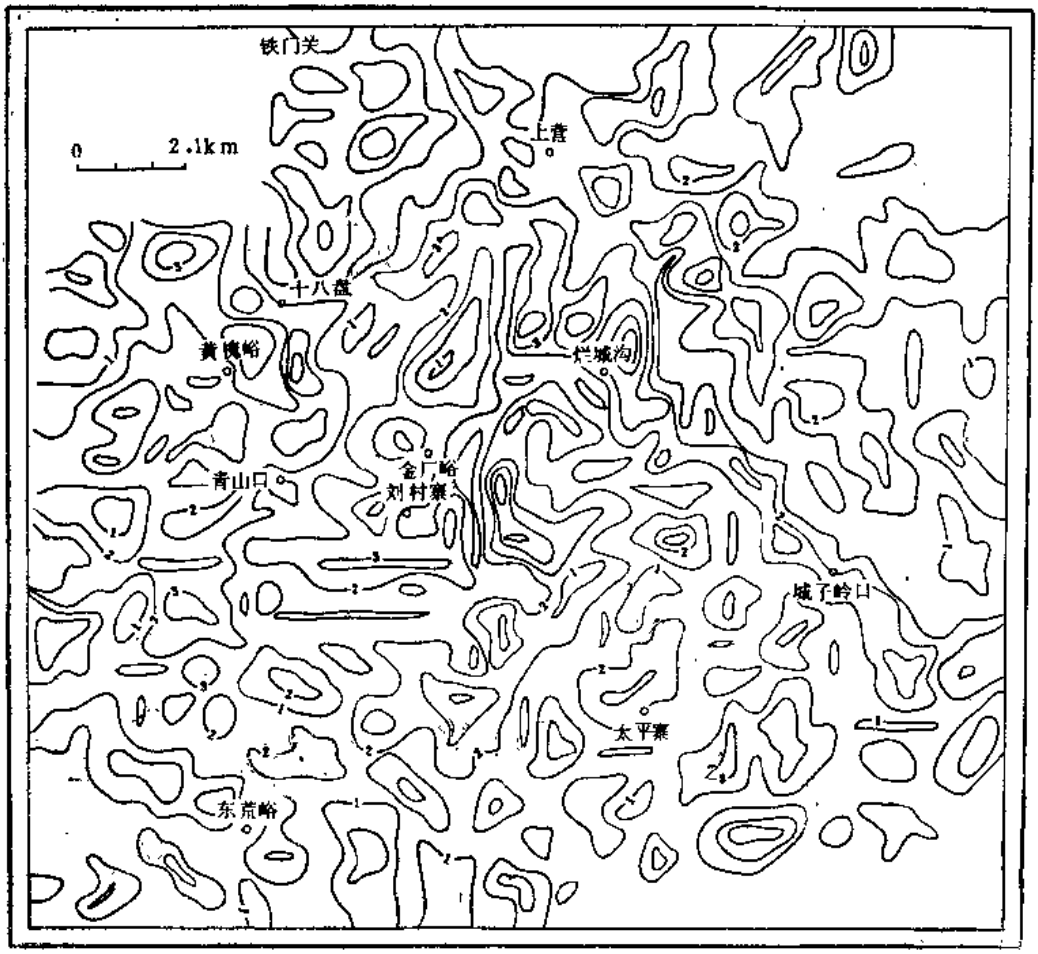


图 12-7　河北金厂峪地区线性构造交叉点等值线图

（1）地质概况

冀东金厂峪地区位于华北地台北缘燕辽台陷带中的次级构造单元——山海关隆起和马兰峪复背斜的交接部位。区内出露大面积太古宙变质岩系，岩石变质程度深。主要岩性有麻粒岩、斜长角闪岩、片麻岩等。此外岩浆活动十分强烈，以晚太古代时期和中生代燕山早期为主以及不同时期的岩脉等。本区区域地质构造较复杂，在东西向主干断裂及古褶曲构造的控制下，还发育有东西向，北东向，北西向和北北东向断裂叠加在先前构造之上。因此利用遥感图像可解译出若干线性构造。利用线性数理统计的方法的目的在于它可以揭示线性构造空间分布的某些特征，从而总结区域构造格局和局部构造异常及其相关关系，以及局部构造与矿化，总体分布等之间的关系。

