遥感地理学

魏益鲁 编著

青岛出版社

遥感地理学

赵英时 编著

大学图书馆

B1264111

青岛出版社

鲁新登字 08 号

特约编辑　高继民
责任编辑　戚道浚
封面设计　关守信

图书在版编目(CIP)数据

遥感地理学/魏益鲁编著. —青岛:青岛出版社,2002
ISBN—5436—2611—7

Ⅰ.遥…　Ⅱ.魏…　Ⅲ.遥感—地理信息系统　Ⅳ.p91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004824 号

遥感地理学

魏益鲁　编著

*

青岛出版社出版
(青岛市徐州路 77 号)
邮政编码:266071
邮购电话:(0532)5814750
5814611—8662
新华书店发行
青岛新华出版照排公司排版
胶州市装潢印刷厂印刷

*

2002 年 6 月第 1 版　2002 年 6 月第 1 次印刷
16 开(787×1092 毫米)　14.75 印张　3 插页　320 千字
ISBN 7—5436—2611—X/P・7
定价:25.00 元

内 容 提 要

书中系统简明地论述了有关遥感地理学的基础理论、科学技术手段和遥感图象解译的方法途径。

全书共分八章：第一章为绪论；第二、三章介绍了遥感地理学的物理基础知识与地理信息的搜集、处理、传输等基本理论方法；第四、五、六、七、八各章，分别讨论了有关航空和陆地卫星图象及其诸地理要素的目视解译。

本书除可作高等院校地理专业的教材外，也可作国土资源调查、环境监测保护、城乡规划和农、林、水利、地质等有关部门的科技工作者与地理教师的参考用书。

前　言

国民经济的高速发展，要求为其服务的科学技术与之相适应；只有掌握了先进、发达、超前的科学技术，才能将历史的车轮推向前进。因此，滞留在原有理论基础和传统体系的旧有学科已满足不了客观形势的需要。以先进学术观点和崭新技术成就武装与充实起来且具有指导意义及实用价值的学科才会备受重视和欢迎。因为，它可能成为一个建设者不可缺少的宝典。古老、实用却被人冷落的地理学本应走在其他学科的最前列，奈因其固有缺陷未被革除，跟不上时代的步伐仍远远落在后面。看来，地理学的再度崛起与振兴已成为每个地理工作者义不容辞的责任。

近年来，现代科学技术以十分惊人的速度迅猛发展，遥感信息技术尤甚。实践证明，通过遥感方法，人们已经获得了关于地球资源十分惊人、宝贵、难得的地理信息，这些信息已被地理学界广泛应用。引入遥感技术作为地理学的研究手段也成为现实。有理由相信，在新的信息时代，地理学也将从传统的束缚下解脱出来，从定性走向定量，从记述走向应用，成为国家经济建设不可缺少的学科。

一本观点正确、理论超前、体系新颖、手段先进，以服务于社会发展、纳国家经济建设入科学轨道为目的的地理新书，是读者期盼已久的。鉴于此，作者将这本《遥感地理学》奉献给大家，希望它能给读者带来一点启迪。

一门新兴的学科，固然有些适应时代潮流的新鲜内容吸引读者，但毕竟还来能形成完善的理论体系和充盈的环境信息资料。很多内容尚待研究、改进、充实、提高。故殷切地期望地理工作者、地理教师、地理爱好者和有志于地理事业的人士以自己的辛勤劳动共同创建与完善这一学科，使之成为有助于国家建设、促进地理学科发展与进步的工具。这本拙作若能起到抛砖引玉的作用，心愿足矣。

本书的编写，曾得到中国科学院遥感卫星地面站宋宝元先生和北京大学地质系朱亮璞先生的热情支持和帮助，书中图表亦多引自《遥感图象地质解译教程》和《遥感概论》等文献，在此谨致谢意。

限于作者的科学水平和实际工作经验，加之手头参考文献和应有遥感信息资料的匮乏，书中错误、不妥之处在所难免，恳请读者批评、指正。

作　者

2002 年春于青岛

目　录

第一章　绪论 …… (1)
第一节　遥感的基本概念及其意义 …… (1)
一、遥感的概念 …… (1)
二、遥感的特性 …… (1)
三、遥感的意义 …… (3)
第二节　遥感技术的发展和应用 …… (3)
一、遥感技术的概念 …… (3)
二、遥感技术的发展 …… (4)
三、遥感技术的应用 …… (6)
第三节　遥感地理学的研究对象及其任务 …… (10)
第二章　遥感地理学的物理基础 …… (12)
第一节　电磁波的辐射和电磁波特性 …… (12)
一、电磁波与电磁波谱 …… (12)
二、电磁波的特性 …… (15)
三、电磁波辐射 …… (17)
四、黑体辐射及其有关基本定律 …… (18)
第二节　太阳辐射和大气对太阳辐射的影响 …… (22)
一、太阳辐射 …… (22)
二、大气的成分及其垂直结构 …… (23)
三、大气对太阳辐射的影响 …… (26)
四、大气窗口 …… (29)
第三节　地物的电磁波辐射 …… (30)
一、地物对外来电磁波的反射特征 …… (31)
二、地物的发射波谱特征 …… (35)
三、地物的透射波谱特征 …… (36)
四、环境对地物电磁波的影响 …… (37)
第四节　彩色合成原理 …… (38)
一、人眼对色光、色彩的感受 …… (39)
二、彩色特征 …… (39)
三、彩色合成 …… (40)
四、彩色的分解和还原 …… (41)
第三章　地理遥感信息的搜集和处理 …… (43)

第一节　地理遥感信息的搜集 …… (43)
一、地表地物电磁波的搜集系统 …… (43)
二、摄影机 …… (44)
三、扫描仪 …… (48)
四、雷达 …… (54)
第二节　遥感仪器的运载工具 …… (57)
一、地面平台 …… (57)
二、航空平台 …… (57)
三、航天平台 …… (57)
第三节　地理遥感信息的传输与处理 …… (62)
一、地理遥感信息的传输 …… (62)
二、地理遥感信息资料的处理 …… (63)
三、地理遥感信息数据资料的存贮与检索 …… (64)
四、中国遥感卫星地面站 …… (65)
第四章　航空遥感和航空像片 …… (66)
第一节　航空摄影和感光材料的一般知识 …… (66)
一、航空摄影的种类 …… (66)
二、感光材料的分类 …… (69)
三、感光材料的性能 …… (71)
四、滤光片 …… (72)
第二节　航空像片的物理特征 …… (73)
一、地物亮度对影像的影响 …… (73)
二、地物光谱特性对影像的影响 …… (74)
三、感光材料性能对影像的影响 …… (76)
四、像片分辨率 …… (76)
第三节　航空像片的几何特征 …… (76)
一、中心投影及其成像特征 …… (77)
二、航空像片的比例尺 …… (80)
三、航空像片的重叠 …… (84)
四、航空像片的像点位移 …… (85)
第四节　航空像片的立体观察和量测 …… (88)
一、立体观察的原理 …… (88)
二、立体观察的仪器及其应用 …… (92)
三、航空像片的量测 …… (95)
四、岩石产状的量测 …… (99)
第五章　航空像片的地理解译 …… (100)
第一节　航空像片的地理解译方法 …… (100)
一、航空像片的方位及其注记 …… (100)

二、航空像片的地理解译标志 …… (102)
三、航空像片的地理解译方法 …… (114)
四、地理解译工作程序 …… (114)
五、影响航空像片地理解译效果的因素 …… (118)
第二节　地质解译 …… (119)
一、地质目视解译的方法和任务 …… (120)
二、岩性的目视解译 …… (120)
三、地层的目视解译 …… (128)
四、构造的目视解译 …… (129)
第三节　地貌解译 …… (134)
一、地貌形态的目视解译标志 …… (134)
二、大型构造地貌的目视解译 …… (135)
三、流水地貌的目视解译 …… (139)
四、冰川地貌的目视解译 …… (142)
五、岩溶地貌的目视解译 …… (142)
六、风成地貌的目视解译 …… (144)
七、黄土地貌的目视解译 …… (145)
八、海岸地貌的目视解译 …… (146)
九、火山及熔岩地貌的目视解译 …… (147)
第四节　水体解译 …… (147)
一、河流的目视解译 …… (148)
二、湖泊的目视解译 …… (148)
三、海域的目视解译 …… (149)
第五节　土壤、植被解译 …… (149)
一、土壤的目视解译 …… (149)
二、植被的目视解译 …… (151)
第六节　居民地和道路的解译 …… (152)
一、居民地的目视解译 …… (152)
二、道路的目视解译 …… (153)
第七节　其他航空遥感图像解译 …… (154)
一、彩色像片的目视解译 …… (154)
二、红外像片的目视解译 …… (154)
三、热红外扫描图像的目视解译 …… (156)
四、雷达图像的目视解译 …… (160)
第六章　陆地卫星图像 …… (164)
第一节　陆地卫星图像简介 …… (164)
一、陆地卫星图像的产品类型、规格和比例尺 …… (164)
二、陆地卫星图像的符号及其注记 …… (165)

三、陆地卫星图像编号 …… (169)
第二节　陆地卫星图像的光学物理特征 …… (170)
一、陆地卫星图像的灰阶 …… (170)
二、不同波段卫星图像的光谱效应 …… (170)
三、陆地卫星图像的地面分辨率 …… (172)
四、不同季节成像对卫星图像的影响 …… (173)
第三节　陆地卫星图像的几何特征 …… (174)
一、陆地卫星图像的地理坐标 …… (174)
二、陆地卫星图像的投影性质 …… (174)
三、陆地卫星图像的重叠 …… (175)
第四节　陆地卫星图像的处理 …… (177)
一、图像结构及其图像处理功能 …… (177)
二、图像复原 …… (178)
三、图像增强 …… (179)
四、信息提取 …… (184)
第七章　陆地卫星图像的目视解译 …… (188)
第一节　陆地卫星图像目视解译的方法和步骤 …… (188)
一、卫星图像的目视解译原则 …… (188)
二、卫星图像的目视解译方法 …… (189)
三、卫星图像的目视解译步骤 …… (191)
四、卫星图像解译工作的操作要领 …… (194)
第二节　水体解译 …… (195)
一、水系解译 …… (195)
二、近海水体解译 …… (196)
三、地下水、局部富水地带和隐伏含水层的解译 …… (198)
第三节　地貌解译 …… (201)
一、地貌形态解译 …… (201)
二、地貌类型解译 …… (202)
三、综合区域地貌解译 …… (203)
第四节　地质解译 …… (205)
一、构造解译 …… (205)
二、地层、岩性解译 …… (206)
三、综合区域地质解译 …… (207)
第五节　土壤、植被解译 …… (210)
一、植被解译 …… (210)
二、土壤解译 …… (212)
三、区域土壤综合解译举例 …… (213)
第六节　土地利用和城镇、铁路的解译 …… (214)

一、土地利用解译 …… (215)
二、城镇解译 …… (215)
三、铁路解译 …… (215)
第八章　红外与微波遥感 …… (216)
第一节　红外与微波辐射的基本概念 …… (216)
一、红外辐射 …… (216)
二、微波辐射 …… (217)
第二节　物体的红外与微波辐射特征 …… (217)
一、物体的红外辐射特征 …… (217)
二、物体的微波辐射特征 …… (218)
第三节　大气对红外和微波辐射的影响及其大气窗口 …… (218)
一、大气对红外辐射的影响和红外窗口 …… (219)
二、大气对微波辐射的影响与微波大气窗口 …… (219)
第四节　红外与微波辐射探测原理 …… (220)
一、红外辐射探测原理 …… (220)
二、微波辐射探测原理 …… (221)
第五节　红外及微波遥感图像的解译 …… (222)
一、红外遥感图像的解译 …… (222)
二、微波遥感图像的解译 …… (223)

第一章

绪　论

第一节　遥感的基本概念及其意义

一、遥感的概念

遥感(*Remote Sensing*)一词，最早是由美国海军研究局的伊·普鲁伊特(*Eretyn Pruitt*)提出，在1962年，于美国密执安大学罗兰实验所召开的第一次国际环境遥感讨论会后，才被公认、广泛采用的。就词意而言，它意味着不直接同被测目标接触，利用现代仪器设备由远处感知、获取被测物体的信息，从而对物体进行探测和识别。

遥感的含义非常广泛，从广义上讲，凡利用仪器设备从远处获得被测物体的电磁波辐射特征、力场特征和机械波特征等信息，并据此进行探测和识别被测物体者皆可称之为遥感；就狭义而言，是指从一定距离对被测目标从紫外到微波波段发射或反射的电磁波信息进行探测，从而达到对被测物体的识别。然而，就本书的特定目的而论，遥感则应是指通过安装在飞机或空间运载工具上的仪器设备从地球上空对地球资源环境进行远距离、大范围探测的理论和方法。

二、遥感的特性

在短短几十年间，不仅经济发达国家的遥感科学技术突飞猛进，处于起步早、投资多、规模大、水平高的领先地位，而且，越来越多的发展中国家在不同程度上也开展了遥感工作，获取并运用着遥感资料为其经济建设服务。可见，遥感已引起了世人的重视。之所以如此，乃在于遥感具有与其他科学技术不同的优越性：

1. 探测领域的广泛性

遥感的探测领域非常广泛，基本上可分为宇宙遥感和地球遥感两大类。宇宙遥感是指对空间物理和太阳系天体的探测；地球遥感则包括航空遥感、航天遥感和地面遥感3方面。也就是说，从对宇宙的空间物理、天体到地球资源环境的广阔范围，利用遥感都能进行准确的探测，获得详尽的数据资料。所以，遥感在不同的科学领域和许多生产建设部门都得到了广泛运用。

2. 获得信息的实时性

为了解决“实时”接收全球信息，从1979年起，美国陆续发射的“跟踪和数据中转卫星

系统(TDRSS)"可以中转 20 个卫星的各种信息。之后,又研制了"模块式地面接收系统",可以用来同时接收陆地卫星、气象卫星和海洋卫星的数据,做到实时获得全球遥感信息。

3. 摄取范围的空间性

距离目标越远,视域越大。一张 1∶35 000 的 23cm×23cm 的航空像片,可以表示地面 60 多 km^2 的实况;一幅陆地卫星图像,则可以提供给我们 185km×185km,即34 225 km^2(相当于海南岛的面积)范围的清晰逼真、信息丰富的图片。无疑,这种宏观的空间特性,对我们综合分析研究地面各种自然现象及其分布规律提供了有利条件。

4. 接收光谱的宽阔性

物体都具有电磁辐射特征,都能以电磁波的形式向外传递能量,其波长包括从 10^{-12} cm 到 10^{9}cm 的很宽范围。按照波长、频率、能量大小和物理特征的差别,在电磁波谱中可依次排列为 γ 射线、χ 射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波和低频电波等。

不同物体,具有不同的辐射特性。我们之所以能够看到景色万千的物体或现象,正是由于它们所反射的光波通过眼睛晶体,在视网膜上聚焦,刺激某些细胞,把信息传给大脑后才看到的。

人眼仅对可见光有敏锐的感觉,所以,我们通常是靠十分狭窄的可见光波段(大约从 0.4μm～0.76μm)作为判别物体特征的,而对其他波段所带来的大量信息却不能直接感知了。遥感可以扩大我们的视野,因为,它不仅能获得地物在可见光波段的电磁波信息,而且还可以获得紫外、红外、微波等波段的信息。肉眼观察不到或未被认识的物体和现象,在不同波段的像片上却可以判读出来。这样就扩大了人们的观测范围,加深了对事物特征的研究和认识。

5. 生成影像的时相性

由于陆地卫星周期性地绕地运行,导致遥感对地物成像的周期性。因此,地理事物的发展变化,就反映到不同时间所获取的地物信息之中。如果将成像时间不同的资料进行对比研究,就可发现地理事物的动态变化特征。例如,浮冰在航道上的移动、河湖中的冰融速度、地表侵蚀和流沙所引起的海岸线变化等许多缓慢的变动现象都能从通感图象上判读出来。所以,遥感的这种时相特性,不仅对环境监测和地理事物发展变化规律的研究具有重要的意义,也为及时发现诸如森林火灾、作物病虫害、洪水泛滥、污染扩散以及火山、地震等灾害前兆,做好预报,提供了科学依据和可靠资料。

6. 存贮数据的实用性

通感所收集的数提信息是极其丰富的,可以说,多的简直使我们应接不暇。由于航空遥感的不断进行,航天遥感的年年、月月、日日的运转,累积、存贮的遥感资料更倍加丰富。

由于遥感数据信息具有视域广、波段宽、分辨率高、动态效果好的特性,所以实用价值就大。譬如用于军事侦察,可以探测敌方武器装备、军事部署的绝密信息;用于地质勘测,可了解地表构造特征和矿物资源的地区分布状况,判断具有进一步勘察价值的区域;用于农业生产,能探明土地利用现状和作物分布类型、生长状况,提供估算作物产量的依据;用于森林资源的调查,可辨明树木种类及其分布范围、病虫害、砍伐状况以及环境变化对森林的损坏;用于环境监测,能查明污染源和污染物扩散现状等。对人们难以通行、到达的地区,遥感探测就更能显示出重要作用。实践证明,遥感所搜集、存贮的丰富、宝贵资料早已

被广泛应用在科学技术的各个领域，而且取得了丰硕成果和难以估计的经济效益。

7. 研究成果的经济性

应用遥感手段进行探测工作具有视域广、速度快、质量高、成本低、效果好等许多优点，这是其他技术手段所难以与之比拟的。据有关资料介绍，美国用于遥感的投资每年约2亿美元，所收到的经济效益却可达14亿美元，其中仅改进石油勘探一项就节省了1.2亿美元；菲律宾对森林资源的调查，曾用了9年时间才完成全部工作的1/10，而在1977年引进了遥感资料，只用了30多幅卫星图象，在短短4个月的时间内就完成了全国森林类型的划分和调查。我国原计划用230人、工作两年、须耗资近千万元的河西走廊地区清查两千万亩荒地资源的计划，采用遥感资料后，只用了35人、7个月时间、10万元左右，就圆满地完成了任务。

大量事实说明，利用遥感手段进行工作，既可为国家节约大量人力、物力、时间和经费，又能取得高质量的成果，这就难怪遥感技术引起了世界各个国家的普遥重视，并在探测、开发和管理地球资源环境中发挥着越来越大的作用。

三、遥感的意义

遥感是20世纪60年代以来迅速发展起来的一种综合性探测技术，属空间科学范畴，是空间科学的一个重要组成部分。由于它能接收和记录从紫外线、可见光、红外线、到微波波段被测物体的电磁波信息，从而扩大了人们的视野与观察领域，把人们对地球资源环境的研究与监测推向一个崭新阶段。

遥感把天体探测、军事侦察、气象观测、资源考察、环境监测、地图测绘等工作提高到集中的自动化水平，既大大节约了人力和时间，又及时地获得丰富、宝贵的资料供有关方而应用。

遥感是建立在现代物理学、计算数学、电子计算机技术、航天、航空和地学基础上的，因而，它对推动各个学科的理论研究和技术进步的飞速发展有重要意义。

遥感与地理学相结合，则发展成为遥感地理学。它是地理学的一个新分支，为遥感技术在地理学领域中的应用开避了阵地，有助于地理学的发展和突破，使地理学解脱了旧有束缚，迈向现代化、信息化、模式化，在国家经济建设中发挥应有作用。

第二节　遥感技术的发展和应用

一、遥感技术的概念

遥感技术，通常是指从不同高度的运载工具（又称平台 *platform*）上用传感器对地物的电磁波信息进行搜集，并将其所获信息数据传输给地面加以处理和存贮以识别与监测被测物体的全过程的科学技术方法。

现代遥感技术已形成从地而到空间，从数据资料的搜集、处理到判读、解译、应用的完整体系。它包括对地物电磁波特性及其信息搜集与传输技术的研究，遥感信息探测手段（传感器）的研究，遥感信息处理系统的研究，以及遥感信息应用的研究等。

二、遥感技术的发展

任何一种科学技术，都经历了从萌生到逐步趋于完善的发展过程，遥感技术也不例外。若以遥感技术发展的时间顺序和应用特点两个方面为依据，则可将其历史发展进程划分为 3 个阶段：

1. 萌生阶段

如果遥感一词被定义为“利用现代仪器设备从远处获得被测物体的信息从而对其进行探测和识别”的话，那末，就可以把 1610 年意大利科学家伽利略利用其发明的新型望远镜对月球进行观测认定为遥感技术的萌芽了。此后，1794 年，人们利用气球首次进行空中侦察，可算是对遥感的最初尝试；直至 1839 年，发明了摄影术和照相机，有了对目标物体信息保存的新方法，这就构成以照相机、气球和后来发明的飞机为组合的最初遥感系统，形成了现代遥感的雏形。

由于军事上的需要，为军事侦察服务的航空摄影在第一次世界大战中得到了发展并逐渐完善，形成了具有独立体系的航空摄影测量，像片判读也从军用向民用发展。这一漫长时期，就其传感器、运载工具、信息传输与处理以及遥感技术应用的深度和广度都还处于初始阶段，所以可视为遥感科学技术发展的萌生阶段。其主要特征为：