（2）利用1:20万陆地卫星图像和1:7万彩红外航空像片的线性构造解译图为底图，按照1×1 cm^2编制网格，在每网格中分别统计线性体的条数，交汇点数及长度，绘制其等值线图见图12-7。

（3）线性构造等密度图分析

通过对上述统计图分析可知，该区的东西向、北东向、北西向和北北东向线性构造构成本区基本构造格架，且它们具等距性，其中东西向线性构造带多是以似环形封闭形态出现的等值线，而北东向（包括北北东向）线性构造则为几乎贯穿全区的带状等值线出现，如金厂峪——上营线性构造。大的断裂带常成线性高密度的梯度带。这些特征反映了线性构造的展布方向和规模大小，它们与地球物理的航磁和重力异常资料相吻合（图12-8）。

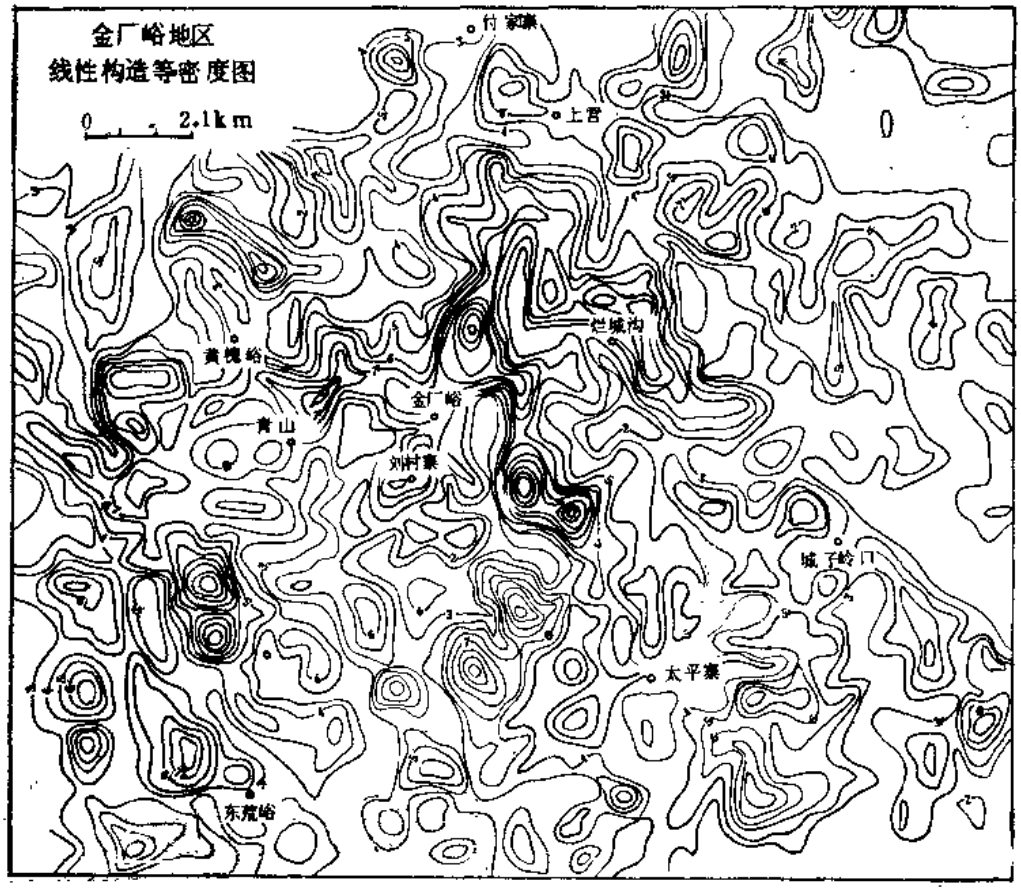


图 12-8 河北金厂峪地区线性构造等密度图

主要参考文献

1. 霍斯特·F·冯班达特著，赵振远译，1976，航空地质学，地质出版社。
2. 国家地质总局航空物探大队遥感室编，1978，地球资源卫星像片图集，地质出版社。
3. 北京大学地质系，1978，地球资源卫星像片的地质解译，地质出版社。
4. 朱亮璞等，1981，遥感图像地质解译，地质出版社。
5. 杜恒俭等，1980，地貌学及第四纪地质学，地质出版社。
6. 国家地震局地质研究所主编，1982，中国活动构造典型卫星影像集，地震出版社。
7. 卓宝熙等，1982，遥感原理和工程地质判译（上、下册），中国铁道出版社。
8. F·F·萨宾著，杨廷槐等译，1981，遥感原理及解译。
9. 陈华慧主编，1984，遥感地质学，地质出版社。
10. 刘允良，1983，利用航空遥感图像研究北京北部石窑地区地质构造特征及成矿预测，遥感地质，第8期。
11. 杨景春主编，1985，地貌学教程，高等教育出版社。
12. 庄培仁等，1986，遥感技术及地质应用研究，地质出版社。
13. 张樵芙等，1986，遥感图像目视地质解释方法，地质出版社。
14. 李铁方等编，1987，遥感图像数字处理原理及应用，云南科技出版社。
15. 郭德方，1987，遥感图像的计算机处理和模式识别，电子工业出版社。
16. 杨凯等编，1988，遥感图像处理原理和方法，测绘出版社。
17. 姚智慧，1989，龙羊峡库区沙化的遥感解译，遥感信息，第1期。
18. 刘允良等，1990，遥感增强图像在变质岩地区构造特征研究和找铁矿中的应用，国土资源遥感，第1期。
19. 陈述彭主编，1990，遥感大辞典，科学出版社。
20. 郭华东主编，1991，雷达图像分析及地质应用，科学出版社。
21. 袁宝印等，1991，地貌研究方法与实习指导，高等教育出版社。
22. 李茂森，1992，遥感图像数字处理，地质出版社。
23. 杨德明，1992，遥感地质解译在1:5万地质填图中的应用，长春地质学院院报，第1期。
24. 王希庆，1992，秦皇岛地区柳江盆地地表塌陷区的遥感研究，国土资源遥感，第4期。
25. 陈丙咸等，1991，城市遥感分析，南京大学出版社。
26. 冯纪武、潘菊婷主编，1991，遥感制图，测绘出版社。
27. Ken Watson and Robert. D. Regan, 1983, Remote Sensing.
28. Bilham. R. King. G, 1989, The morphology of strike-slip Faults: Examples from the San Andreas Fault, California, Joural of Geophysical Research, Vol. 94 No88.