(1)摄影技术限于可见光黑白航空摄影；

(2)运载工具仅是气球和飞机；

(3)解译、成图仪器只有立体镜和简单的航空测图仪；

(4)应用范围也限于军事侦察和地形测绘等。

2. 发展阶段

1937～1960 年的 20 多年间，尤其是第二次世界大战中由于军事上的需要，促进了航空摄影技术的迅速发展，1937 年研制成功了新型彩色感光材料，正式开始进行彩色航空摄影；其后，又相继应用了非可见光红外线、紫外线和激光成像，同时开始使用比较简单的多波段相机，大大提高了仪器的分辨能力和探测能力，开阔了人们的视野，丰富了人们对被测物体的观察内容。与此同时，火箭被作为运载工具，立体绘图仪、多倍投影仪、纠正仪等一批新型解译和成图仪器也被广泛应用，形成了现代航空遥感体系，遥感技术也就成为军事侦察、地图测绘和自然资源调查的重要手段，在应用的深度广度上都有了很大发展。与萌生阶段相比，显然具有以下特点：

(1)传感器和摄影技术有了明显的改进和提高，采用了彩色摄影和红外线、紫外线、激光与多波段相机成像；

(2)运载工具除气球、飞机外，应用了火箭；

(3)解译和成图仪器除立体镜外，已广泛应用了立体绘图仪、多倍投影仪、纠正仪等航测仪器；

(4)应用的深度和广度大大提高，除军事侦察外已在地图测绘和自然资源调查等方面广泛应用。

3. 飞跃阶段

1957 年，苏联第一颗人造地球卫星(СПУТНИК－1)的发射，开创了遥感技术的新纪

元。1959 年，苏联宇宙飞船月球 3 号成功地拍摄了第一批月球像片。进入 20 世纪 60 年代后，苏联和美国多次发射了不同的宇宙飞船(如美国的水星、双子星座号，苏联的登月、探测者号等)，对月球、火星进行探测、摄影，取得了有关月球和火星的像片。之后，美国与苏联接二连三地登上月球，获得了大量的月球信息资料。继而，美国在一系列军事侦察卫星、气象卫星和载人宇宙飞船试验的基础上，于 1972 年发射了第一颗以探测地球资源和环境动态监测为目的的地球资源技术卫星[(ERTS)后改称陆地卫星 1 号(*Landsat*－1)]。航天技术的飞跃发展，把遥感技术推向一个崭新时代，一般认为，从 1960 年起就进入了空间时代(空间纪元)，遥感技术也从此开始得到了飞跃发展。由于人造卫星和宇宙飞船把传感器送到了轨道高度，就为获得大面积像幅创造了条件。其间，苏联靠装在礼炮 4 号载人宇宙飞船上的 Kate—140 摄影机获得了覆盖苏联 2 200km^2 的像片。到 1980 年，已在轨道上运行了两年多的礼炮 6 号，就可对全球所有居民区进行摄影。与此同时，在图像处理方面，应用了电子计算机技术，使大量的遥感信息能及时地复原、增强、自动识别和自动成面。航天技术的飞速发展，各种传感器的不断改进，以及电子计算机的应用，极大地拓宽了人们对地球和空间观察的视野，提高了鉴别、分析和观测目标物体的能力，把对地球资源环境的探测、研究推向一个崭新时代，遥感技术的发展进入了飞跃阶段。

从上可以看出，自 20 世纪 60 年代以来，遥感技术的发展并不局限于有关运载工具、传感器或几项仪器设备的飞速进步，而是包括运载工具、传感器、遥感信息的传输、处理乃至应用技术的整个遥感科学技术体系的飞跃。它突出表现在：

(1)在运载工具方面成功地运用了人造卫星和宇宙飞船；

(2)航空摄影机、多光谱摄像机、反束光导管摄像机、红外扫描仪、多光谱扫描仪、固体扫描仪、侧视雷达、激光雷达等各种传感器得以迅速改进并日臻完善；

(3)光—电技术和电子计算机被应用于遥感信息的传输和处理；

(4)遥感技术的应用范围已不局限于少数几个国家或几项科技范围，而已扩展到 100 多个国家科学技术的各个领域。在资源调查、环境监测和生产管理等方面的应用，其发展尤为迅速。

我国遥感技术的发展，和以上情况大体相似，但在时间上要晚于发达国家，大体上可以划分为以下 3 个阶段：

(1)20 世纪 50 年代　从 1950 年开始，随着国家经济建设的恢复和发展，以地形制图为目的的可见光黑白航空摄影普遍展开，完成了部分地区的大、中比例尺航空摄影工作。如 50 年代初期，地质部门对新疆天山、青海柴达木盆地，水利系统在设计大、中型水利工程和治理淮河过程中，都进行了航空摄影和航空像片的解译工作。50 年代中期，铁道和林业系统，也将航空像片分别用于铁路选线和林业资源的调查中，并取得了初步成效。至此，航空像片的意义越来越被大家所认识、接受。50 年代后期，地质、铁道部门分别成立了专业航测机构，其他农、林、水利、石油、测绘等系统也都相继建立了相应的专门机构，以从事这方面的工作。在此期间，国家测绘总局基本上完成了全国范围的第一代航空摄影工作，为我国遥感技术的发展打下了基础。

(2)20 世纪 60 年代　我国航空摄影工作已初具规模，应用范围也有所扩大。铁道系统对 23 条铁路设计线路进行了航空目测，对 24 条设计线路运用小比例尺航空像片进行

了地质解译；中国科学院地质所、地理所等单位运用航空像片对邢台地震地质进行了解译；有关院校设立了航空摄影测量专业，使其在地质、测绘等系统得到较为全面的应用，取得了较好效果。但由于国内诸多因素的干扰，使我国遥感技术在整个 60 年代处于发展迟缓状态。

(3)20 世纪 70 年代　70 年代初，随着国际空间技术的发展，我国成功地发射了第一颗人造地球卫星，这标志着我国进入了航天遥感时代。与此同时，航空摄影已从可见光黑白摄影发展到彩色、红外、多波段摄影；从一般暗室洗印、放大技术发展成假彩色合成、边缘增强、密度分割和比值影像增强技术；从简单的光学处理发展为数字处理；解译手段也从立体镜发展到计算机图像识别；侧视雷达和辐射计的微波遥感工具等先进技术也在研制试验；许多部门都在应用或进行一系列遥感新技术的试验。70 年代后期，购买了美国陆地卫星图像，引进了数字图像处理系统，建立了遥感专业、研究机构，在遥感技术的研究、应用和人才培养上都有了较大发展。

我国的遥感技术虽然起步较晚，但发展很快。除密切配合国家经济建设需要，在一系列遥感仪器的试验和有关专题应用上取得了可喜成果外，近年来，在遥感仪器设备的研制、资料数据处理、遥感技术综合应用以及对从事遥感研究和实际工作各级人才的培养上也取得了突破性进展。此外，国际、国内所举办的遥感学术交流活动，对我国遥感技术的发展也起到了积极的促进作用。

综观遥感技术发展的整个历史进程，可以说遥感技术正处于蓬勃上升阶段，在监测、开发、资源探测和管理地球资源环境中发挥着越来越大的作用。然而，从我国当前遥感技术的发展现状和水平来看，和先进国家相比还有很大差距，可以认为仍处在起步阶段，因而，我国遥感科技工作者今后应倍加努力，迎头赶上，以丰硕的遥感科技成果来满足国民经济建设的需要。

三、遥感技术的应用

实践证明，遥感科学技术根据研究对象的不同，基本上可分为宇宙遥感和地球遥感两大类。宇宙遥感又分为空间物理遥感和太阳系的行星遥感；地球遥感可包括地球物理遥感、气象观测遥感、海洋遥感、陆地资源遥感、环境监测遥感和地图测绘遥感等。在实际应用中，遥感技术自然也就广泛地渗透到科学技术的各个领域。限于本书的篇幅，仅将应用最广泛的资源调查和环境监测等作简单介绍。

1. 在农、林业方面的应用

我国农业遥感起步较早，从 20 世纪 70 年代末开始，根据当时土壤普查和农业区划工作的需要就运用了遥感手段。近年来，在农业资源调查方面，进行了全国土地利用现状概查和全国水土流失调查制图、黄淮海平原低产土壤遥感调查、松嫩平原土地利用遥感调查、内蒙古草原资源调查和监测、海洋渔业资源调查和监测；在作物估产方面进行了北方 7 省冬小麦遥感估产、黑龙江省大豆及春小麦估产、南方稻区水稻估产、棉花估产等；在自然灾害监测方面，开展了北方地区土地沙漠化监测、北方冬小麦旱情监测以及草原火灾、雪灾监测等。到目前为止，我国农业遥感已具有相当规模，如重点地区耕地变化监测系统，北方 7 省冬小麦种植面积和长势监测系统，草原火灾、雪灾等灾害监测系统等都已建成并

投入运行，这将大大地推动我国农业遥感技术的进一步应用与发展。

遥感技术在林业资源的调查中也得到较为广泛的应用。近十几年来，有关森林火灾、“三北”防护林的调查、森林病虫害的遥感监测以及中国林科院的许多国际合作项目中都大量地使用了卫星遥感数据。

实践证明，利用遥感资料进行农业资源调查、自然灾害监测、作物长势分析、作物产量估算以及有关专题的科学研究等工作，既可提高精度，又能降低成本，多快好省地完成任务。

2. 在地质、矿产方面的应用

遥感技术是地质勘探和矿产资源调查工作的先进手段，在地质学的各个领域都有实用价值，尤其在区域构造、地质制图、矿产资源勘察、水文地质和工程地质、地震地质、以及地貌研究各个方面，效果更佳。

遥感技术应用在地质工作上，不仅具有速度快、质量高、成本低等生产上的许多优越性，而且还具有其他技术手段所不具备的实时进行动态分析并取得地下某些地质特点的“透视”信息作用，大大减少地面地质工作量，既节省了人力、物力，又加快了速度，提高了精度，因面受到国内外地质工作者及其生产部门的欢迎。

据地质部某个报告指出：“黑龙江、四川、云南等省应用航空像片填制一幅 1∶20 万区域地质图(6 000～7 000km^2)，比常规方法可提高效率 1～2 倍，人员减少 10%～20%，费用降低 50%以上。”再如，1976 年我国在广西容县通过航空像片的解译进行 1∶5 万地质填图试验，对画出的 128 条断层中 58 条抽样检查的结果表明，正确率可达 90%，比原来地质图上 20 条断层增加了 6 倍多。另外，遥感图像还对“环形构造”、“挤压岩块和挤压地块”、线性构造的密集性、等间距性和大构造的研究也作出了贡献。

利用遥感资料进行成矿条件的分析，在矿产资源的调查方面取得了较好效果。例如，美国利用卫星图像分析了加里福尼亚海岸山脉区的汞矿床，提示出新的构造线，查明了成矿条件，从而扩大了矿区的远景产量。我国吉林省铜矿资源较为丰富，通过卫星图像分析，发现铜矿的分布与线性构造密切相关；最近在金矿的探测中，运用“微差信息处理”技术，在全国 8 个省 10 多个地区直接用卫星遥感图像进行金矿成矿预测，取得了较好效果。

卫星图像视域广阔且真实地反映了各种地质现象的空间关系，为进行大区域甚至全球性地质研究创造了有利条件。我国根据卫星图像资料重新修编了 1∶400 万的中国构造体系图、亚洲地质图等，受到国际地质学界的重视。

3. 在水文、海洋方面的应用

水不仅存贮于江河湖海之中，面且被蒸发为水汽浮游在空中或渗入土壤、岩石之内在地下流动，它是地球表面分布最广和最重要的物质，是参与地表物质能量转化的重要因素，直接影响着人类的经济活动和地表生态环境。因此，对其存贮形式、物理特征、分布范围、动态变化及其运动规律的研究，无疑具有重要的意义。

近年来，遥感技术在水文学范畴已被广泛应用于水资源调查、监测、动态分析研究、冰雪研究以及海洋研究等各个方面，并取得了丰硕成果。例如，苏联利用遥感资料测得我国天山帕米尔高原积雪深度的变化，成功地预报了我国 1969 年该地区的特大春汛；美国用红外遥感方法在夏威夷群岛发现 200 多处地下水出露点，解决了该岛对淡水的需求；我国

利用航空像片和卫星图像不仅准确地修正了青藏高原经过300年来150多次探险考察所确定的500多个湖泊的面积、形状，面且，还补充了地面考察遗漏的300多个湖泊；天津地质局1978年利用卫星图像和航空像片对天津市区南部一段海河古河道进行了研究，找到了适合饮用的丰富浅层地下水。

洪涝水灾是我国也是全球性的主要灾害。据联合国调查统计，全球自然灾害中洪涝灾害出现频率最高，造成的损失最大。我国自20世纪80年代开始就注意到遥感、计算机、GIS等新技术在防洪减灾中的应用。1987、1988、1989年夏季，我国开展了防汛遥感应用试验，在永定河、黄河中下游、长江中下游地区利用机载合成孔径雷达、可见光传感器、电视摄像等手段获取了灾区的遥感图像资料，建立了全天候、准实时检测洪水的遥感系统（简称防洪遥感系统）；1991年防洪遥感系统先后3次用于监测淮河、太湖的洪涝水情和淮河、太湖流域的汛情获得成功；1996年，我国长江、珠江、黄河、淮河、海河等流域的一些地方发生了大或特大洪水，遥感卫星地面站及时地为洞庭湖地区、荆州地区、上饶、南京、芜湖、河北平原、黄河等受害面积较大地区处理了TM、SAR的卫星数据，给有关部门提供了可靠的科学决策依据，为抗洪救灾作出了贡献。

作为资源宝库的海洋，早就被人类当作获取食品的场所和交通贸易的遥道。20世纪60年代以来，随着海洋科学技术发展的历史进程，人类社会进入了全面开发世界海洋的新阶段，海洋的地位、作用以及对海洋的开发和研究也就备显重要，但传统的调查方法已远远满足不了需要，而遥感技术却为海洋研究手段的现代化提供了条件。

在海洋物理、海洋化学、海洋动力、海洋地质地貌和海洋资源环境等各个领域，遥感信息资料都得到了广泛应用，如在对海面温度、盐度、浅海水深、波浪、潮汐、海流等海洋学各要素的测量，大洋环流系统和中尺度涡旋动力学的观察研究，海岸带地质地貌、滩涂以及河流与海洋相互作用的研究中，都应用了遥感资料，取得了较好效果。我国有关部门和研究单位，已在江苏、山东、辽宁、广东、浙江等省的海岸调查和长江、黄河、钱塘江等河口研究和沿岸工程选址工作中取得了成效。

根据遥感图像所描绘的海面温度场的精细结构，可确定上升流和温度锋面的位置，观测水团变化、分析表层流系，可进行海洋渔场分析。美国有关部门每周向用户发送一次东部大陆架海区表层温度场和渔场分布图。1982年日本水产厅宣布利用卫星资料和计算机搜索秋刀鱼和金枪鱼等鱼群的试验获得成功。近年来，我国水产部门也重视了利用遥感手段发展渔业的实验研究，取得了良好效果。

4. 在环境资源监测方面的应用

环境是大气、水、土地等资源的总体，是人类赖以生存的物质基础，是生命现象的物质和能量来源，没有环境，也就不可能有人类。所以，环境问题实质上仍然是资源问题。

环境为人类的经济活动提供了物质基础和活动场所。一方面，丰富面质量良好的环境，为社会经济发展所提供的广阔美好前景，是经济发展的有利条件和物质保证；另一方面，人类的经济活动无异也会给环境造成重大影响。仅就工业生产面论，人们从环境中所取得的自然资源只有一部分被转化为他们所需的生活、物质资料产品，余者则以“三废”形式抛入环境，从而造成了环境的污染和破坏，限制和阻碍了社会经济发展。

环境污染问题已经引起世界各国、各界人士的关注，许多国家纷纷应用遥感手段来监

测大气污染、土地污染、海洋污染以及各种污染所导致的影响和破坏。例如，美国利用卫星图像就监测到纽约因倾倒垃圾、酸液所引起的污染范围；我国利用航空遥感进行了多次环境监测的应用实验，对沈阳、长春、大连、太原、青岛、天津等城市的环境质量和污染程度，进行了本底分析和评价，在城市热岛、烟雾扩散、水源污染、绿色植被覆盖指数、交通量的监测和在大连湾开展的“海湾石油污染航空监测技术”的研究工作中都取得了重要成果。

5. 在地图测绘方面的应用

航空摄影测量虽然已经发展成为完整的科学系统，也是测绘地形图的主要方法，然而，仅凭航空摄影测量要完成对现有地图资料的更新或新图测绘工作，任务十分艰巨而效果也很难令人满意。遥感技术的发展，弥补了航空摄影的不足，在地图测绘中发挥了重要作用。例如，巴西对亚马逊河流域近 500 万 km^2 人迹稀少、云雾不散的热带雨林区，应用侧视雷达技术在不到一年的时间内，就完成了该区 1∶400 000 的雷达扫描，取得了很有价值的资料，这是常规地面测量和航空摄影测量无法与之比拟的。若用陆地卫星图像，只要对其进行纠正、镶嵌就能很快地制作出中、小比例尺影像地图。

美国发射的陆地卫星 4～5 号，增加了专题制图仪（*Thematic Mapper*，简称 TM），为地图的编绘工作提供了先进的可靠手段，在制图中发挥了重大作用。

1984 年，我国利用陆地卫星图像对一些典型地区进行地学判读，并编制出版了《陆地卫星影像中国地学分析图集》和中、小比例尺的省（区）和全国影像地图，推动了遥感技术在地学研究中的应用。

1987 年，我们仅用两幅 TM 数据磁带在半年的时间内，就完成了青岛市 1 万多平方公里，包括镶嵌卫星遥感影像地图和解译编绘地质构造、水文地质、地貌、海岛、海湾、滩涂、土壤、土地利用现状、矿产资源等十多幅专题地图在内的任务，为青岛市国土规划提供了可靠的科学依据和准确的基础图件，获得了显著的经济效益和社会效益。

作为国际商品化第一代通用卫星遥感数据产品 *Landsat* MSS，在中、小比例尺制图范围中的应用已达 20 年之久。第二代卫星遥感数据产品 *Landsat* TM 和 SPOT HRV 的数摄，不仅在中比例尺制图范围内的应用迅速普及开来，而且，自 1987 年以来，已将卫星遥感制图的应用从 1∶10 万、1∶5 万推进到 1∶2.5 万，直至 1∶1 万，在中、大比例尺系列影像地图的制作中取得了良好效果，满足了遥感制图工作的需要。因此，在地图测绘领域，遥感信息资源的实用价值充分显示出它的重要作用。

6. 遥感技术在地理工作中的应用

地理学是研究人类赖以生存的地球表层空间的科学，即人类环境科学，它涉及到人类环境的结构、功能、演化规律以及人类社会活动与环境间的相互关系等十分广泛的范围，体现了综合性与区域性特征。遥感图像是地表自然环境和社会环境客观而真实的反映，它既表现了各自然要素间的制约关系，又表现了人地关系间的相互影响和作用。所以，遥感技术与地理工作之间也就有着必然而不可分割的内在联系。

在地理科学工作中，遥感技术既能迅速地为其获得大量丰富的第一手地理信息数据资料，又能准确、及时地提供出科学的分析成果。它已成为地理科学工作十分重要的现代化技术手段，不断改变着地理工作及其学术研究的古老传统模式，促进了地理科学领域的重大变革，使地现科学从定性到定量、从静态到动态、从整体到局部、从过程到模式、从记

述到应用的转变成为可能。

遥感技术、卫星通信技术、地理信息系统(GIS)技术、全球定位系统(GPS)技术等先进技术手段,已被成功地应用于地理科学各个领域。20 世纪 90 年代发展起来的干涉 SAR (*Interferometry* SAR)技术,是获取地面三维信息新的重要手段,目前正被应用于军事、测绘、制图、环境监测、地矿勘探、农林牧调查以及各种自然灾害监测中。近年来,法国也开始用三轨道的 SPOT 卫星全色卫星图像数据进行立体测图;作为 2000 年以前最先进的加拿大 *Radersat* 雷达观测卫星,把星载 SAR 数据的应用推向了一个新台阶。无疑,这对地理学的研究与发展具有特别重要的意义。

遥感技术的发展,必然促进遥感地理学的出现。相信在不久的将来,作为地理学和遥感科学技术之间的边缘学科的遥感地理学,将成为地理科学中最具有生命力的新兴学科,并以先进的理论基础和现代化的技术手段服务于国家经济建设。

第三节　遥感地理学的研究对象及其任务

遥感地理学,是借助于现代先进的遥感科学技术探测手段所获得的地理现象和地理事物,在某些波段范围内反射与发射电磁波的特性及其所产生的影像特征,来研究地理现象、地理特征和地理规律的一门新兴学科,是在遥感技术和地理科学体系中逐步成熟发展起来的地理科学体系中一个重要分支。所以,它和遥感技术与地理科学都有着科学史上的渊源关系。一方面,遥感科学技术和地理学的研究对象在某种程度上必然制约甚至规定着遥感地理学的研究对象、性质和任务;另一方面,遥感地理学既然已发展成为一门独立学科,它的研究对象、性质与任务,也就必然有自己的特点和体系。

为了探讨遥感地理学的研究对象,首先,应当对遥感和地理学的研究对象加以探讨,因为遥感地理学的研究对象是从遥感和地理学中演生出来的,而遥感地理学又是遥感和地理科学研究的基础。

如前所述,遥感科学技术研究的领域非常广泛,其研究对象包括了宇宙遥感和地球遥感两大类,而我们所关注的仅仅是为了学科的应用和需要,以服务于国家经济建设和学科发展为目的,收集、传输、处理和识别从地表空间所获得的被测物体的电磁波信息,也就是为了某种目的而被限定地应用遥感技术手段,以所探测的被测物体数据信息资料或影像为其对象。

众所周知,对地理学研究对象的定义,历来众说纷纭,但其主题不外是研究地理环境和人地之间的相互关系。

基于上述观点,遥感地理学的研究对象应当是:

1. 被测地理要素和地理环境的电磁波辐射(包括发射、吸收、反射和透射)及其影像特征;

2. 对所获资源环境电磁波特征信息的处理、判定和解译手段及其方法;

3. 遥感数据信息资料所反映出来的自然与生产地域综合体的现势特征及其形成、发展和分布规律;

4. 遥感数据信息资料所显现出来的人类社会活动与地理环境间互相作用的现象及

其结果。

随着人口、资源与环境矛盾的日益增长，赋予地理学的基本任务是研究与掌握人类环境的结构、功能、演化规律以及人类活动与环境之间的相互关系。据此，通过对自然、经济和社会诸要素发生、发展的动态过程和地域分异规律，进行综合评估，制订能获得经济、社会和生态环境三效益的优化区域规划和发展模式，为合理利用国土资源、保护与改造自然环境、防御和治理自然灾害、测算及协调环境所能承受的人口容量等提供科学依据和对策方略，变已处于恶性循环的环境为良性循环，推动社会、经济的健康发展。

遥感技术的引入，为地理学的研究与应用提供了现代化的先进探测手段，开辟了服务于国家经济建设的广阔前景，同时也促进了遥感地理学的产生与发展，使遥感地理学在国土整治、资源调查、农业区划、城市规划、环境监测、灾害防治等各个领域发挥了重要作用。

鉴于学科发展和国家经济建设的需要，遥感地理学的任务应当是：

1. 利用遥感数据信息资料探测和掌握地球资源环境的结构、特征、分布及其演化规律；

2. 根据遥感数据信息资料判别和掌握自然资源的类别、空间分布实况及其利用现状；

3. 借助遥感技术手段进行对地球资源环境及其各个要素的动态监测，适时、适势、适度地防止或减少自然灾害所带来的影响；

4. 协调与改善人口、经济、生态环境之间的相互关系，纳人类环境于良性循环的轨道，以利于国民经济的正常发展，造福于子孙后代。

第二章

遥感地理学的物理基础

遥感地理学，是以遥感技术手段为其先决条件的。没有遥感技术的发展，也就不可能有遥感地理学的诞生。所以，遥感地理学的物理基础是以遥感的物理基础为其背景的。然而，遥感的物理基础涉及面太广，对遥感地理学而言，不可能也没必要作详细研究。但为了解译的需要，对遥感资料应用中所涉及到的基础物理知识略作介绍是十分必要的。因此，本章的主要内容只限于有关物体电磁波辐射的基本原理、特性，大气对太阳辐射的影响，地物的光谱特性、对其搜集、处理、存贮的方法以及彩色合成原理等有助于遥感地理学研究与应用的基础知识。

第一节　电磁波的辐射和电磁波特性

一、电磁波与电磁波谱

波是振动在空间的传播，是能量的一种动态形式，只有它与物质相互作用时才表现出来。如大家所熟悉的水波、声波、地震波等都是由振源发出的振动在弹性媒质中的传播，是振动着的弹性媒质中质点的位移矢量，均属机械波。而电磁波（包括光波、热辐射波、微波、无线电波等）则是由振源发出的电磁振动在空间的传播。

事实上，电磁波是以场表现出来的物质存在的一种形式。因此，它的传播不需要媒质作用，即使在真空中也能传播，这是它与机械波的本质区别。但在运动形式上，两者又都是波动，而波动的共性，就是用特征量（如波长 γ、频率 v、周期 T、波速 V、振幅 A、位相 φ 等）来描述它们的特征。

如图 2…1 所示，波动的基本特点是时空周期性，它可以由波动方程的波函数来表示。单位波长电磁波的一般函数表达式为：

$$\psi = A\sin[(\omega t - \kappa x) + \varphi] \quad (2-1)$$

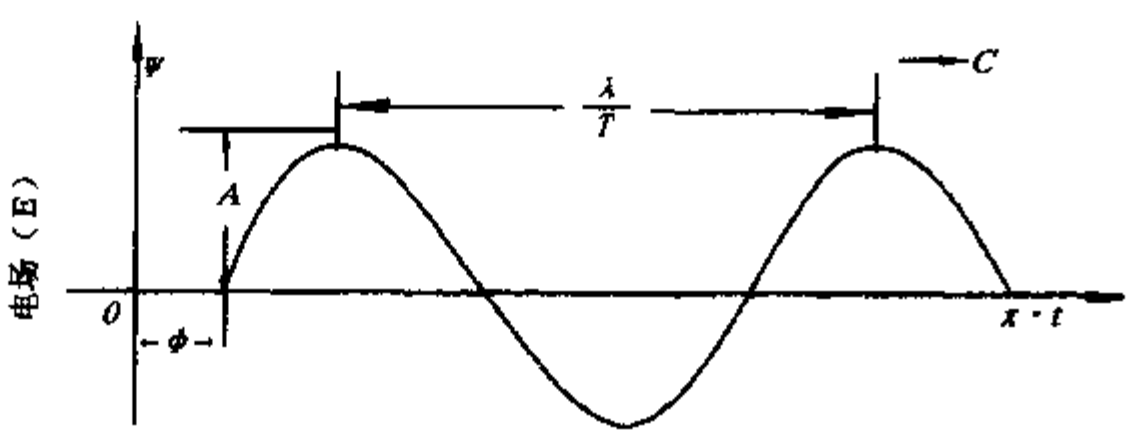


图 2—1　波函数图解

式中：

ψ —波函数(表示电场强度)；

A —振幅；$(\omega t-\kappa x)+\varphi$ —位相；

φ —初位相；$\omega=\frac{2\pi}{T}$ —圆频率；$\kappa=\frac{2\pi}{\lambda}$ —圆波数；t、x —时、空变量(t 表示时间、x 表示距离)。

波函数是由振幅和位相组成的。一般传感器仅记录电磁波的振幅信息，而丢失了位相信息；但在全息摄影中，它既记录电磁波的振幅信息，也记录其位相信息。

通常，用波长或频率(两者相同)来描述电磁波。习惯上，对短波(如γ射线、x 射线、紫外线、可见光、红外线等)常用波长表示；而对长波则多用频率表示(如无线电波、微波等)。电磁波的波长不同，是由于振源的差异所引起的。实验证明，电磁波的波长差异很大，处于从 10^{-12}cm 到 10^{9}cm 的一个很宽范围。由于波长或频率不同，其能量和物理特征也就不同。按照电磁波的波长、频率、能量大小和物理特征的差异，从波长最短、频率最大、能量最强的宇宙射线向后，依次排列为γ射线、x 射线、紫外线、可见光、红外线、微波、无线电波和低频电波等的图表称为电磁波谱。图 2—2 是表示遥感所用波段的电磁波谱。

电磁波谱中的电磁波，不论其波长的长短、频率的大小、能量的强弱，除具有在真空中传播速度相同(大约为每秒 30 万 km)并遵守同一的反射、折射、透射、吸收和散射等规律的共同特点外，还因其波长或频率不同，性质也有很大差别。例如可见光能直接对眼睛起作用，红外线能克服夜障，微波有穿透云、雾、烟、雨的功能等。

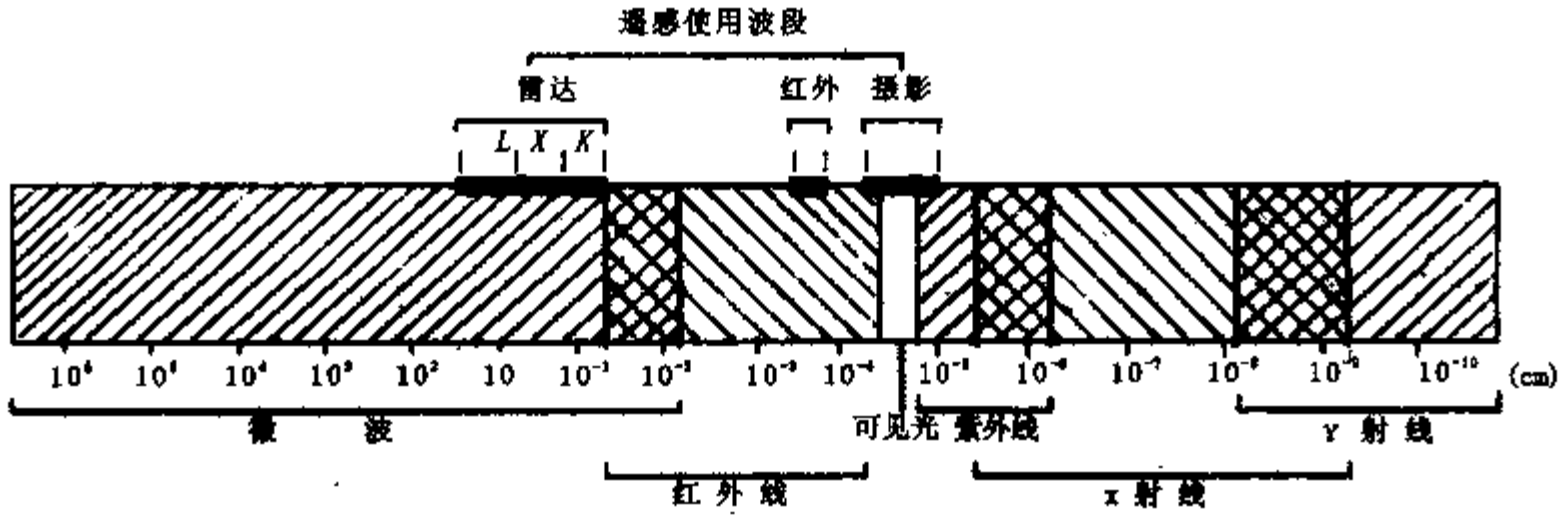


图 2 2 电磁波谱(表示遥感所用的波段)

目前，遥感技术所使用的电磁波是从紫外线、可见光、红外线到微波的光谱段。在地理遥感工作中，以可见光、红外线和微波波段更为重要。各光谱的特性有：

1. 紫外线

波长介于 0.01～0.4μm 之间。由于波长短于 0.3μm 的能量几乎全部都被大气层所吸收，因此，到达地面的只有 0.3～0.4μm 之间而且能量很少的部分。地面碳酸盐岩和漂浮于水面的油层对紫外线反射较强，所以，目前遥感多用于测定碳酸盐岩的分布和对石油污染的监测。

2. 可见光

可见光的波长范围是 0.4～0.76μm 之间。在电磁波谱中，可见光虽然只占一个十分狭窄的区间，但由于人的眼睛对其有十分敏锐的分辨能力，所以才能使我们感觉到自然界

的五光十色、绚丽多彩。因而，可见光也就成为我们鉴别物质特征的主要波段。

正如大家所熟悉的那样，我们已习惯于按颜色区分物体。颜色的差异是由于进入我们眼睛的光的波长不同所引起的。例如，波长为 0.45μm 的光触及眼睛视网膜后，我们就可看到蓝色；0.55μm 的光进入眼睛后，即可看到绿色；0.70μm 的光射及视网膜后，又能看到红色。可见光是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等色组成的，与其对应的波长范围如表 2—1。

表 2—1　遥感技术使用电磁波分类名称和波长范围

名称			波长范围
紫外线			100Å～0.4μm
可见光			0.4～0.76μm
红外线	近红外		0.76～3.0μm
	热红外	中红外	3～6μm
		远红外	6～15μm
		超远红外	15～1000μm
微波	毫米波		1～10mm
	厘米波		1～10cm
	分米波		10cm～1m

紫	0.38～0.43μm
蓝	0.43～0.47μm
青	0.47～0.50μm
绿	0.50～0.56μm
黄	0.56～0.59μm
橙	0.59～0.62μm
红	0.62～0.76μm

当电磁波到达我们的大脑时，每一种波长都产生一种不同的色彩信息，这就是不同的光产生不同颜色的道理。在遥感技术中，是以光学摄影方式和扫描方式接收和记录地物对可见光发射特征信息的。

3. 红外线

可见光长波边缘之外，就是红外线，其波长范围是 0.76～1 000μm 之间。实际上，在红外线范围内又可分为近红外和热红外两部分。

近红外波（波长在 0.76～3.0μm 之间）在性质上与可见光波非常相似，故又称为光红外。遥感技术中，多采用摄影或扫描方式接收与记录地物对太阳辐射的光红外反射。

热红外区域，包括了可产生热感的波长较长的中红外（波长为 3.0～6.0μm）、远红外（波长 6～15μm）和超远红外（15～1 000μm）射线。自然界中的任何物体，包括冰在内，只要温度高于 0°K（－273.16℃）时都能向外辐射红外线。在地球平均温度情况下，辐射峰值在 10μm 附近，而 10μm 附近的辐射波很少被大气吸收，又不易为天空微粒散射，所以，热红外测量不会受日照条件的限制，在夜间和有雾、霾的情况下可以照样进行，这比可见光遥感要优越得多。事实上，我们从地面任何一个物体所接收到的辐射有两种类型：一种是峰值在 0.5μm 附近的对太阳辐射的反射；另一种则是物体本身发射的峰值在 10μm 附近的热红外辐射。常温情况下，物体发射红外线的波长多在 3～40μm 之间，但由于 15μm 以上的超远红外线多被大气和水分子所吸收，所以，在遥感技术中主要利用 3～15μm 波段，更多的是利用 3～5μm 和 8～14μm 波段。

4. 微波

电磁波谱中波长更长的区域是微波区。为了应用上的方便，不同波谱区的波长用不同单位表示。例如，在可见光波段常用毫微米（nm、mμ），红外波段则用微米（μm、μ），微波波段却用毫米（mm）或厘米（cm）为单位，它们的换算关系如表 2—2 所示。

表 2—2　波长单位换算表

	米 m	厘米 cm	毫米 mm	微米 μ • μm	毫微米 nm • mμ	埃 Å	x 单位 x
1 米(m)	1	10^{2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{10}	10^{13}
1 厘米(cm)	10^{-2}	1	10	10^{4}	10^{7}	10^{8}	10^{11}
1 毫米(mm)	10^{-3}	10^{-1}	1	10^{3}	10^{6}	10^{7}	10^{10}
1 微米(μ)	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}	1	10^{3}	10^{4}	10^{7}
1 毫微米(nm)	10^{-9}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-3}	1	10	10^{4}
1 埃(Å)	10^{-10}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-1}	1	10^{3}
1x 单位	10^{-13}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-3}	1

电磁波除用波长表示外，还可以用频率(赫兹 Hz)表示。通常用波长表示短波，用频率表示长波，这样就使微波和无线电波一致起来。例如，无线电波一般采用每秒兆赫、兆周或百万周表示。

波长与频率的关系为：

$$f(\text{频率})=\frac{c(\text{光速})}{\gamma(\text{波长})} \quad \text{或}$$

$$\gamma=\frac{c}{f} \qquad (2—2)$$

这样，6 厘米的波长就相当于 5 千兆赫(GHz)，0.3 厘米的波长则相当于 100 千兆赫(1GHz＝1 • 10^{9}Hz)。

微波的波长范围一般介于 1mm～1m(即 300MHz～3 000GHz)之间。微波辐射和红外辐射的特征相似，都属于热辐射性质，它能提供给我们有关地面物体发射的热辐射信息，并能测量物体的亮度温度(物体的视在温度)，与红外相比，它不仅穿透雾、霾的能力强，而且也能穿透云雨和降雪。其主要优点是：

①易于聚成较窄、波束角达 1°左右的发射波束。

②因其近似直线传播，所以不受高空(100～400km)电高层反射的影响。

③地面被测物体对微波散射性能好。

④很少受自然界中其他电磁波的干扰。

二、电磁波的特性

电磁波是一种电场矢量(E)和磁场矢量(B)相互正交且又都与其传播方向(V)相垂直的横波(图 2—

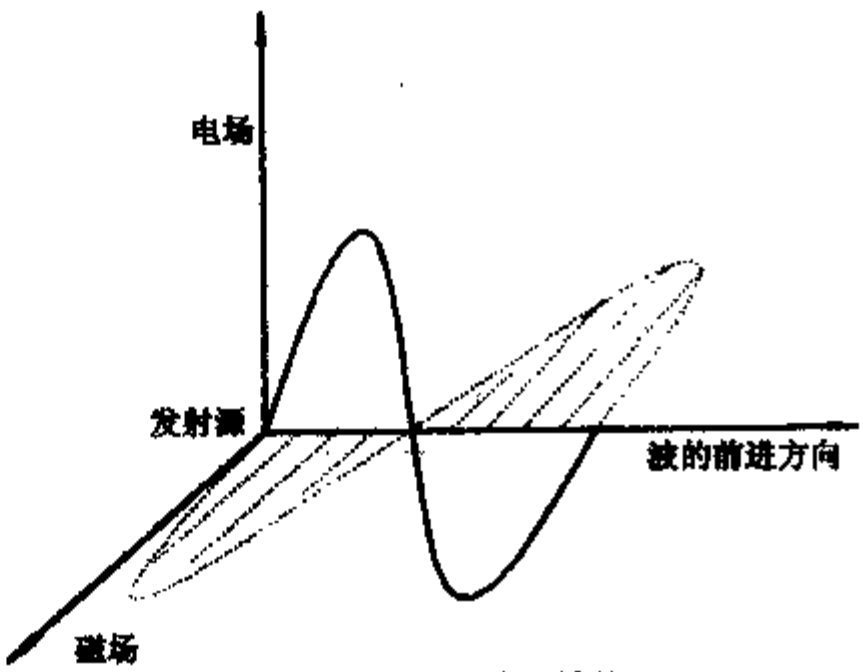


图 2—3　电磁波的结构

3)，它具有量子性和波动性特征，是连续的波动性和不连续的量子性相互对立统一的粒子流。正由于具备了这两个特征，才能使其在空间进行传播和辐射。

1. 量子特性

电磁波是不停地运动着的密集的、量子化的粒子流，它既有能量(E)又有动量(P)，而且只有在波动中才能显示出来，它们和波长(λ)、波的频率(f)有如下关系：

$$E=K\cdot f \qquad (2—3)$$

$$P=\frac{K}{\lambda} \qquad (2—4)$$

式中：$K=6.6\cdot10^{-27}erg\cdot s$ 或 $6.625\cdot10^{-34}J\cdot s$，称为普朗克常数；

λ —波长，单位：μm；

f —频率，单位：Hz 或 $kHz\cdot s^{-1}$。

单位体积内的光子数量称为光子密度，它能决定电磁波强度。量子化的光子在电磁波的发射过程中是一个一个地发射的，同样，在吸收过程中也是一个一个被吸收的。了解了电磁波的这个特征，才能正确地理解遥感的实质。

2. 波动特性

电磁波(光子微粒流)具有有规则的振动特征，其振动方向垂直于它的传播方向。在1秒钟内的传播距离叫波速(C)，电磁波在真空中的传播速度和光速完全相等，为 2.998×10^{8}m/s(约为每秒30万km)。在单位时间内振动的波数称为频率(f)，它们之间的关系可表达为：

$$C=\lambda\cdot f \qquad (2—5)$$

$$E=K\cdot\frac{C}{\lambda}=K\cdot f \qquad (2—6)$$

正因为电磁波具有波动特性，所以它才能产生相干、衍射、偏振(极化)和色散现象。

(1)相干现象　两个独立波在一个区域相遇所形成的波动，其振幅等于两个独立波的振幅之和(图2—4)。法国学者傅立叶证明了任何复杂的波形实际上都是由许多正弦波叠加而成的。正如在静止水面上有两个同时存在的水波，当其扩展开来的时候，在波纹重叠的地方有些水波的振幅加强了，而另一些地方的振幅又被削弱了一样。这种对影响波的合成现象称之为相干现象。

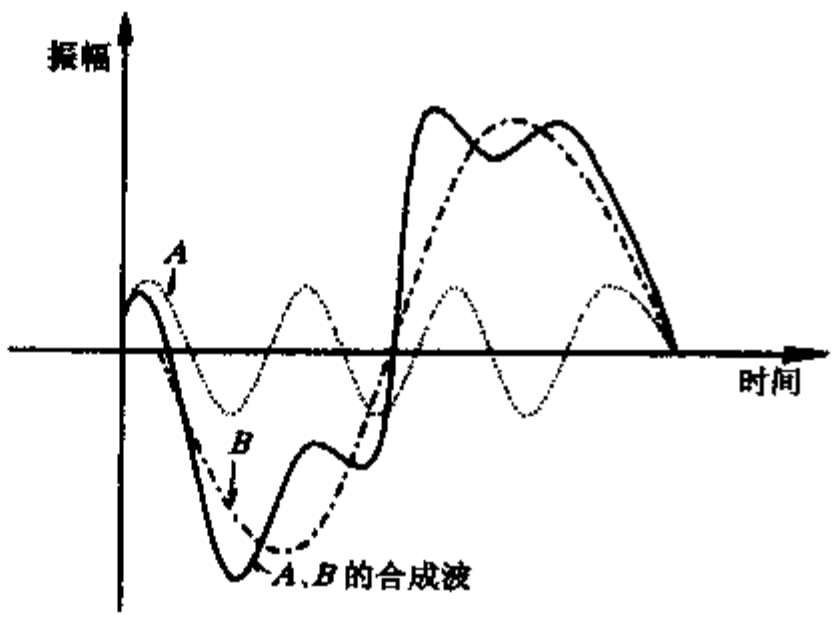


图2—4　两个波的合成

(2)衍射现象　当电磁波投射到有限大小且不能透过的障碍物上时，能绕过障碍物边沿且改变了方向进入障碍物后的阴影后，波的这种通过障碍物边沿所引起的方向改变现象，叫做衍射。

(3)偏振现象　电场强度矢量方向随时间变化的方式称之为极化(偏振现象)，它是可见光和微波的重要特征。电磁波的极化有线极化、圆极化和椭圆极化之分，其中以线极化

与遥感技术的关系致为密切。在线极化中，又可分为水平极化和垂直极化两类，通常是以电场矢量 E 与入射面的关系为标准来确定的。若电场矢量 E 与入射面相互垂直称为水平极化；如两者相互平行则谓垂直极化。不同极化所引起的回波能量具有不同意义。一般来说，水平极化的回射能量信息比较丰富，而垂直极化却可以突出主题。故在遥感技术中如何保持电磁波的极化方向具有完整的系统性是十分重要的。

(4)色散现象　电磁波在真空中传播时，其速度与其频率、波长是无关的。它一旦进入了某种介质后，光速就会发生变化，面且不同波长、不同频率的光在同一介质中的传播速度也不相同。正如一束白光通过三棱镜后就分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫组成的光谱彩带一样，形成了电磁波的分解现象，这种现象就叫色散。

三、电磁波辐射

通常对电磁波的发射、吸收、反射和透射现象称为电磁波辐射。研究物体产生电磁波辐射的原因是一种非常复杂的过程。一般情况下，由于组成物质粒子的无规则运动，引起了粒子的相互碰撞，结果，产生了电子能级跃迁和原子、分于振动、转动状态的改变，从面产生了不同波长的电磁波辐射。众所周知，物质是由原子和分子组成的，当组成物质的原子，在高温条件下因其电子轨道的改变，即可产生原子辐射；分于也有振动、转动或其他复杂的运动。在常温状态下，当原子、分子的振动或转动状态发生改变时，也能发射或吸收一定波长的电磁波。实验证明，因电子轨道变化而产生的原子辐射的典型波长多在红外、可见光和紫外波段内；由原子、分子的振动状态发生改变，则能发射、吸收短和中等波长的红外线；若其转动状态发生改变时，则能发射、吸收远红外和短波微波。

1928 年，拉曼(*Raman*)发现分子运动时有与邻近分子相互碰撞现象。因此，将这种现象称之为拉曼效应。由波长变化所呈现的光谱叫拉曼光谱，可用以鉴定物质特征。气体中的分子可到处自由运动，拉曼光谱显示得特别好，在鉴别和分析空气污染物质如 SO_2 和 NO_2 中非常有用。

另一种发射电磁波的重要现象是等离子体发射。当物体处于高温状态时，通常会出现完全脱离电子壳层轨道的自由电于，这种带负电的自由电子与带正电的原子核相遇时会引起电场和磁场的迅速变化，并释放出巨大能量，产生各种波长的电磁波并有连续的波谱特征。自然界中最常见的等离子发射体就是太阳，太阳发出的电磁波辐射和遥感关系十分密切。

除上述原因外，某些物体还会因其内部发生化学变化或放射性元素的蜕变而产生热辐射。

当外来电磁波照射到物体表面与其发生作用后，还会发生再辐射现象。这是外来电磁波和物体表面发生作用时，使原来电磁波的强度、方向、波长和位相等特征发生变化的结果。有些物体，当入射电磁波与其发生作用后会使物体表面的自由电荷和束缚电荷产生振荡运动，令其处于激化状态，因面产生新的电磁波；或外来电磁波与其相互作用的结果使物体获得热能，再由热能转化成新的电磁波。还有些物体，当吸收某一棱长的辐射后，不需将其转化成热能而直接将其转为波长较长的电磁波发射出去，这种由吸收短波直接发射长波的过程称为荧光发射。例如，植物的叶绿素能吸收 0.4—0.68μm 可见光后将其中一

部分转变为 0.7～0.85μm 红外荧光，但其强度远较叶绿素的红外辐射强度为低。

物体对辐射的吸收、反射和透射能力，分别用吸收率、反射率和透射率表示。

不论何种物体，在它向外放出辐射的同时，必然也会接收到周围物体对它的辐射，但投射到物体上的辐射并不能为其全部吸收，因为有一部分被反射，还有一部分则被透过物体(图 2-5)。

设投射到物体上的总辐射能为 Q_0；被吸收的为 Q_α；被反射的为 Q_γ；透过的为 Q_δ。根据能量守恒定律：$Q_\alpha+Q_\gamma+Q_\delta=Q_0$

将上式等号两边除以 Q_0，得：

$$\frac{Q_\alpha}{Q_0}+\frac{Q_\gamma}{Q_0}+\frac{Q_\delta}{Q_0}=1 \qquad (2—7)$$

式中，等号左边第一项是物体所吸收的辐射与投射于其上的辐射之比，称为吸收率(α)；第二项是物体反射的辐射与投射于其上的辐射之比，称为反射率(γ)；第三项为透过物体的辐射与投射于其上的辐射之比，称为透射率(δ)，则：

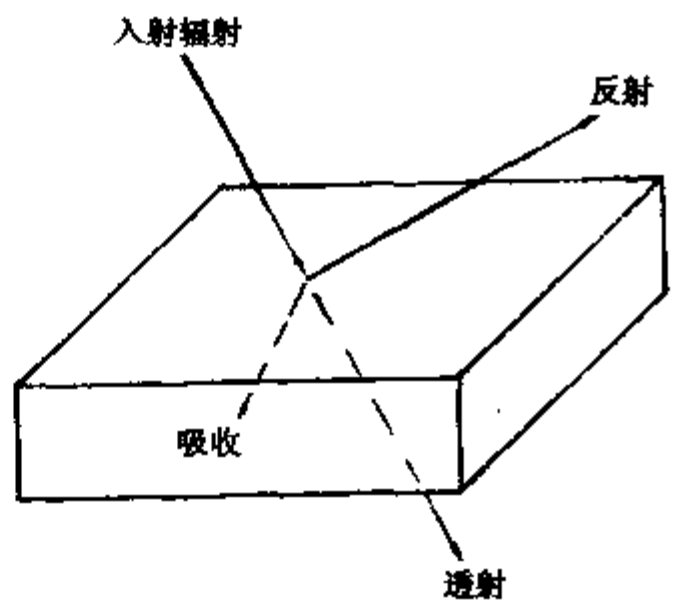


图 2—5　物体对辐射的吸收、反射和透射

$$\alpha+\gamma+\delta=1 \qquad (2—8)$$

式中 α、γ、δ 都是 0～1 之间变化的无量纲量，分别表示物体对辐射吸收、反射和透射的能力。

物体的反射率、吸收率和透射率的大小随辐射波长及物体性质而改变。例如，干洁空气对红外线是近似透明的，而水汽对红外线却能强烈地吸收；雪对太阳辐射的反射率很大，但对地面和大气的辐射几乎能全部吸收。

四、黑体辐射及其有关基本定律

1. 黑体辐射

在任何温度下对各种不同波长辐射能量的吸收率都等于 1 的物体，也就是说，对投射于其上的辐射能完全吸收并有最大发射率的物体，称为黑体。黑体是一种理想的辐射体，在自然界中并不存在。但为了研究方便，在一定条件下(如在一定波长范围内)，可以把某些物体近似地看成为黑体。黑体的热辐射称为黑体辐射。

2. 黑体辐射定律

(1)黑体辐射通量密度　在单位时间内通过某一平面的辐射总量，叫辐射通量，单位面积上的辐射通量称为辐射通量密度，常用 W 表示，单位是 $W \cdot cm^{-2}$。

辐射通量密度没有限定方向，可以垂直于射线或与其成某一角度。在单位时间内通过垂直于选定方向上的单位面积、单位立体角内的辐射能，称为辐射强度，常以 I 表示，单位是 $W \cdot cm^{-2} \cdot$ 立体弧度。

辐射强度与辐射通量密度有密切关系，在平行光辐射的特殊情况下，辐射强度与辐射通量密度有如下关系：

$$I=\frac{W}{\cos\theta} \qquad (2—9)$$

式中 θ 为辐射体表面的法线方向与选定方向间的夹角。黑体辐射通量密度，可用普朗克(*Planck*)公式表示如下：

$$W_\lambda=\frac{2\pi ch^2}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{ch/\lambda\kappa T}-1} \qquad (2—10)$$

式中：W_λ—光谱辐射通量密度，单位：$W\cdot cm^{-2}\cdot\mu m^{-1}$；　λ—波长，单位：μm；

h—普朗克常数$=(6.6256\pm0.0005)\times10^{-34}W\cdot s^2$；　c—光速$=3\times10^{10}cm/s$；

T—绝对温度，单位：K；

κ—波尔兹曼常数$=1.38054\pm0.00018\times10^{-23}W\cdot s\cdot K^{-1}$；

e—自然对数的底$=2.718$。

普朗克公式表明了黑体辐射通量密度与温度、波长有关，图 2—6 表示了温度从 200K 到 1 000K 范围内黑体辐射波长的分布特征。由图可知：

①辐射通量密度随波长连续变化，曲线只有一个最大值。

②温度越高，辐射通量密度越大，不同温度的曲线不相交。

③辐射最大值所对应的波长，随着温度的升高向短波方向移动。

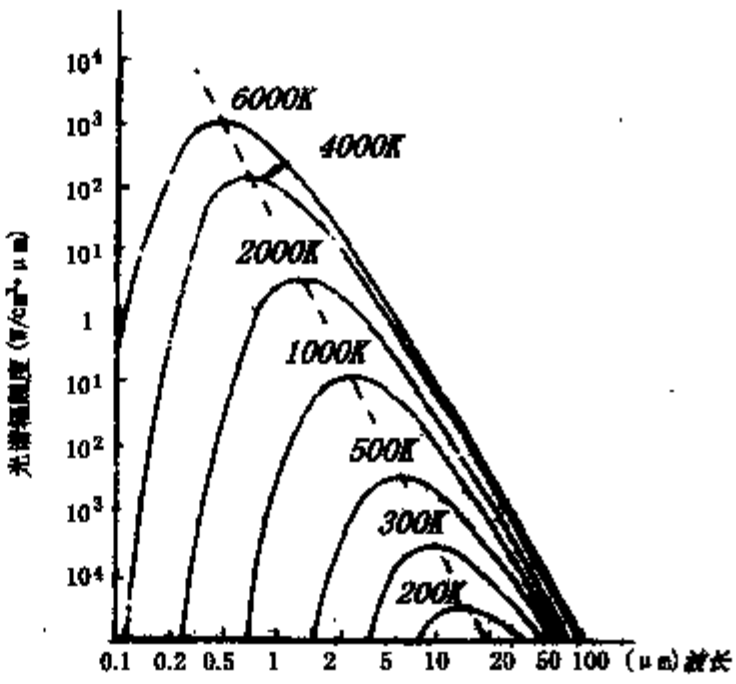


图 2—6　不同温度的黑体辐射

（2）斯蒂芬—玻耳兹曼（*Stefan — Boltzman*）定律　据研究，黑体辐射通量密度与其本身绝对温度的 4 次方成正比，这就是斯蒂芬—玻耳兹曼定律。

即　　$W_{黑}=\sigma T^4$　　(2—11)

式中：$W_{黑}$—黑体辐射通量密度，单位：$W\cdot cm^{-2}$

$\sigma=(5.6697\pm0.00297)\times10^{-12}W\cdot cm^{-2}K^{-4}$，为斯蒂芬—玻耳兹曼常数。

斯蒂芬—玻耳兹曼定律告诉我们，辐射通量密度随温度的增加而迅速增大，它与其温度的 4 次方成正比，因此，温度的微小变化，会导致辐射通量密度的很大变化。用红外装置测温，就是根据这一原理设计的。

(3)维恩(*Wein*)位移定律　图 2—6 中的虚线，表示了辐射通量密度峰值的偏移轨迹。它说明了辐射通量密度在某个波长上的最大值，是随温度的升高而渐向波长较短的方向移动的。其规律是辐射通量密度的峰值波长与其绝对温度成反比。

即　　$\lambda_{max}\cdot T=b$　　(2—12)

式中：λ_{max}—辐射通量密度的峰值波长　b 为常数$=2897.8\pm0.4(\mu m\cdot K)$。

于是，2—12 式则为　$\lambda_{max}T=2\ 897.8\pm0.4(\mu m\cdot K)$。　　(2—13)

2—13 式表明，物体温度愈高，其单色辐射极大值所对应的波长愈短；反之，物体温度

愈低，其辐射的波长愈长。维恩位移定律描述了辐射能量峰值随温度升高向较短波长的方向偏移的规律。它表明高温地物发射波长较短的电磁波；低温地物发射波长较长的电磁波；常温地物，如地物为 290K 时，则发射峰值为 10μm 的红外线。所以，维恩位移定律将有助于对所要探测的目标进行最佳工作波段传感器的选择。

(4)基尔霍夫(*Kirchhoff*)定律　在研究辐射传输过程中，基尔霍夫发现：在任一给定温度、波长的地物上，其单位面积辐射通量密度 $W_{\lambda T}$ 和吸收率 $\alpha_{\lambda T}$ 之比值等于该温度下同波长、同面积时的黑体辐射通量密度 $W_{\lambda T黑}$。这就是基尔霍夫定律。其数学表达式为：

$$\frac{W_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}}=W_{\lambda T黑} \qquad (2—14)$$

根据基尔霍夫定律，公式可写为：

$$\alpha_{\lambda T}=\frac{W_{\lambda T}}{W_{\lambda T黑}} \qquad (2—15)$$

又从发射率定义得：

$$\varepsilon_{\lambda T}=\frac{W_{\lambda T}}{W_{\lambda T黑}} \qquad (2—16)$$

故：$\varepsilon_{\lambda T}=\alpha_{\lambda T}$ (2—17)

式 2—17 表明：

①在一定波长、一定温度下，一个物体的吸收率等于该物体同温度、同波长的发射率。对不同物体而言，辐射能力强的物质，其吸收能力也强；辐射能力弱的物质，其吸收能力也弱，即好的吸收体也是好的发射体。黑体吸收能力最强，所以它也是最好的发射体。

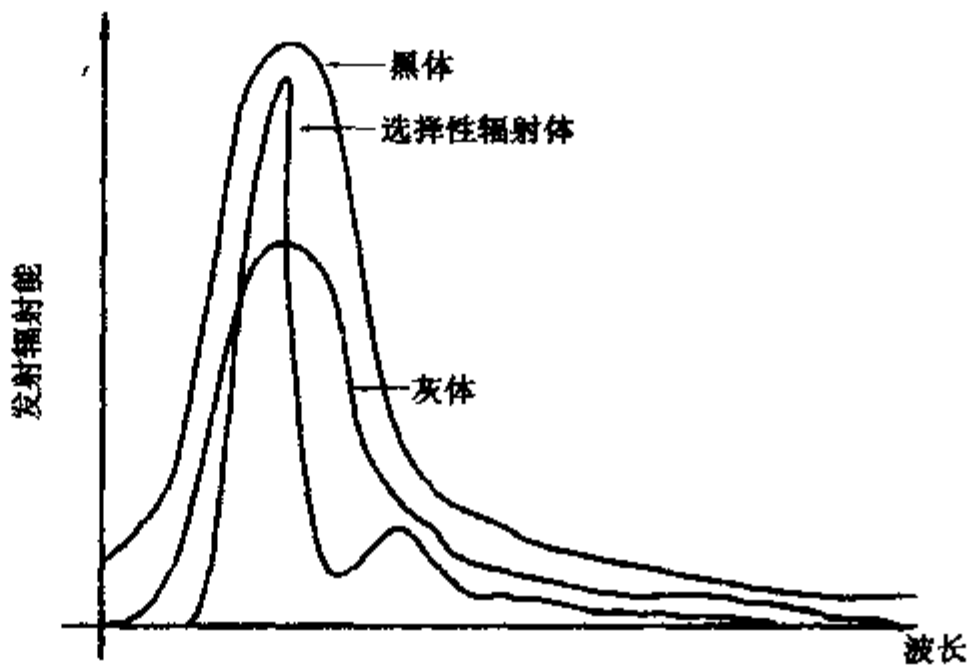


图 2—7　不同类型辐射体

②下标 λ，表示在一定温度 T 下，不同波长的 α_λ、ε_λ 和 W_λ 的数值不同。即同一物体在温度 T 时它发射某一波长的辐射，在同一温度下也吸收这一波长的辐射。

按发射率与波长的不同关系，可以把红外辐射源分为三类，如图 2—7 所示：

①黑体或绝对黑体　其 $\varepsilon_\lambda=\varepsilon=1$，$\varepsilon$ 不随波长变长。

②灰体　其 $\varepsilon_\lambda=\varepsilon=<1$ 的常数，因而吸收率 $\alpha<1$，ε 不随波长变化。

③选择性辐射体　其 ε_λ 随波长而变化，且 $\varepsilon_\lambda<1$，因而 α 也随波长变化，且 $\alpha<1$。

图 2—8 表示在同一温度下各种辐射体发射率的情况。其中，黑体的发射率最大($\varepsilon=1$)。因此，黑体光谱分布

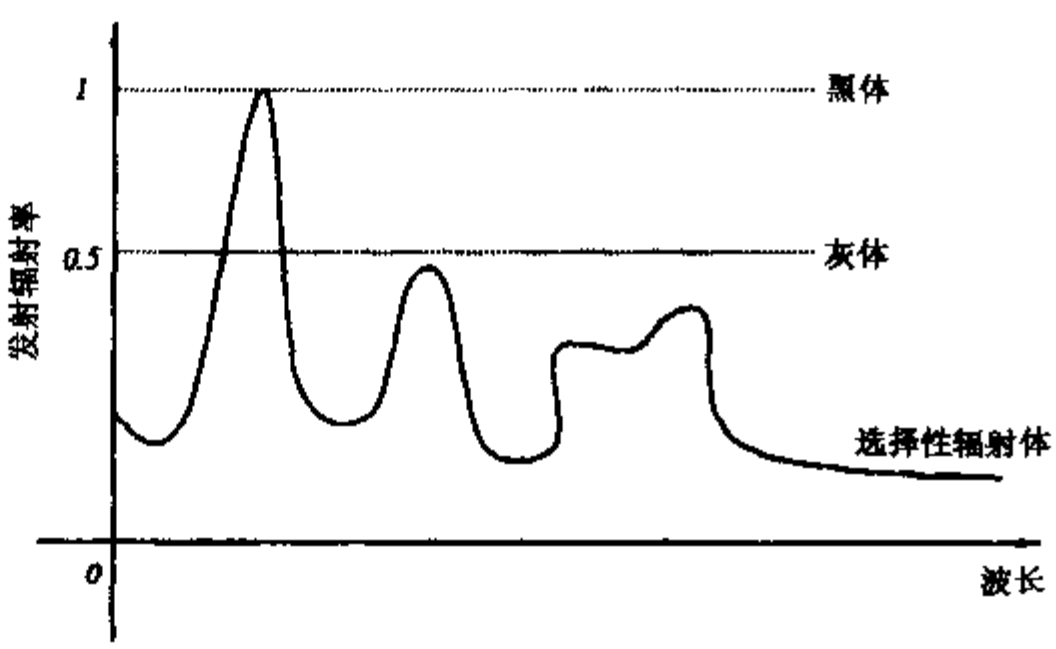


图 2—8　不同辐射体的发射率

曲线包络了各种辐射体的光谱辐射曲线。灰体的发射率是一个不变的分数，是黑体发射率的几分之一，当其越接近 1 时，也就越接近黑体。选择性辐射体的发射率随波长变化，但任一波长的发射率，其值都小于黑体发射率($\varepsilon<1$)。

为了简化计算工作，在红外遥感设计中，可以把一些红外辐射体(如人体、喷气式飞机尾喷管、无动力空间飞行器、地球背景以及空间背景等)看成灰体，也可以在某些波段内把选择性辐射体(ε_λ 在这些波段内近似不变)看成灰体。

在同温度条件下，基尔霍夫定律适用于各种波长的辐射体，因此，式 2—14 又可写成：

$$\frac{W_T}{\alpha_T}=W_{T黑} \qquad (2—18)$$

以上讨论表明，在辐射平衡条件下，物体在某波长 λ 的辐射通量密度和对该波长的吸收率之比值与物体的性质无关，对所有物体来说，这一比值只是某波长 λ 和温度的函数。从式 2—15 可得：

$$W_{\lambda T}=\alpha_{\lambda T}\cdot W_{\lambda T黑} \qquad (2—19)$$

上式表明，基尔霍夫定律把一般物体的辐射、吸收与黑体辐射联系起来，从而有可能通过对黑体辐射的研究来了解一般物体的辐射。

3. 黑体微波辐射

在一定温度下，任何地物不仅向空间发射红外辐射，而且还发射微波辐射。地物的微波辐射基本上和红外辐射相似，符合热辐射定律，但微波辐射是地物在低温状态下的辐射，具有温度越低微波辐射也越明显的特征。

自然界中一般地物的温度多在 250K～350K 左右，其辐射峰值波长在 10μm 附近，而微波波长要比峰值波长大得多，所以在微波区域黑体辐射的微波功率常用瑞利－金斯公式近似地代替普朗克公式，即：

$$W_\gamma=\frac{2\pi\kappa T}{\lambda^2} \qquad (2—20)$$

式中：W_γ—黑体单位面积、单位立体角和单位频率范围内所辐射的微波功率，单位：$W\cdot cm^{-2}\cdot$ 球面角 · 赫；κ—玻尔兹曼常数；T—绝对温度，单位：K；λ—波长，单位：μm。