图版说明及图版

图版Ⅰ-1　吉林省四平幅陆地卫星 TM 图像。

图版Ⅰ-2　岩溶地貌（广西某地航空像片）。

图版Ⅰ-3　海积地形：沙咀、沙坝、泻湖（华东地区某地航空像片）。

图版Ⅰ-4　流水地貌（青海某地航空像片）。

图版Ⅰ-5　不同类型的沉积岩与它们的组合关系（贵州某地航空像片）。

图版Ⅰ-6　不同类型的沉积岩与它们的组合关系（某地H-85 航空像片）。

图版Ⅱ-1　四川省忠县幅陆地卫星图像。

图版Ⅱ-2　不同类型的侵入岩与它们的侵入关系（宁夏某地航空像片）。

图版Ⅱ-3　海西期花岗岩与蚀变带（甘肃北山地区航空像片）。

图版Ⅱ-4　峨嵋山玄武岩（贵州西部某地航空像片）。

图版Ⅱ-5　江西省靖安幅陆地卫星图像。

图版Ⅱ-6　浅变质岩类：千枚岩、板岩（青海某地航空像片）。

图版Ⅲ-1　元古宙变质岩系与中生代地层的不整合接触关系（华北某地航空像片）。

图版Ⅲ-2　下元古界与太古界的不整合接触关系（华北某地航空像片）。

图版Ⅲ-3　半覆盖区背斜构造（青海西部某地航空像片）。