上式表明：黑体辐射的微波功率与温度成正比，与波长的平方成反比。一般地物虽不是黑体，但其辐射功率 $W_{s\gamma}$ 与同温度下黑体辐射的微波功率之间有一定的比例关系，即：

$$W_{s\gamma}=\varepsilon_1 W_\gamma \qquad (2—21)$$

式中：ε_1—地物在微波波段的发射率。

表 2—3　不同地物微波与红外发射率的比较

地　物	波段			
	微　波		红　外	
	$\lambda=3cm$	$\lambda=3mm$	$\lambda=10\mu m$	$\lambda=4\mu m$
钢	0.00	0.00	0.6～0.9	0.6～0.9
水	0.38	0.63	0.99	0.96
干　沙	0.90	0.86	0.95	0.83
混凝土	0.86	0.92	0.90	0.91

表 2—3 是在相同条件下一些地物在微波波段与红外波段发射率的比较，表中表示了

不同地物之间微波发射率的差异要比红外发射率明显，这样，在可见光、红外波段中一些不易识别的地物，而在微波波段中则比较容易地进行判别。因此，在地学领域中利用微波辐射进行对地物的探测已成为一种可靠而有力的手段。

第二节　太阳辐射和大气对太阳辐射的影响

据计算，整个地球在一年中可从太阳获得 5.44×10^{24}J 的辐射能，而来自宇宙其他星体的辐射能仅为太阳辐射能的亿分之一；由地球内部传输到地而的能量也不过是太阳辐射能的万分之一。相比之下，除太阳辐射能外，其他能量来源都是微不足道的。可见，太阳辐射才是地球所获能量的主要源泉，也是被动式遥感系统中的主要辐射源。本节将着重介绍有关太阳辐射和大气对太阳辐射影响的基本知识。

一、太阳辐射

太阳是个炽热的气体大火球，其表面温度高达 6 000K，具有极强的辐射能力。太阳辐射能力根据其波长的长短进行排列的曲线称为太阳辐射光谱(图 2—9)。图中实线表示地球大气上界太阳光谱中的能量分布曲线，虚线是以 T＝6 000K 时根据黑体辐射公式计算的黑体光谱能量分布曲线，两者非常相似。所以，可以把太阳辐射看作是黑体辐射。因此，有关黑体辐射的定律可以应用于太阳辐射。例如，利用斯蒂芬－玻尔兹曼和维恩定律可以计算出太阳的表面温度；也可利用天文仪器测得的太阳表而温度，计算出太阳辐射强度和辐射最强的波长。

根据太阳辐射光谱的波长范围，可将其分为紫外区、可见光区和红外区 3 部分。利用维恩定律可以算出太阳辐射最强的波长是 0.475μm，相当于可见光范围内的青光部分。据测算，在太阳全部辐射能中，0.15～4μm 范围的波长占 99%以上，且主要分布在可见光区和红外区。其中，0.4～0.76μm 的可见光即占太阳辐射总能量的 50%，红外区占 43%，而紫外区(包括 χ 射线、γ 射线)部分仅占太阳辐射总能量的 7%。

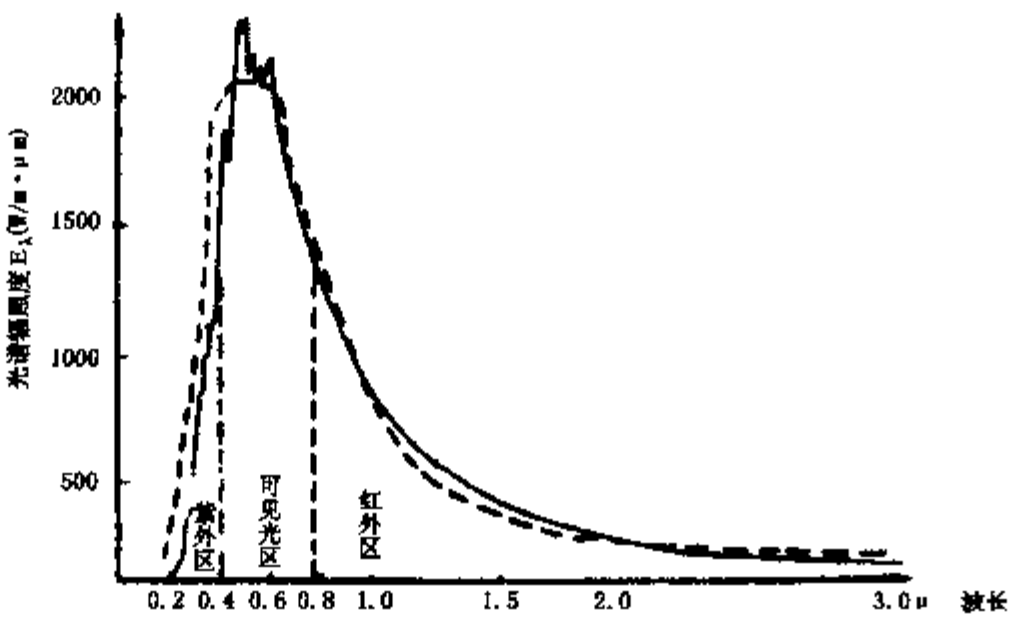


图 2—9　太阳辐射光谱

太阳辐射主要来源于太阳大气辐射。根据太阳大气的物理性质，又可将其分为光球、色球和日冕 3 个同心圈层。据研究，太阳辐射的可见光和红外波段几乎全部都是从光球层称之为米粒的部分辐射出来的；1 500 Å 以下的短波主要来自色球层和日冕层的高温辐射，无线电厘米波是由太阳色球层辐射的，而米波则是由日冕层辐射的。

太阳辐射是以电磁波的形式通过星际空间到达地球表而的。通常，地球附近空间的太

阳辐射强度以太阳常数 S 表征，所谓太阳常数，就是在地球大气之外，日地平均距离处，单位时间内通过垂直于阳光的单位面积上所获得的太阳辐射能量，其值为 1.37KW/m²。

然而，由于地球的公转运动，日地距离是不断变化的。随着日地距离的变化，所观测到的单位垂直面积上的太阳辐射强度自然也就有所差异。如图 2—10 所示，设太阳辐射总量 L 同样较均匀地分配在半径为 r，而积是 $4\pi r^2$ 和半径为 a，面积是 $4\pi a^2$ 的两个球面上，根据 S 和 S′的含义，可列出：

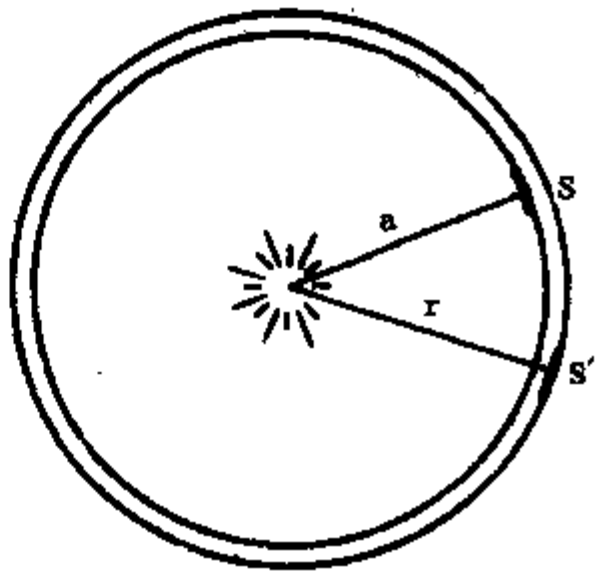


图 2—10　到达地球的太阳辐射

$$L=\frac{4\pi r^2 S'}{4\pi a^2 S} \qquad (2—22)$$

或
$$\frac{S}{S'}=\frac{r^2}{a^2} \qquad (2—23)$$

式 2—23 说明：垂直于太阳辐射的地球单位面积上所受到的太阳辐射能量是与日地距离的平方成反比的。

也就是说，离太阳越远，观测到的太阳辐射强度越弱。所以，地球在远日点和近日点的太阳常数约有 7%的差异。据测定，太阳常数还有 1～2%范围内的周期性变化，这可能与太阳黑子的活动周期有关。在太阳黑子最多的年份，紫外线部分某些波长辐射强度可能为太阳黑子最少年份的 20 倍。

将太阳常数值代入式 2—22 可求得太阳总辐射功率，即：

$$L=4\pi a^2 S=3.85\times10^{26}W(J/s) \qquad (2—24)$$

利用太阳常数还可求得整个地球上所获太阳能的平均功率 L′。即：

$$L'=\pi R^2 S=1.75\times10^{17}W \qquad (2—25)$$

式中 $R=6\ 371$km 为地球半径；πR^2 是整个地球的等效垂直接收面积，即地球中心圆截而面积。将 L 和 L′相比，可知地球所获太阳辐射能量仅仅是全部太阳辐射能量的 22 亿分之一。尽管如此，这些能量已相当于全世界发电量的若干万倍。对地球面言，它有着非常重要的意义，因为它是地球上主要的光热源泉。

二、大气的成分及其垂直结构

太阳辐射需穿过大气圆才能到达地面，由于大气对太阳辐射有一定的吸收、散射和反射作用，致使辐射于大气上界的太阳辐射不能完全到达地面，所以，到达地面的太阳辐射就少于太阳常数(1.37KW/m²)。同样，地物对通过大气圆到达地表的太阳辐射进行选择性吸收和反射，其反射能量又再一次通过大气后才到达接收和记录其能量反射或发射光谱的仪器，即获取地物各种特征信息的传感器。因此，了解大气对太阳辐射的影响对遥感技术有直接意义，故在此先对大气成分及其垂直结构特征略作介绍。

1. 大气成分

大气是由混合在一起的多种气体和一些悬浮着的固体杂质以及液体微粒组成的。其

具体特征与作用如下：

(1)干洁空气　除水汽、液体和固体杂质外，整个混合气体称为干洁空气。其主要成分是氮、氧、氩和二氧化碳以及少量的氢、氖、氪、氙、臭氧等稀有气体(见表 2—4)。其中，氮、氧、氩合计占空气容量的 99.9%，其他氖、氦、氙、臭氧、氢等在空气总容量中还占不到 0.01%。

表 2—4　干洁空气的成份(25km 高度以下)

气体成分	分子量 μ	空气中的含量%		密　度	
		按容积	按质量	绝对值(g/m^3)	对干洁空气的比值
氮　N_2	28.016	78.09	75.52	1250	0.967
氧　O_2	32.000	20.95	23.15	1429	1.105
氩　Ar	39.944	0.93	1.28	1786	1.379
二氧化碳 CO_2	44.010	0.03	0.05	1977	1.529
臭氧 O_3	48.000	1.0×10^{-6}		2140	1.624
干洁空气	28.966	100.00	100.00	1293	1.0

在干洁空气中，臭氧和二氧化碳所占比例虽然极少，但对太阳辐射和地面辐射而言却有很大的吸收作用。臭氧能大量吸收紫外线；二氧化碳虽然对太阳辐射吸收很少，但却能强烈地吸收地面辐射，并向周围空气和地面放射长波辐射。因此，对用遥感技术所获取的地物特征信息具有很大影响。

(2)水汽　大气中的水汽来自江、河、湖、海以及潮湿物体表面的水分蒸发，并借助于空气的垂直交换向上输送。大气中的水汽含量极不固定，且随时间、地点、条件面变化。一般说来，按其所占容积，变化范围多在 0～4%之间。观测表明，空气中的水汽含量随高度的增加而减少，在 1.5～2km 的高度上，大气中的水汽含量仅及地面的 1/2；在 5km 的高度，只相当于地面的 1/10，再往上就更少了。

大气中的水汽含量虽然不多，但它除有成云致雨、落雪降雹的能力，是天气变化中的一个重要因素外，还能强烈地吸收地面辐射，同时又向周围空气和地面放射长波辐射，并在水相变化中放出或吸收热量，这些都对地物特征信息有重大影响。

(3)大气中的固体杂质和液体微粒　大气中悬浮着各式各样的固体杂质和液体微粒。固体杂质包括物质燃烧后所产生的烟粒、土壤微粒和火山喷发的烟尘、海水飞溅扬入大气被蒸发后的盐粒、流星燃烧所产生的微粒和宇宙尘埃以及细菌、微生物、植物的孢于、花粉等。这些微粒的半径一般在 10^{-2}～10^{-8}cm 之间，多集中在底层大气中。

固体杂质的分布，也是随时间、地区和天气条件而变化的。它们浮游于空间，不仅会使大气能见度变坏、充当水汽凝结的核心、对云雨的形成起重要作用，同时，固体微粒能吸收一部分太阳辐射和阻挡地面放热。

液体微粒是指悬浮于大气中的水滴、过冷水滴和冰晶等水汽凝结物，它们常聚集在一起以云雾等形式出现，使能见度变坏，削弱太阳辐射和地面辐射。

从遥感角度出发，不论是面体杂质还是液体微粒，都对太阳辐射和地面辐射有很大影响，从而影响着被测物体的信息及其影像特征，是值得重视的因素。

2. 大气的垂直结构

大气密度随高度的增加而迅速减少，并逐步过渡到与星际气体相连接，很难为其划定明确的界限。所以，大气圈的上界至今尚未明确。严格地说，根本就不存在大气圈的上界。虽然如此，为了研究方便，我们还是可以通过物理分析确定一个最大高度来说明大气圈的垂直范围。但由于着眼点不同，对这一最大高度划定所得的结论也有所不同。通常有两种划法，一是着眼于大气中出现的某些物理现象（如极光）；另一种是着眼于大气密度，用接近于星际气体密度（星际空间的中性气体质量密度为 1 个/cm^3，电子浓度为 10^2～10^3 个/cm^3。）的高度来估算大气的上界。前者推算的结果是 1 200km；后者据人造地球卫星探测资料推算，大约是 2 000～3 000km。遥感所涉及到的空间范围包括地球的大气层和大气层外的宇宙空间。从本书的角度出发，暂以 1 200km 为大气圈上界。

据观测，大气在垂直方向上的物理性质是有显著差别的。一般根据温度、成分、电荷等物理性质，并考虑到大气的垂直运动等情况，可将大气圈分为 5 层：

(1)对流层　对流层是大气中最低的一层，其下界是地面，上界随纬度和季节的变化而不同。就其平均厚度而言，在低纬度为 17～18km，中纬度为 10～12km，高纬度为 8～9km。对流层内有 3 个显著特征：

①气温随高度的增加而降低：对流层的空气增热，主要是依靠地面的长波辐射。所以，愈近地而，空气受热愈多，故气温随高度的增加而降低。温度随高度增加而减少的数值，则视地区、季节和高度的不同有所差异。就平均而言，每升高 100m，气温下降约 0.65℃。

②空气对流运动显著　由于地表而的不均匀加热，从而产生了大气的对流运动，使高低层之间的空气进行交换，近地而的热量、水汽、杂质等得以向上空传送，从而导致一系列天气现象的形成。

③天气现象复杂多变　同大气总厚度比较起来，对流层虽不及整个大气层的 1%，但由于地球的引力作用，该层却集中了整个大气质量的 3/4 和几乎全部的水汽。所以，随着气温的变化，产生了一系列物理过程，形成复杂的天气现象，一切阴、晴、风、雨都发生在对流层中，也就是说，只有对流层才有复杂的天气过程和天气现象。可见，对流层与地表自然界和人类的关系至为密切。

从遥感的角度出发，对流层是现代航空遥感的主要活动区域。由于大气气体和气溶胶的吸收作用，使电磁波的传播在该层受到衰减，所以遥感中研究电磁波的特性，主要是研究电磁波在对流层内的传播情况。

此外，在对流层和平流层之间，还存在一个厚度几百米到 1～2km 的过渡地带，称为对流层顶。该层气温随高度增加变化很小，或者几乎是等温。它对对流层内的垂直气流有很大的阻挡作用。上升的水汽、尘埃多聚集其下，使那里的能见度变坏。

(2)平流层　自对流层顶以上到距下界而 50～55km 的范围是平流层。在平流层内，气流比较稳定，没有垂直对流现象。气温基本上不受地面影响，故随着高度的增加气温最初保持不变或微有上升，一般保持在－53℃左右。但在 25km 以上，由于臭氧含量增多，吸收了大量紫外线，因此，气温升高很快。大约在 50km 的高空，形成一个暖区，气温可达－3℃以上。平流层水汽含量极少，没有对流层所出现的那些天气现象，只是在冬季极区的底部，偶然出现一些分散的贝母云，夏季高纬区可见到夜光云。

在平流层范围内，电磁波的传播特性与对流层内是一致的，只不过表现得较为微弱。

(3)中间层(高空对流层)　自平流层顶到85km左右是中间层。由于本层几乎没有臭氧,而氮和氧等气体所能直接吸收的波长更短的太阳辐射已大部被上层大气所吸收,所以,表现出气温随高度增加而迅速下降的特征。其顶部气温可降至-83℃以下。又因下层气温高于上层,故空气有相当强烈的垂直运动,所以该层又称为高空对流层。

(4)暖层(电离层)　本层位于中间层顶至800km的高度。其空气密度很少,在700多km的气层中仅占大气总质量的0.5%。据探测,在120km高度上,空气密度已小到声波难以在其中传播的程度;在270km高度上,空气密度约为地面空气密度的百亿分之一;在300km的高度上,空气密度仅及地面空气密度的千亿分之一,再向上,空气就更稀薄。暖层有两个特点:

①随高度的增加气温急剧递增　据测定,在300km高度上,气温已超过1 000℃。这是所有波长小于0.175μm的太阳紫外辐射都被该层气体所吸收的缘故。

②空气处于高度电离状态　这是由于空气密度太小,在太阳紫外线和宇宙射线的作用下,氧分子和部分氮分子被分解成为原子,并处于高度电离状态,所以本层又称为电离层。

电离层具有反射无线电波的能力,所以,无线电波才能绕地球曲面进行远距离传播;而对遥感使用的可见光、红外线直到微波的影响较小,基本上是透明的。

(5)散逸层(外层)　800km以上的大气层统称散逸层,这是大气的最高层。本层空气极为稀薄,气温随高度增高而上升。由于温度高,空气粒子运动很快,又远离地面,受地球引力场约束很弱,所以一些高速运动的空气质点就能逸散至星际空间,故称散逸层。该层对卫星运动基本上没有影响。

据宇宙火箭探测,在地球大气圈之外,还有一层极其稀薄的电离气体,其范围可伸展到22 000km的高空,称为地冕。这可能就是地球大气层向宇宙空间的过渡区域。可见,大气圈的上界是无法明确划定的。

三、大气对太阳辐射的影响

太阳辐射必须通过大气圈才能到达地表。由于大气对太阳辐射有吸收、散射和反射作用,故到达地表的太阳辐射仅及投射到大气上界太阳辐射的31%,其余的有30%为云层和其他大气成分反射回宇宙空间,17%被大气吸收,22%被大气散射。据研究,太阳辐射通过大气层到达地面的强度,取决于大气层的厚度以及大气对太阳辐射吸收和散射作用,其关系为:

$$\tau = e^{-(\alpha+\gamma)x} \qquad (2-26)$$

或中:　τ—太阳辐射通过大气层的透射率;

α—大气中气体分子对太阳辐射的吸收系数;

γ—大气中气体分子、烟和雾等对太阳辐射的散射系数;

x—太阳辐射通过大气层的厚度;

e—自然对数的底。

现将大气削弱太阳辐射强度的诸因子列述于后:

1. 大气对太阳辐射的选择性吸收

当太阳辐射穿过大气层时，大气中的水汽、氧、臭氧、二氧化碳以及固体杂质等对一定波长的辐射能具有选择性吸收的作用。表 2—5 列出了各种大气成分吸收带的中心波长：

表 2—5　不同大气成分对太阳辐射吸收带的中心波长

吸收分子	吸收带的中心波长（μ）														
H_2O			0.94	1.14	1.38	1.87	2.7	3.2	3.7			6.3			
CO_2					1.4	1.6	2.0			4.3	4.8	5.2			15
O_2	0.2	0.69	0.76												
O_3	0.29	0.60									4.8			9.6	14
N_2O											4.7		7.8		
CH_4								3.2					7.8		
CO											4.8				
水滴		0.59						3.0							

由表可知，占大气体积 99%以上的氮和氧对太阳辐射的吸收比较微弱，而含量不多的水汽、二氧化碳和臭氧等都能有选择地吸收部分太阳辐射。

水（H_2O）　水汽是吸收太阳辐射最强的介质，它对太阳辐射吸收的范围很广，其吸收线非均匀地分布于太阳辐射的各光谱区。从可见光、红外直至微波波段都有强弱不同的水汽吸收带，其中以红外部分吸收最强，其主要范围在 0.4～0.9μm、0.73～2.85μm 之间。另外，在 6.25μm 附近也有一个强吸收带。因此，水汽对红外遥感有很大影响。据统计，水汽的吸收可使太阳辐射能损失 4%～15%，液态水的吸收比水汽吸收更强，但主要是在长波方向。

二氧化碳（CO_2）　二氧化碳对太阳辐射的吸收作用主要也是在红外区，在 1.35～2.85μm 有 3 个宽弱吸收带，另外在 2.7μ、4.3μ 和 14.5μ 处为强吸收带，其中以 1.5μ 和 4.3μ 波长附近的吸收最强。但由于太阳辐射在该区的能量很微弱，被吸收后对整个太阳辐射的影响不大，因此，对这一吸收带所损失的太阳辐射可忽略不计。

氧（O_2）　占大气体积 99%以上的氮和氧，对太阳辐射的吸收十分微弱，其中氮几乎不吸收太阳辐射，而氧也仅限于吸收小于 0.2μ 波段的太阳辐射，在波长 0.155μ 处吸收最强，在 0.69μ 和 0.76μ 附近，有一个窄吸收带，吸收能力较弱。