图版Ⅲ-4　褶皱构造（甘肃西北部某地航空像片）。

图版Ⅲ-5　断裂构造（四川东部某地航空像片）。

图版Ⅲ-6　断裂构造（贵州西部某地航空像片）。

图版Ⅳ-1　活动断裂构造（甘肃西北部某地航空像片）。

图版Ⅳ-2　隐伏断裂构造（西北地区某地航空像片）。

图版Ⅳ-3　山东省沂水幅陆地卫星图像。

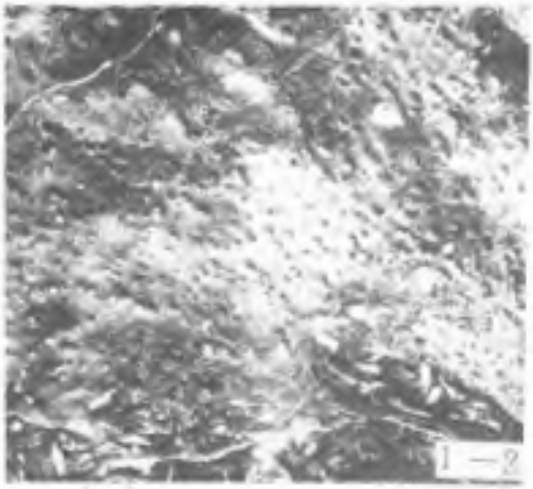
图版Ⅳ-4　四川省成都幅陆地卫星图像。

图版Ⅳ-5　断裂构造（内蒙古自治区某地航空像片）。

图版Ⅳ-6　断裂和褶皱构造（西北地区某地航空像片）。



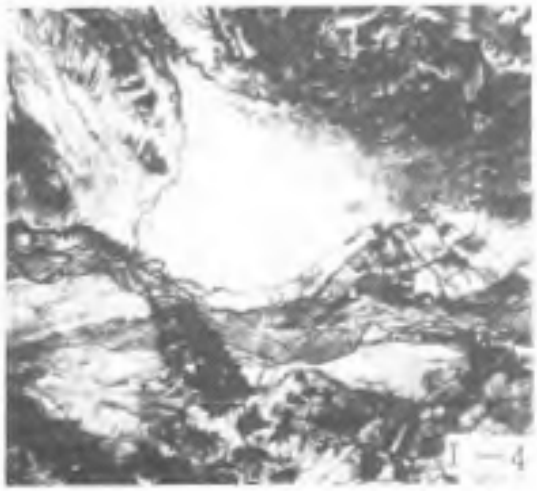
1 —1



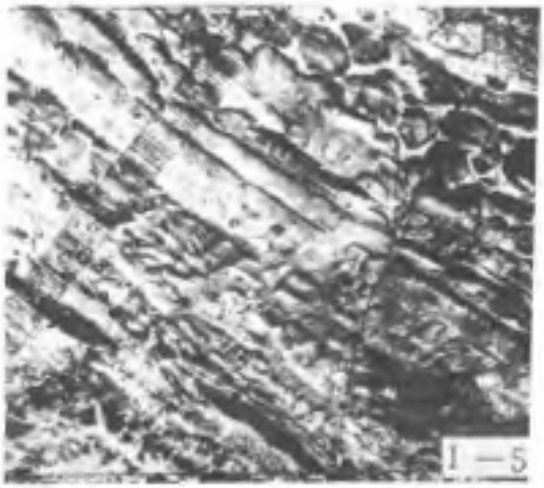
1 —2



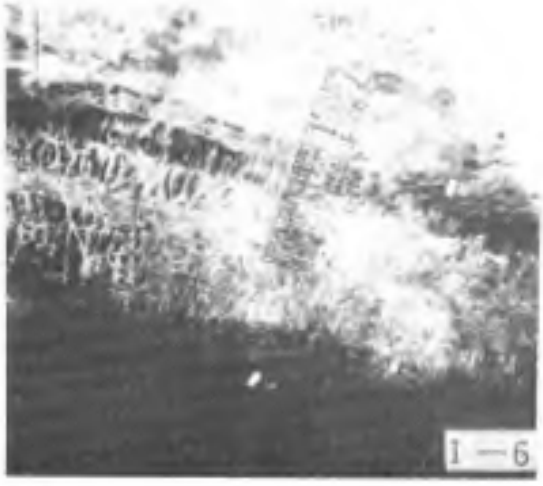
1 —3



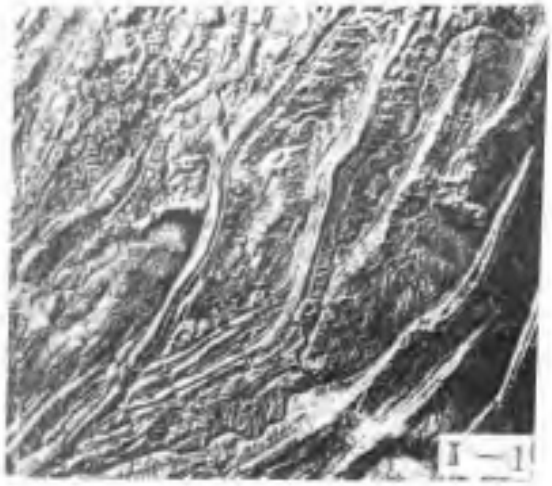