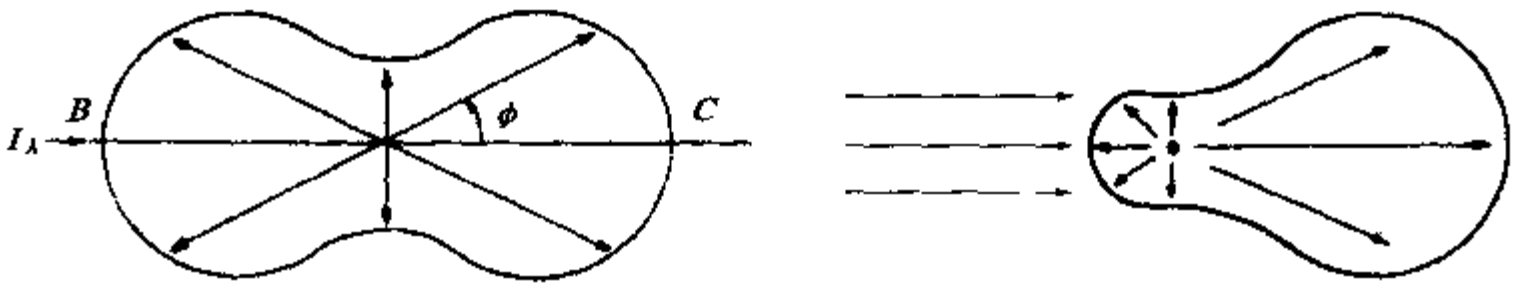
臭氧（O_3）　臭氧在大气中含量虽少，但对太阳辐射能量的吸收很强。它有两个吸收带，一个为波长 0.2～0.36μ 的强吸收带，使得波长小于 0.29μ 的辐射不能到达地面；另一个在 0.6μ 附近，是一个宽吸收带，吸收能力虽然不强，但因其正处于太阳辐射的最强部分，所以吸收的太阳辐射量是相当多的。

尘埃　尘埃对太阳辐射也有一定的吸收作用，但其量甚微。只有当发生沙尘暴、烟雾、火山爆发等现象大气中的尘埃杂质剧增时，吸收才比较显著。

2. 大气的散射作用

太阳辐射通过大气遇到空气分子、尘埃、雨滴等质点时，都会发生散射。但散射并不像吸收那样把辐射转变为热能，而只是改变其辐射的方向使太阳辐射以质点为中心向四面

八方传播开来(图 2—11)。因而经散射之后,一部分太阳辐射就到达不了地面。



分子散射　　粗粒散射

a　　b

图 2-11　大气对太阳辐射的散射

大气的散射作用与其吸收波段的明显差异是它集中于太阳辐射能量较强的可见光区。因此,大气对太阳辐射的散射是太阳辐射能衰减的主要原因。其散射能力可由散射系数 ϵ 求出。这个系数表示在大气单位厚度内,由于辐射与介质分子相互作用,使能量从新分布而引起的辐射能量减弱的程度。

$$\epsilon=\frac{\pi^2(n^2-1)^2}{2N\lambda^4}(1+\cos^2\varphi) \qquad (2-27)$$

式中:n—微粒的折射率;

N　单位体积中的微粒数;

φ—入射射线与反射射线间的夹角;

λ—波长。

由式 2-27 可知,散射系数与 φ 角和介质性质有关。当 $\varphi=0°$或 180°时,散射最大。

大小不等的质点,其散射能力各不相同。如果太阳辐射遇到的是直径比波长小的空气分子,其散射能力则与波长的 4 次方成反比,即波长愈短,散射愈强。这种散射是有选择性的,称为分子散射,也叫瑞利散射(图 2—11a)。例如当波长为 0.7μ 时的散射能力为 1 时,则波长为 0.3μ 时的散射能力就成为 30 了。雨过天晴,天空之所以呈现蔚蓝色,就是因为可见光波段中青蓝光波长较短、散射较强所致。分子散射的另一特点是质点散射对其光学特性来说是对称的球形(图 2—11a),在光线射入方向($\varphi=0°$)及其相反方向($\varphi=180°$)上的散射比垂直子入射光线方向上($\varphi=90°$和 $\varphi=270°$)的散射量大 1 倍。图 2—11a 中由极点到外围曲线的向径长度以假定的比例表示此方向上所散射的总能量。

微粒直径与微粒波长差不多相等时的散射,称米氏散射,它是由大气中气溶胶所引起的散射。由于大气中云、雾等悬浮粒子的大小与 0.76～15μ 的红外线波长差不多相等,所以云、雾对红外线的米氏散射是不可忽视的。微较直径比波长大得多时的散射,为非选择性散射。这种散射与波长无关,即任何波长的散射强度都相同,这就是阴天或大气中尘埃很多时天空是灰白色的原因,这种散射称为粗粒散射(图 2—11b)。粗粒散射使其光学性质失去对称形式,沿入射光方向伸长。图 2—11b 是粗粒(水滴)散射的一种常见形式。在这种粗粒散射下,其入射光方向上的散射能量分别超过了与入射光线相反方向及垂直方向上能量的 2.73 及 2.85 倍。散射质点愈大,这种偏离对称的程度也愈增。对遥感来说,由于散射作用使部分辐射能改变了辐射方向,降低了传感器接收数据的质量,造成图像模糊不清。在多波段卫星图像上,MSS4 的影像不如 MSS7 的清晰,就是因为 MSS4(0.5～

0.6μ)波段大气的散射作用比 MSS7(0.8～1.1μ)波段的散射作用强得多(图 2—12)。

3. 大气云层和尘埃的反射作用

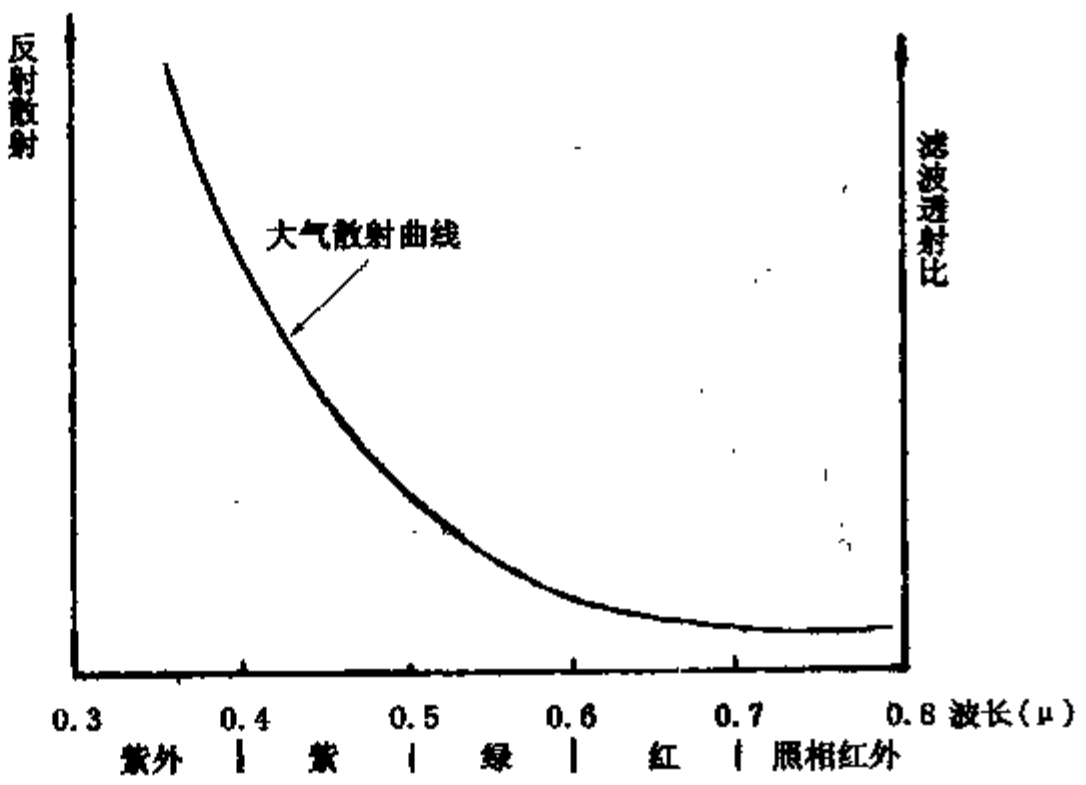


图 2—12 大气对电磁波的散射强度

大气中的云层和颗粒较大的尘埃对太阳辐射还有强烈的反射作用，尤其是云层的反射作用最为显著。云层的反射能力随云状和云层厚度而有很大差异。据观测，高云反射率约为 25%，中云为 50%，低云为 65%，稀薄云层的反射率也可达 10%～20%。就一般情况而言，云层的平均反射率为 50%～55%。云层愈厚，反射愈强。当云层厚达 50～100m 时，太阳辐射几乎全部被反射掉。

反射对各种波长没有选择性，所以反射光呈白色。云和雾看起来是白色，就是这个道理。

太阳辐射的削弱程度与太阳辐射通过的大气质量有关。在地面为标准气压(1 013mP$_a$)时，一般把太阳光垂直射至地面所经路程中单位截面积空气柱内的质量称为一个大气质量。太阳高度越小、辐射通过的大气层越厚，大气质量数也就越大(表 2—6)。

表 2—6 不同太阳高度时的大气质量数

太阳高度(h)	90°	60°	30°	10°	5°	3°	1	0°
大气质量数(m)	1	1.15	2.0	5.6	10.4	15.4	27.0	35.4

由表可知，大气质量数随太阳高度的减小而增大，尤其是当太阳高度较小时，大气质量数的变化特别大。

正由于太阳光通过大气和地物反射光进入传感器前，因为大气的吸收、散射和反射作用而衰减，造成遥感图像的清晰度下降，因此，在选择遥感工作波段时，必须考虑大气对辐射的影响。

四、大气窗口

通常把大气对电磁波透射系数比较高的波段范围称为大气窗口。换句话说，凡是不在大气窗口范围内的那些电磁波段，都是遥感仪器难以接收的，因而对遥感是没有意义的。随着遥感技术的发展，对大气窗口的研究愈来愈细。因为传感器的工作波段必须根据大气窗口进行选择，否则仪器就无法接收到地面物体传来的电磁波信息。图 2—13 是主要大气窗口的分布范围。

如图所示，主要大气窗口有：

0.3～0.38μ 大气窗口：属于紫外波段的窗口；

0.4～0.76μ 大气窗口：属于可见光波段的窗口；

0.76～1.3μ 大气窗口：属于近红外波段的窗口。

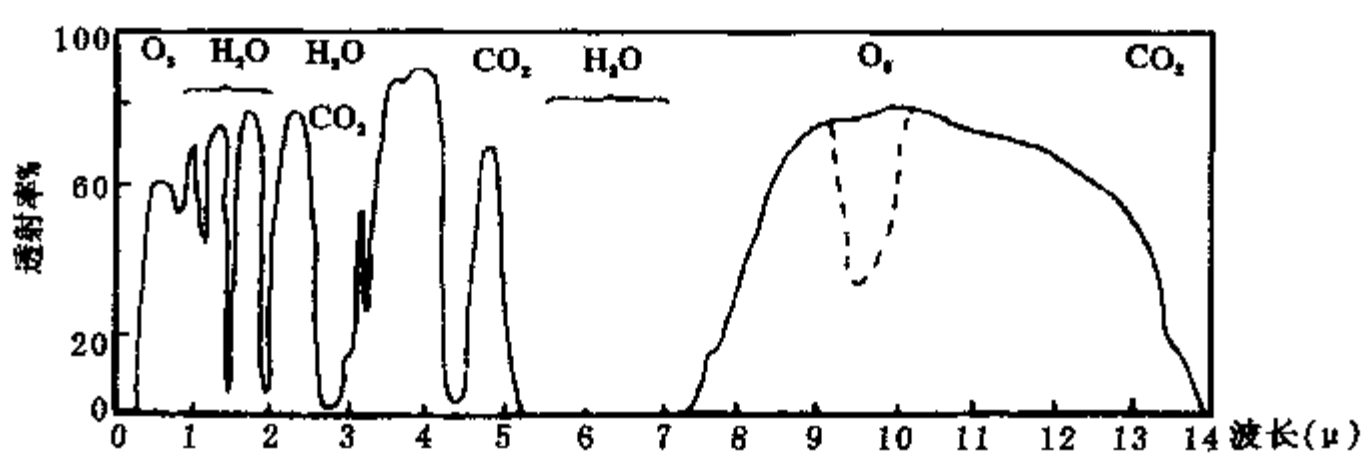


图 2—13　大气窗口示意图

以上窗口对电磁波的透射率达 90%以上，属地物反射光谱范畴。传感器使用的光谱较为广泛，它不仅可以摄影成像，而且还可以用于扫描成像。ERTS—1、ERTS—2 传感器的工作波段全部在这些窗口之内。目前感光性能最好的胶卷感光范围是在 0.32～1.3μ 之间，所以超出此范围的传感器工作波段都不能进行摄影成像。

1.3～2.5μ 大气窗口　这个窗口位于近红外波段的中段，可分为 1.5～1.75μ 和 2.1～2.4μ 两个窗口，其透射率都接近 80%，仍属于地物反射光谱，但不能用胶片摄影成像，只能用光谱仪和扫描仪来记录地物的电磁波信息。目前，对该窗口的应用尚少，但在某些波段对蚀变岩的区分有较好效果，所以在遥感地质应用方面很有潜力。例如，陆地卫星 4、5 号的专题制图仪就设有 1.55～1.75μ 和 2.08～2.35μ 两个波段。

3.5～4.2μ 大气窗口　属于中红外波段，是物体热辐射波段。它可以是物体的反射光谱，也可以是物体的发射光谱，是反射和发射的混合波段。目前，只能用扫描成像，还不能直接使胶卷感光，故很少应用。

8～14μ 大气窗口　属远红外辐射范畴，是物体的热辐射光谱。当物体的温度为 27℃左右时，能测得其最大发射强度。由于在该波段范围内受臭氧、水汽及二氧化碳的影响，使其透射率仅有 60%～70%左右。但该窗口是地物在常温下热辐射能量最集中的波段，所以对地学遥感十分有用。目前，主要是利用扫描仪和热辐射计来获取地物发射的电磁波信息。

15μ 以上的大气窗口　属微波波段，是发射光谱范围。该窗口已不受大气干扰，完全透明，其透射率可达 100%，为全天候的遥感波段。目前，微波传感器常用的工作波段是 3mm、5mm 和 8mm 等波段。今后根据需要有可能向更长的波段发展。

现代遥感技术所选用的大气窗口，多为 0.3～1.3μ、1.3～2.5μ、8～14μ 和 0.8～25cm 光谱段，因为在这 4 个光谱段内，可以很明显地把各种地物的反射光谱或发射光谱区别开来。

第三节　地物的电磁波辐射

自然界的任何物体都能进行热辐射，既有发射红外线和微波的能力，又有发射、吸收

外来的紫外线、可见光、红外线和微波某些波段的能力。少数物体对外来电磁波的某些波段还具有一定的透射能力。不同的地物，由于其物质结构的差异，致使其发射、吸收、反射和透射电磁波的特征也不尽相同。本节仅就自然界各种物体电磁波辐射的一般特性和目前在遥感技术中所应用的一些波段范围内，对地物的反射、吸收和发射电磁波特征进行讨论。

一、地物对外来电磁波的反射特征

任何地表地物对外来的(包括来自太阳和人工辐射源的，如紫外线、可见光、红外线和微波)电磁波都具有反射、吸收和透射能力。当外来辐射能量从比较稀疏的空气介质向比较紧密的地表介质传播时，入射到地物表层的电磁波就会出现入射能量被地物反射、吸收或透射 3 种不同结果。也就是说，外来电磁波入射到某地物上的能量，除了被某地物所吸收和透射的部分外，其余的都被反射掉了。下面仅就物体对外来电磁波的反射强度及其反射波谱特征作简要论述。

1. 地物的反射率及其反射强度

物体对外来电磁波的反射强度，受入射波的波长、入射角、偏振状况、物体的性质及其表面状况等因素的影响很大，可以说地物的反射强度是由光源性质、位置和该物体的性质、结构所决定的。根据能量守恒定律可以列出：

$$P_\lambda = P_\rho + P_\alpha + P_\tau \qquad (2—28)$$ 或

$$P_\rho = P_\lambda - P_\alpha - P_\tau \qquad (2—29)$$

式中：P_λ—入射总能量； P_ρ—地物的反射能量； P_α—地物的吸收能量； P_τ—地物的透射能量。

将式 2—28 两端除以 P_λ 得：

$$1 = \frac{P_\rho}{P_\lambda} + \frac{P_\alpha}{P_\lambda} + \frac{P_\tau}{P_\lambda} \qquad (2—30)$$

式中：$\frac{P_\rho}{P_\lambda}$、$\frac{P_\alpha}{P_\lambda}$和$\frac{P_\tau}{P_\lambda}$三个比值，分别表示地物对外来入射能量的反射系数、吸收系数和透射系数。在遥感技术中常以此分别表示地物的反射强度、吸收强度和透射强度。

地物对外来电磁波的反射强度、吸收强度和透射强度还可以用反射率、吸收率和透射率表示，它们与反射系数、吸收系数和透射系数的关系为：

$$\rho(\text{反射率}) = \frac{P_\rho}{P_\lambda} \times 100\%$$

$$\alpha(\text{吸收率}) = \frac{P_\alpha}{P_\lambda} \times 100\%$$

$$\tau(\text{透射率}) = \frac{P_\tau}{P_\lambda} \times 100\%$$

将其代入式 2—30，则：

$$1 = \rho + \alpha + \tau \qquad (2—31)$$

对不透明的地物($\tau = 0$)来说，则：

$$\rho = 1 - \alpha \qquad (2—32)$$

式 2—30 表明，反射率高的地物，其吸收率就低；吸收率高的地物，其反射率就低。地

物的反射率可以测定，而吸收率则需通过反射率推求。

地物反射率的大小，与入射波的波长、入射角的大小、地物的表面颜色及其表面粗糙度等因素有关。一般说来，反射入射波能力强的地物，反射率大，传感器记录的亮度值就大，在像片上呈现的色调就浅；反射入射波能力弱的地物，反射率小，传感器记录的亮度值就小，在像片上呈现的色调就深。所以，这些色调的变化差异，就是目视解译的重要标志。

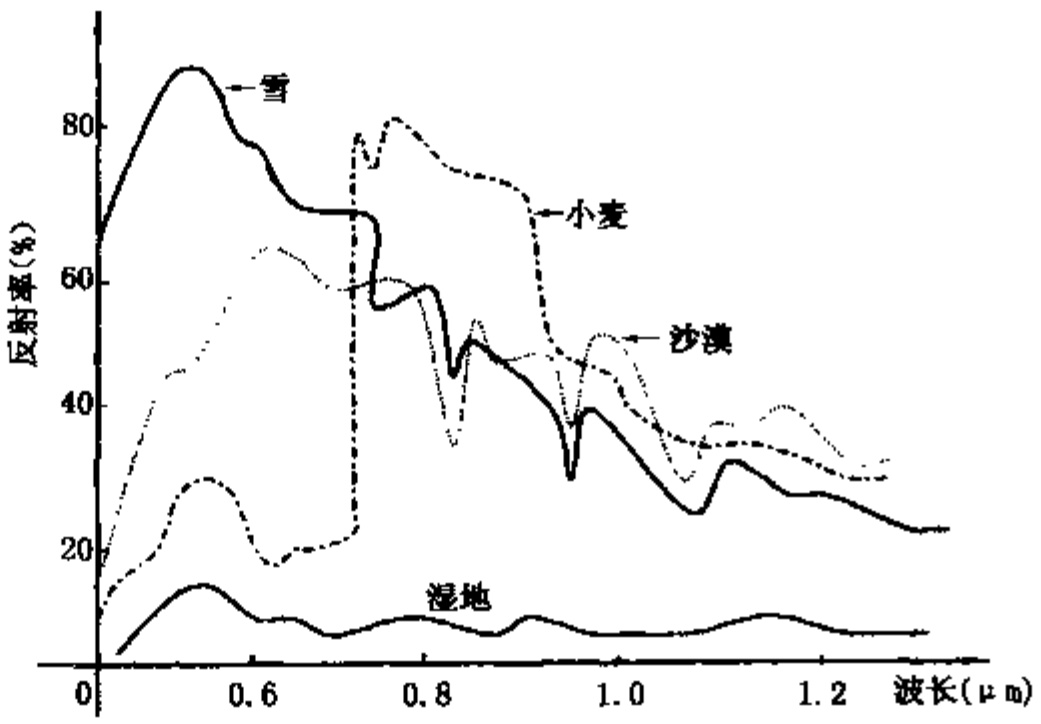


图 2-14 雪、沙漠、湿地和小麦的反射光谱曲线

2. 地物的反射光谱特征

地物反射率随入射波长变化的规律叫做地物的反射光谱，按地物反射率与入射波长之间关系所绘的曲线，称为地物反射光谱曲线。图 2—14 绘出了 4 种地物反射光谱曲线。

如图所示：雪的反射光谱与太阳光谱有所相似，在蓝光波段(0.4～0.6μm)附近有一个强反射峰值，反射率几乎接近 100%，所以其色调是白色。随着波长的增加，反射率逐级下降，在近红外波段吸收较强，变成了选择性吸收体。雪的这种反射特性在所有地物中是独一无二的。

沙漠的反射光谱，在橙光波段 0.6μm 附近有一个强反射峰值，在波长达 0.8μm 以上的长波范围内，其反射率比雪还强，所以在影像上呈现出褐色色调。

湿地的反射光谱，取决于水分含量。当含水量增加时，其反射率就会下降。在水的各个吸收带处，反射率下降都较为明显，故在整个波长范围内的反射率均较低。

小麦叶子的反射率是由叶绿素所决定的。其叶绿素含量的任何微小差异，都能导致反射率的明显变化。叶绿素对可见光具有吸收能力，所以在蓝光波段(中心波长为 0.45μm)和红光波段(中心波长为 0.65μm)上有两个明显的吸收带，其反射率很低。而在两个吸收带之间的绿光波段(0.5～0.56μm)内，因吸收作用较小，形成了一个小的反射峰，在影像上呈现绿色色调。大约在 0.7μm 附近，反射率突然增加，至红外波段(0.7～1.1μm)范围反射率达到了高峰。研究植物反射光谱的波段主要在 0.35～1.4μm 之间，其反射率性质受叶子内部构造的控制，所以，凡含有叶绿素植物的光谱曲线都有以上的共同特征。

同类植物由于生长状况、健康程度等因素不同，其反射率也有较大差异。图 2—15 是不同时间白橡树叶子的反射光谱曲线，它表明了不同时间植物的反射率有明显的差异。图 2—16 是健康的和受病虫害的松树反射光谱曲线。可以看出，健康松树在可见光范围的反射率稍低于有病虫害的松树，尤其是在叶绿素吸收带，健康松树的反射率比有病虫害的明显降低；而在近红外波段，健康松树的反射率反高于有病虫害松树的反射率。有病虫害的松树随着病害的加重，在红外波段的反射率相应降低，反映出了受病虫害植被的特征。这

种现象在彩红外像片上显示得特别清楚。据此，就能把健康植被和受病虫害的植被区别开来，为目视解译提供了依据。

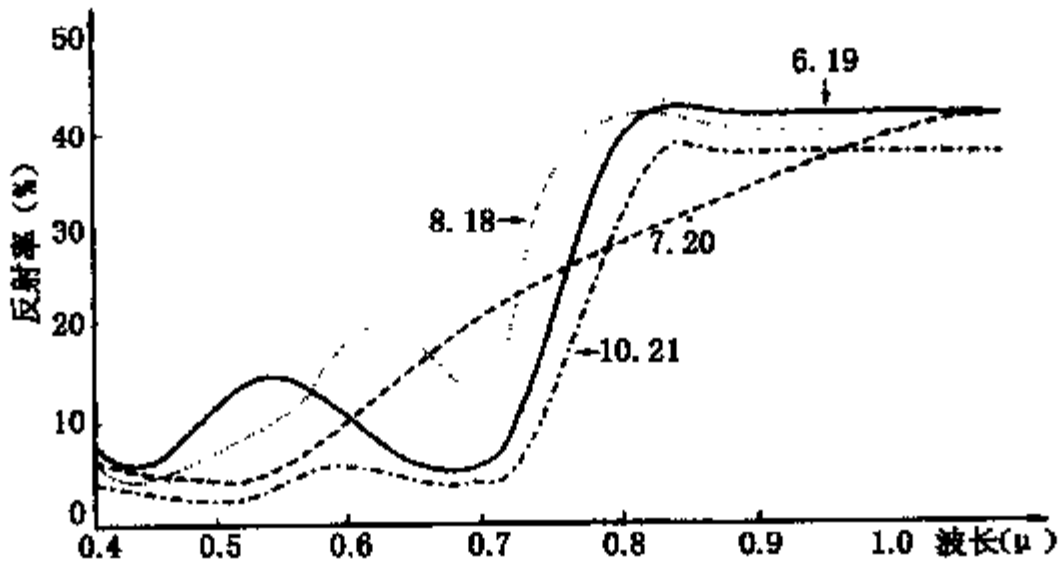


图 2—15　不同时间白橡树叶子的反射光谱曲线

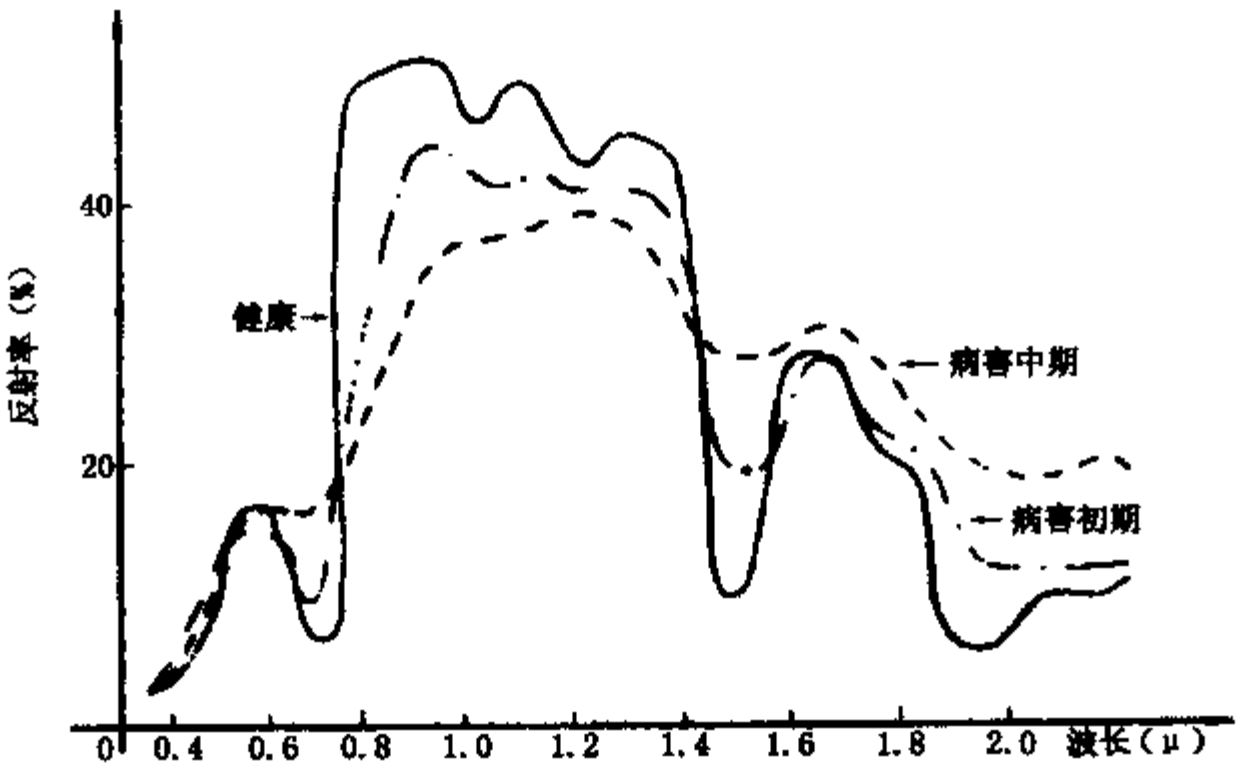


图 2—16　长势不同的松树反射光谱曲线

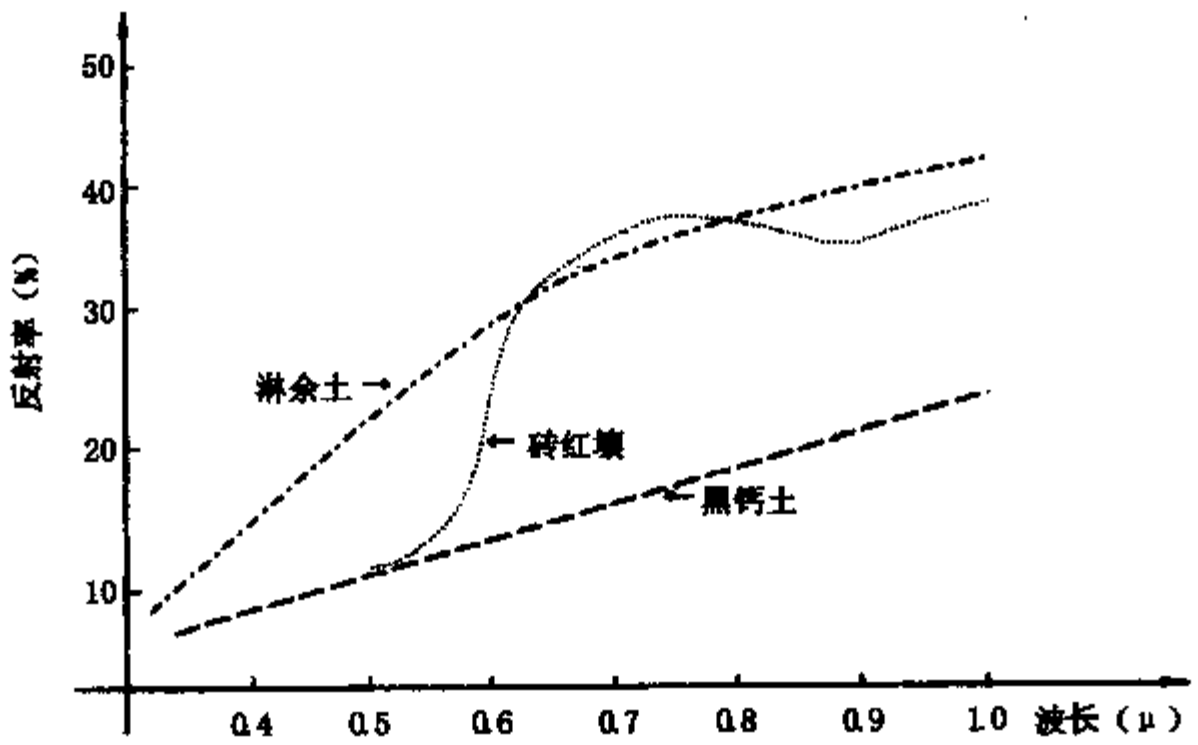


图 2—17　某些土壤的反射光谱

土壤的反射波谱曲线，取决于土质、水分含量、腐殖质含量、可溶性盐的含量、铁的氧化物多少以及土壤颗粒大小等因素。图 2—17 所绘即黑钙土、淋余土和红砖壤的反射光谱特征。

由于不同物体的性质差异，其反射强度也各不相同，表 2—7 列出了不同地物的反射系数。据此，可绘出它们的反射波谱曲线形态。这些反射波谱的形态特征，是解译工作中进行识别物体性质的可靠标志。

表 2—7　不同物质的反射系数

物　质	反　射　系　数　(%)			
	MSS4 0.5～0.6μ	MSS5 0.6—0.7μ	MSS6 0.7—0.8μ	MSS7 0.8—1.1μ
砂	5.19	4.32	3.46	6.71
壤土(含 1%的水)	6.70	6.79	6.10	14.01
壤土(含 2%的水)	4.21	4.20	3.38	7.57
冰	18.30	16.10	12.20	11.00
雪	19.10	15.00	10.90	9.20
农田	3.27	2.39	1.58	无资料
粘土	14.34	14.40	11.99	无资料
片麻岩	7.02	6.54	5.37	10.70
松土	7.40	6.91	5.68	无资料
小麦(肥力低)	3.44	2.27	3.56	8.95
小麦(肥力高)	3.69	2.58	3.67	9.29
水	3.75	2.24	1.20	1.89
大麦(健康)	3.96	4.07	4.47	9.29

不同地质体之间反射波谱特征的差别，主要是由组成地质体的矿物成分所决定的，或者说是由其铁离子、氢氧根和二氧化硅的含量所决定的(表 2—8)。一般说来，凡是以深色矿物为主的地质体，它们的反射系数都相对较低；而以浅色矿物为主的地质体，其反射系数都相对较高。另外，粗粒物质一般比细粒物质的反射系数要小。美国地质学会编录了 2000 种地质体的波谱曲线，用它来识别地质体的可靠率能达到 78%。

表 2—8　不同地质体的反射系数

波　段 岩　石	蓝	绿	红	红外
	0.45—0.48μ	0.5—0.56μ	0.62—0.76μ	0.8—1.1μ
中粒花岗岩	0.304	0.461	0.545	0.455
花岗闪长岩	0.311	0.434	0.455	0.364
闪　长　岩	0.163	0.244	0.258	0.203
辉　长　岩	0.112	0.156	0.182	0.118

多孔玄武岩	0.103	0.144	0.164	0.124
大　理　岩	0.252	0.622	0.697	0.636
灰　　岩	0.133	0.183	0.197	0.189
红色粗砂岩	0.148	0.244	0.364	0.424
褐　　煤	0.036	0.058	0.067	0.103
黄　　土	0.141	0.300	0.394	0.425

综上所述，不同地物在不同波段有不同的反射强度，所以在不同波段的像片上就呈现出不同的色调，这是判别各种地物的依据，也是解译工作的基础。我们利用 0.4～0.5μ 波段的像片，可以把雪和其他地物区别开来；用 0.5～0.6μ 波段的像片可把沙漠与小麦、湿地区别开来；用 0.7～0.9μ 波段的像片可以把小麦与湿地区分开来。这样，对不同的研究对象，就可根据它们各自的波谱特征，选择最佳波段、最佳摄影季节和摄影时间的像片进行判定解译，以达有关研究之目的。

二、地物的发射波谱特征

任何物体，不论是固体、液体还是气体，不论是有机物还是无机物，也不论是动物还是植物，只要其温度大于绝对温度 0°K(−273.16℃)时，就存在着分子热运动，有向周围空间辐射红外线和微波的能力。兹就物体发射电磁波的机理、强度及其波谱特征简述于后。

1. 物体发射电磁波的机理及其发射强度

物体的发射波谱特性是和它们物质结构中的电子过程(包括能带跃迁、电荷传输、晶体场效应等)和分子振动、转动过程的共同作用密切相关的。由于物体的分子热运动，或物体本身所包含放射性元素的蜕变作用以及某些物体化学作用的结果，都能使物体释放一定的能量和发射电磁波。大部分物体在吸收来自太阳的电磁波和热能后温度升高，并将热能转化为电磁波，这个转化过程也就是再发射过程。

在遥感技术中，量测物体电磁波发射强度的标准是其发射系数或发射率，而物体电磁波的发射系数或发射率又是以黑体辐射作为基准的。所谓黑体是指能够在热力学定律所允许的范围内、最大限度地把热能转变成辐射能的理想热辐射体，或者说，不管其入射电磁波的波长如何，都具有最大吸收能力或最大发射能力的物体。因此，在本章第一节中所讲的黑体辐射定律也都适用于地表物体的电磁波辐射。

对地物发射率的测量，最简单的方法是通过测量地物反射率 ρ(指近红外)，再依 ε(发射率)$=1-\rho$ 式推求之。因为测量地物的反射率要比直接测量其发射率容易的多，而且也便于实现。

2. 地物的发射波谱特征

地物的发射波谱特征与地物表面的粗糙度、颜色和温度等有关。其表面比较粗糙或颜色发暗者，要比表面光华、颜色明亮的物体发射率高；比热大的、热惯性大的以及具有保温作用的物体也比其相反者的发射率高。对同一物体来说，由于发射的波长不同，其发射率也不同。所以不同的物体，由于它们的物质结构不同，其发射波谱曲线也就有着不同的特征(表 2—9)。同理，不同物质结构的岩石也都有自己特殊的发射波谱特征(表 2—10)，根

据这些波谱特征就能识别出物体的不同性质。除了火山爆发等特殊情况外，在常温条件下，物体只能发射红外线和微波，少数还能发射荧光。

表 2—9　不同物体的发射系数

地物 \ 波长	红外		微波	
	4μm	10μm	3mm	3cm
水体	0.92	0.99	0.63	0.38
干沙	0.83	0.95	0.86	0.90
混凝土路面	0.91	0.91	0.92	0.86
沥青路面	0.92	0.92	0.98	0.98

表 2—10　主要岩石磨光面在波长 8—13μm 的发射系数

岩石名称	发射系数	备注
石英安山岩	0.91～0.93	熔岩，SiO_2 含量 68.72%
花岗岩	0.88～0.90	粗粒
石英闪长岩	0.91～0.92	SiO_2 54.64%
辉长岩	0.84	SiO_2 52.05%
结晶片岩	0.84～0.96	SiO_2 51.88%
玄武岩	0.69	橄榄石变质，部分蛇纹岩化
橄榄岩	0.88	SiO_2 41.00%

在常温条件下，各种岩石的发射波谱曲线具有明显的差异。其发射系数最小值的位置，随 SiO_2 含量的增多向短波方向移动(图 2—18)。据此，就能将含铁、含镁与含铝硅酸盐的岩石(不论是侵入的还是喷出的)区分开来。

综上所述，对物体发射电磁波的特征可归纳为：

(1)凡具有大于绝对零度(—273.16℃)的物体，都具有分子的热运动，都能发射红外线和微波(高温物体还能发射可见光)；同时，也都能吸收红外线、可见光和微波。

(2)在温度不变的条件下，物体吸收什么样的波长，也发射什么样的波长；一个良好的发射体，必然也是一个良好的吸收体。

(3)物体发射红外线的强度与其温度有密切关系。所以物体温度的微小差异能引起红外发射的明显不同。但微波发射则不然，它和物体温度的关系不大，而是和物体的性质有关，故物体的微波发射特点是由其物性差别所决定的。

(4)不同性质的物体具有不同的发射波谱曲线特征，因此，根据波谱特征的差别就能识别物体的性质。

(5)对同一性质物体来说，其发射电磁波的强度与物体表面粗糙度有关，在一般情况下，表面粗糙物体的发射系数较大。

三、地物的透射波谱特征

外来电磁波对有些地物具有一定的透射能力，其透射能力的大小，是随电磁波的波长和物体性质而异的。例如，水体能透射 0.45～0.56μm 波段的蓝绿光，其透射深度视水的浑浊度而异。较浑浊水体的透射深度通常为 1～2m，一般水体的透射深度约为 10～20m，

而清澈水体的透射深度甚至可达 100m 以上。又如，大于 1mm 的微波对冰体具有透射能力。

一般说来，可见光对绝大多数的地物都没有透射能力，红外线只对具有半导体性质的地物才有一定的透射能力。微波透射物体能力的大小，是由入射波的波长所决定的，故其透射深度与波长有关。为了透入地表，需要使用波长大于 5m 的电磁波。岩石对透射能力的影响也是十分显著的。电磁波对干燥而又疏松的沉积物有较大的透射能力，最大透射深度可达 100m 左右；但对潮湿、坚硬岩石的透射深度则很小。因此，在遥感技术中需根据地物的特性选择适当的传感器来探测水下、冰下或地表深层的物质信息。

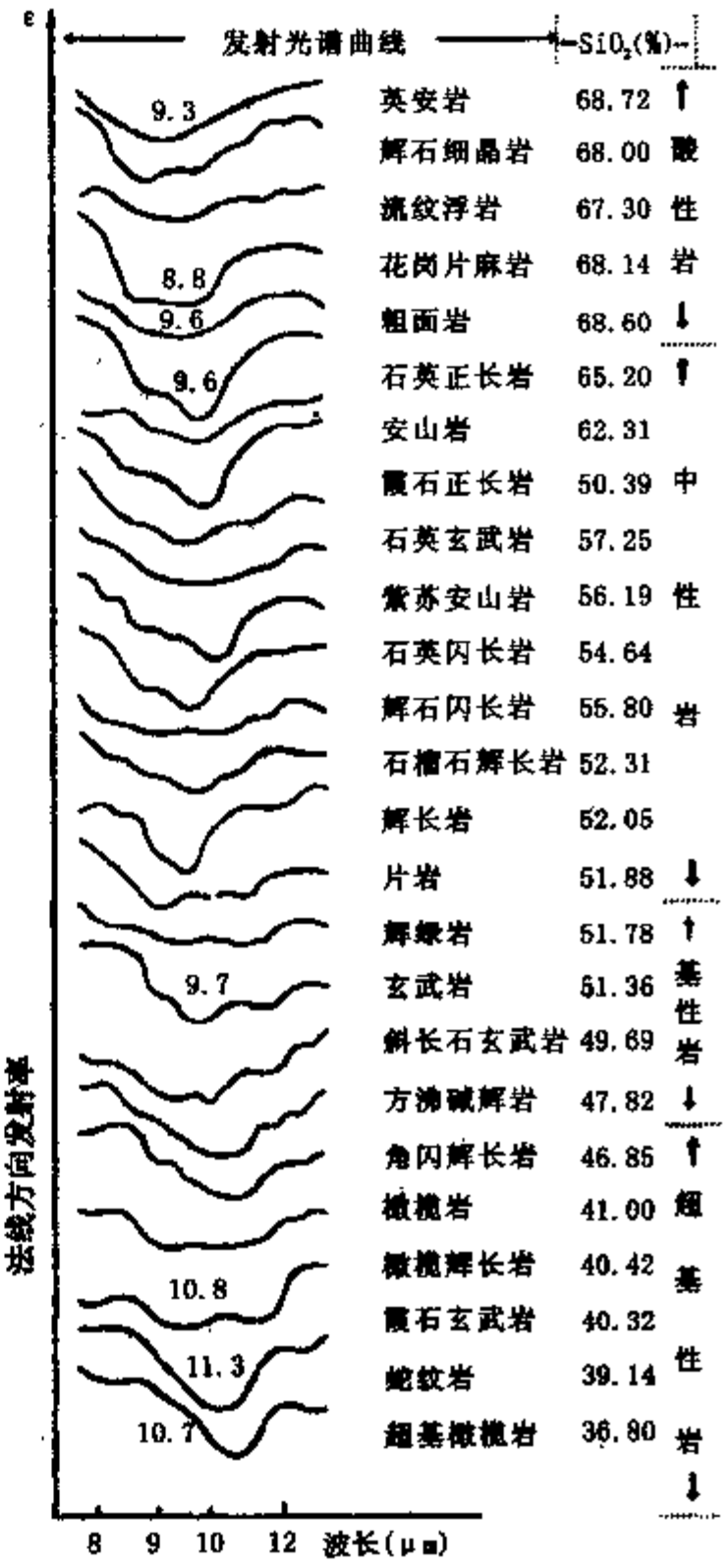


图 2—18 某些岩浆岩的发射曲线

四、环境对地物电磁波的影响

环境因于对物体发射或反射电磁波谱有干扰作用。同一物体，由于它们所处的环境不同，导致其所含水分、风化程度以及叠加其上的各种因素不同，因而它们的波谱特性也就有明显差异。例如，处在同一地区的红色砂岩，在潮湿条件下，新鲜面的反射强度大于风化面的反射强度；而在干燥条件下，其反射强度却恰好相反(图 2—19)。这是由于它们的风化程度和含水状况的差别所引起的反射波谱曲线的变化。