1 —4



1 —5



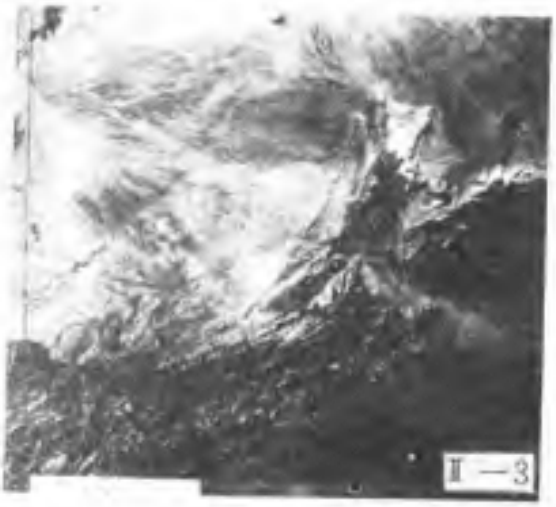
1 —6



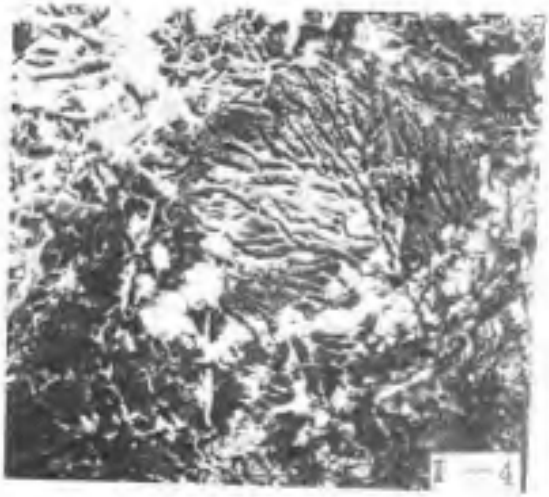
I —1



I —2



I —3



I —4



I —5



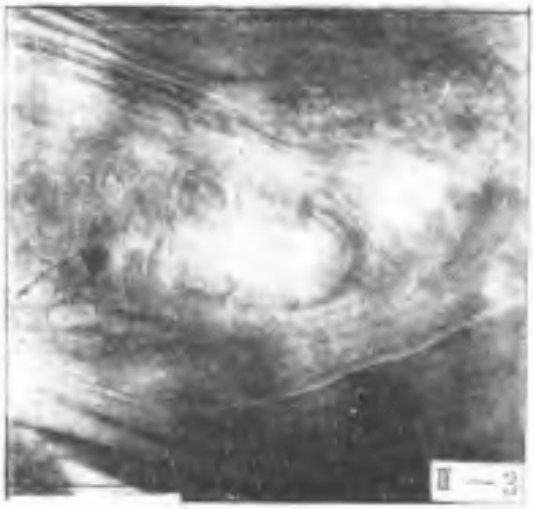
I —6



Ⅱ—1



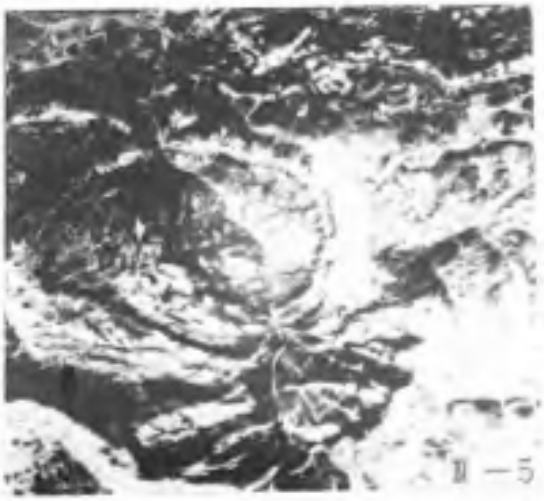
Ⅱ—2



Ⅱ—3



Ⅱ—4

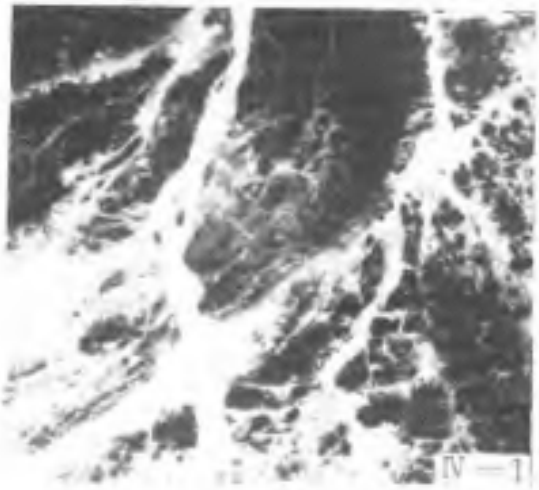


Ⅱ—5



Ⅱ—6

0062 5067



Ⅳ—1



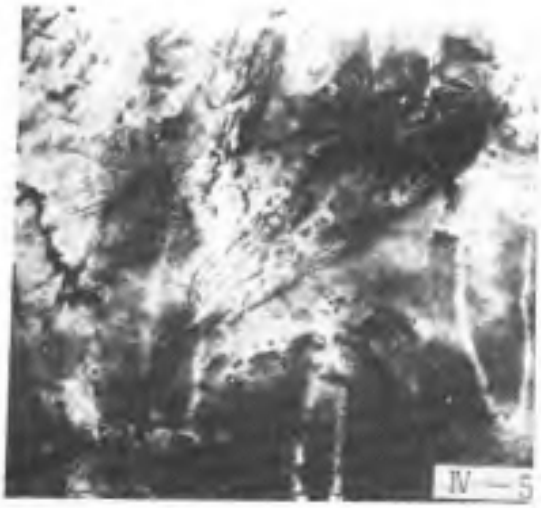
Ⅳ—2



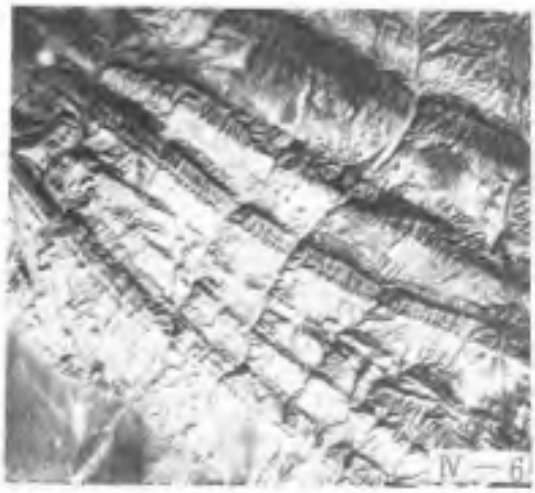
Ⅳ—3



Ⅳ—4



Ⅳ—5



Ⅳ—6