物体反射波谱的强度同样和光源的照射强度有关。照射至地表的主要自然光源是太阳，而地表所获太阳光的照射强度又受其所处地理纬度、海拔高度、太阳高度和阳光通过大气层厚度的影响。也就是说，地物所处地理位置的变化同样会造成其反射波谱特性的差异。

太阳高度和阳光通过大气层的距离随时间、季节的不同而变。因此，同一地点、同一地物的反射光谱强度或绝对值还因时间和季节的不同而有所差异。故而，同一地区的同一物体在不同时间或不同季节其波谱曲线形态虽大体相似，但其反射系数值却可能有明显不同。

物体的表面粗糙度仍然能影响其反射强度。一般来说，平整、光滑表面的反射率比其粗糙表面要高。

岩性相同的岩石，若产状不同，其反射波谱特性也有差异。例如，同样是砂页岩互层的

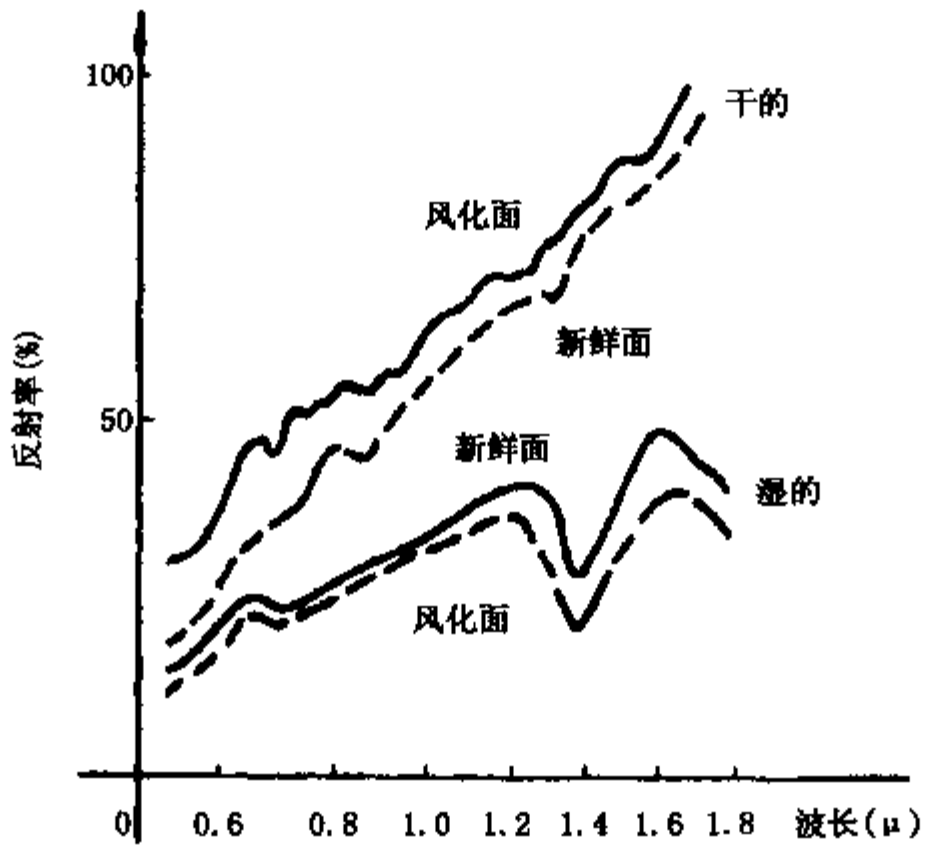


图 2—19　不同条件下红色砂岩的反射波谱

岩性，其反射系数则随岩层走向与阳光入射角的大小而变。通常，岩层走向与入射阳光平行的反射系数大于垂直的，这是由于阴影作用的结果。

天气状况更是影响物体反射强度的主要因素。同一物体在不同天气条件下所测得的反射波谱曲线并不相同。一般在晴天测得的反射值大于阴天测得的反射值。

地物的表而坡度不同，和光谱仪的几何关系则不同，因而，接收和反射太阳光的强度也就不同，所以，对同样地物在同样条件下，运用同样的测试方法所测得坡度不同地物的反射光谱值也不一样。

由于物体的电磁波谱特征受一系列环境因素的影响和干扰，这就使利用物体电磁波特征来识别物体的难度大大增加。因此，通过一系列的地而测试工作了解环境因素对解译目标的影响，在遥感技术中是十分重要而且也是非常必要的。只有这样，才能排除环境因素对解译工作所造成的干扰，并充分利用某些特殊环境因素（如低太阳高度和不同季节地面干湿程度）对解译目标的影像取得自然增强的效果，变不利为有利因素，以达识别、解译地物的目的。

第四节　彩色合成原理

电磁波谱中的可见光，能被人的眼睛所感受而产生视觉，使不同波长的光显示出不同的颜色。由于自然界的物体对入射光具有选择性吸收和选择性反射的能力，所以才能使其显示出不同色彩。也就是说，我们所看到的五光十色的自然景象和千变万化的色彩，是由物体对入射光的选择性吸收和选择性反射能力所决定的。在彩色合成技术中正是利用眼睛的这种视觉特性，以少数几种色光或颜料合成了许许多多的不同色彩。本节仅就有关彩色合成的基本原理加以讨论，为进一步研究遥感图像的光学处理打下基础。

一、人眼对色光、色彩的感受

1. 色光

是指电磁波谱中对应于一定波长的彩色光。正如本章第一节中所述的那样，一束0.38～0.76μm 波长的白色太阳光，是电磁波谱中的一段连续光谱。当它通过三棱镜时，由于不同波长具有不同折射率而引起色散，分成各对应于一定波长的紫、蓝、青、绿、黄、橙、红等 7 种颜色的色光。这 7 种色光各占一段波长而又连续过渡。在光谱上除了 0.57μ(黄)、0.50μ(绿)、0.47μ(蓝)是不变的颜色外，余者皆随光强度的增加而微有变化。

2. 色彩

指物体所具有的颜色类别，它取决于对入射光的选择性吸收和反射能力。一切能选择性吸收和反射不同入射色光的物体就是彩色物体。例如，红色物体是因为它能反射红色色光所致；海水之所以呈现蓝色是它能反射蓝色色光的缘故；相反，对各种色光都没有选择性吸收和反射能力的物体(如煤和雪)，则呈灰黑色和白色，称之为消色物体。

3. 色觉

是指人的眼睛对不同色光所产生的颜色感觉。实验证明，人的色觉是由于人眼内具有分别感受红、绿、蓝 3 种颜色的感觉细能，以及产生相应色觉的视觉神经系统。因此，若把这 3 种基本色调按一定比例混合起来，就能使人产生“五光十色”的色彩感觉。对视觉正常的人来说，物体的颜色与人的色觉是一致的。

在遥感图象的增强处理中，应着重指出以下几点有关色觉的问题：

1. 人的眼睛对颜色有较强的分辨能力。实验证明，只要可见光的波长发生 0.01～0.02μ 的些微变化，人的色觉也就会有变化。所以人眼能在可见光中分辨出 100 多种颜色来。正因为这样，在对遥感图像进行光学增强处理时，常用不同颜色来表示黑白图像上的不同灰阶，借此来提高人眼的分辨能力。

2. 人的视觉是一种生理作用，可以用不同方法使人产生同一种色觉。如图 2—20 所示，等量的绿光＋品红光＝白光；红光＋青光＝白光；蓝光＋黄光＝白光。可见，上面任意两种等量色光的组合都能产生白光。如果将红与绿光等量混合，则能产生黄光，若再加上蓝光仍然可以得到白光。这正是将在下面介绍彩色合成图像原理的基本出发点。

3. 人眼对于黑白系列的物体，在影像上只能感觉到色调深浅的变化；而对彩色系列的物体，却能觉察出色别、明度、饱和度 3 种不同特性的变化。

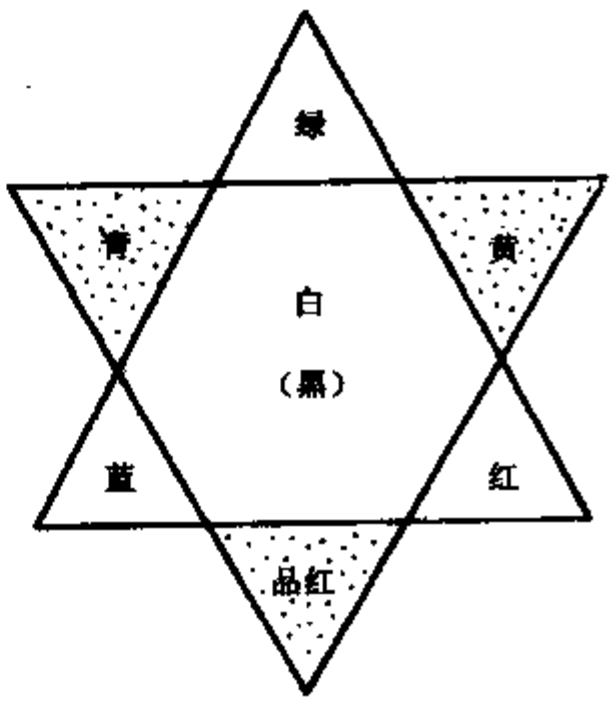


图 2—20　色光三原色原理

二、彩色特征

1. 色彩(色别)

是指物体所具有的颜色类别。

2. 明度

指颜色的明亮程度，即指颜色亮与暗的程度。色光的明度从大到小的顺序是黄、青、品、绿、红和蓝。通常，明度与亮度成正比关系。但由于人眼受视觉条件的限制，故其所感受到的明度变化，不如物体因反射强度之差异所引起的亮度变化那样敏锐。对黑白系列的物体（消色物体）来说，它们只有明度（黑、深灰、浅灰、白）的差别，在遥感图像上呈现出不同色阶。

3. 饱和度

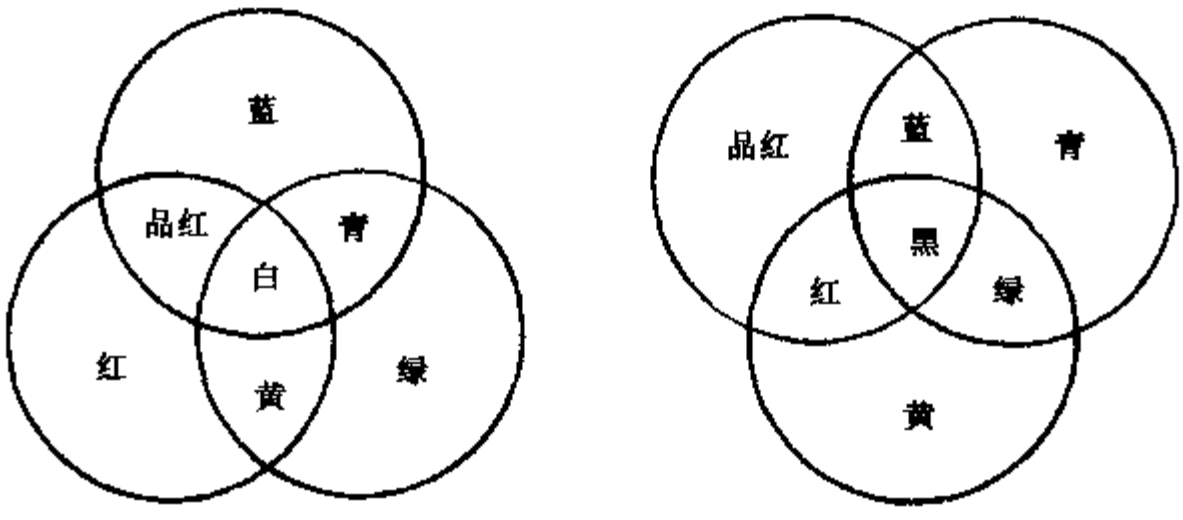
是指单色光的纯洁度。饱和度越高，单色光中掺入的白光成分越少。如红色就比红棕色和黄褐色的饱和度高；激光是饱和度很高的单色光。

三、彩色合成

人眼视网膜上，有 3 种感色的锥体细胞，能分别感受蓝、绿、红 3 种基本颜色，其他颜色则是由这 3 种基本色调中两种以上的色光按一定比例混合而成的。所以，我们称这 3 种颜色为三原色（三基色）。用三原色合成其他色彩的方法有两种：

1. 加色合成法

以蓝、绿、红三原色中的两种以上色光按一定比例混合而成其他色彩的方法称之为加色合成法（图 2—21a）。把蓝、绿、红三原色两两等量相加则形成黄、品红和青 3 种间色光；等量的三原色若分别与其相对应的间色光叠加后，却都产生白色光。凡两种等量色光混合后成为白色者，为互补色光。若将两种间色光相加，又能产生复色光。像黄与品红相加为红色、青与品红相加为蓝色、黄与青相加是绿色，则红、蓝、绿谓之复色光。现将其关系概列如下：



a 加色法　　b 减色法

图 2—21　彩色合成原理

三原色	三间色光	三补色光	复色光
红	黄＝红＋绿	红＋青＝白	黄＋品＝红
蓝	品＝红＋蓝	蓝＋黄＝白	青＋品＝蓝
绿	青＝蓝＋绿	绿＋品＝白	黄＋青＝绿

另外，若将非互补色不等量相加，又能合成各种各样的中间色彩，如红（多）＋绿（少）＝橙、红（少）＋绿（多）＝黄绿等等。

2. 减色合成法

从白光中减去一种或两种原色光而形成色彩的方法称为减色合成法。这种方法，一般是用颜料配色。多用于彩色印刷和像片彩印中。颜料本身的色彩是由于其选择性吸收入射光中一定波长的色光，反射出白光中未被吸收的色光所形成的。减色法正是从入射白光减去三原色中的一种或两种色光而生成彩色的(图 2—21b)。

例如，黄色颜料是由于它吸收了白光中的蓝光，反射出红光和绿光而成的；红色颜料是因为吸收了白光中的绿光，反射出红光和蓝光而成的；青色颜料则是因其吸收了白光中的红光，反射出蓝光和绿光的结果。即：

黄＝白－蓝

品＝白－绿

青＝白－红

当品红与黄颜料混合叠印时，白光中的绿光和蓝光分别被品红和黄颜料所吸收，只有红光被反射，故呈现红色。即：

品红＋黄＝白－(绿＋蓝)＝红

同理，把青和品红颜料混合叠加时，白光中的红光和绿光分别被青和品红颜料所吸收，只有蓝光被反射而呈蓝色。即：

青＋品红＝白－(红＋绿)＝蓝

此外：黄＋青＝白－(蓝＋红)＝绿

当品红、青和黄三补色叠印时，白光中的绿、红、蓝全部被吸收，所以呈现出黑色，而三原色相加却呈白色。即：

品红＋青＋黄＝黑

红＋绿＋蓝＝白

总之，自然界中的色彩是五光十色、千变万化的，以上所述仅是彩色合成和配制的基本原理。实际上，一种色彩是受色别、明度和饱和度 3 个参数所制约的。因此，要准确地合成天然色彩，不但色别要与之保持一致，而且明度和饱和度也应与天然色彩一致。

四、彩色的分解和还原

要使一幅彩色图像如实地记录下地物的色彩、明度和饱和度 3 种光学特性，再现自然界物体的真实色彩，则需根据色觉原理，用滤色(光)片或三棱镜等滤光系统先将物体的颜色分解为等量的蓝、绿、红三原色，或不同比例三原色的混合色，再用加色法或减色法还原再现物体的色彩，从而获得一幅彩色图像。也就是说，一幅反映地物的彩色图像，是经过色光的分解与合成还原两个步骤完成的。

色光的分解，就是对同一目标分别采用不同的滤光系统而得到不同波段图像的过程。如图 2—22 所示：图的上半部，显示了被摄物体的色彩分别通过红、绿、蓝滤光系统后得到的黑白分光负片，再经接触晒印而成的黑白分光正片。可以看出，各分光像片的色调变化显然是不同的。例如，由于物体的黄色能分别通过红、绿滤光系统，但不能通过蓝色滤光系统，所以，在对应于黄色位置的红、绿分光负片上曝光而成黑色，晒印后皆为透明白色；但在对应于黄色位置的蓝分光负片上却与之相反为白色，晒印后呈现出黑色。可见，所谓色光的分解，也就是通过滤光系统把物体的颜色及其强弱程度记录于底片上的过程。

彩色的还原过程是彩色分解的逆过程，即将分光底片通过不同的滤光系统，用加色法或减色法经准确套合后再现物体彩色，得到一幅彩色图像的过程。

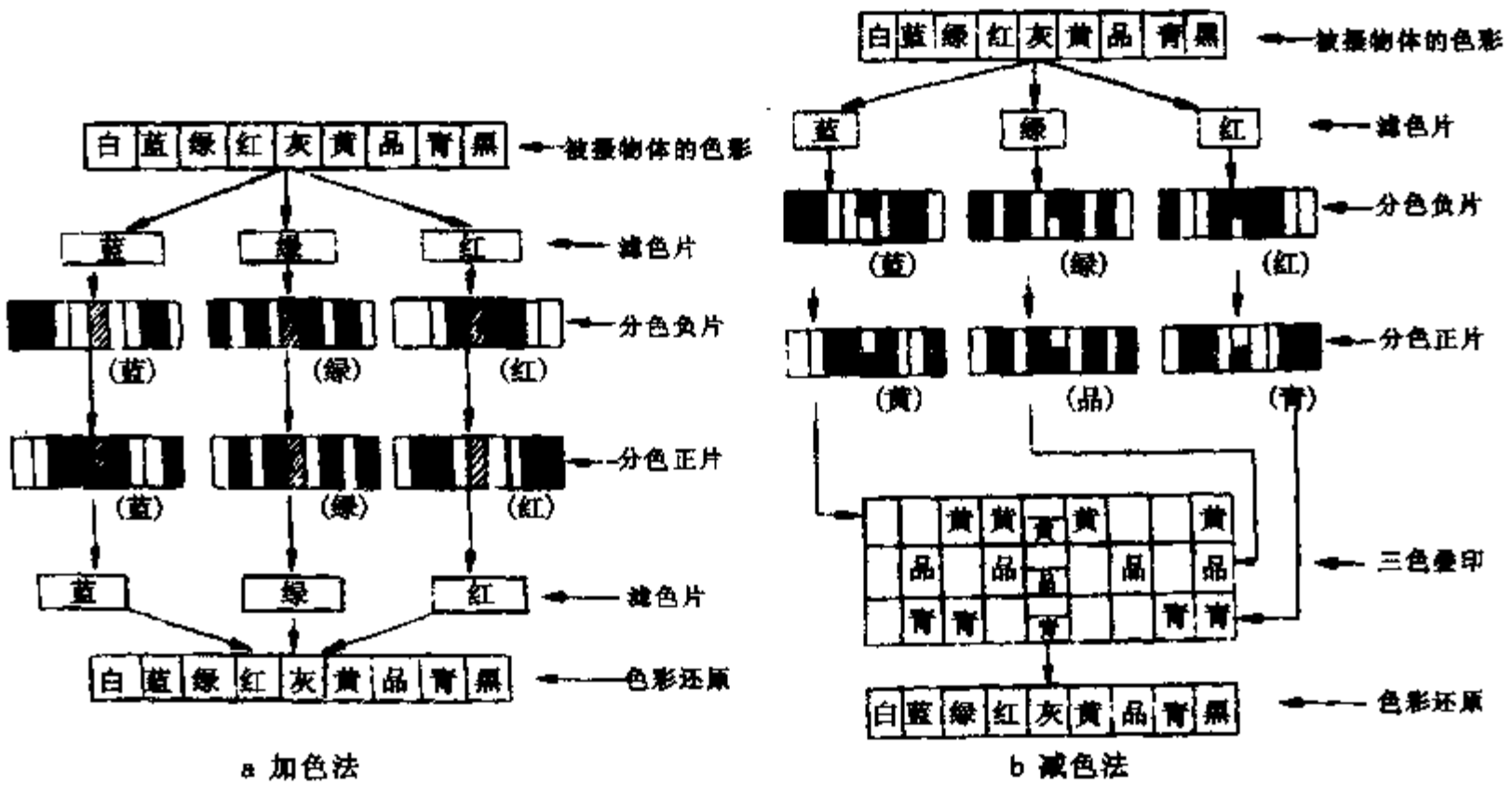


图 2—22　彩色的分解与还原过程

图 2—22 的下半部分，说明了用不同合成方法还原物体颜色的基本原理。

图 2—22a 所示为加色法。用此法合成物体颜色时，需使透过红、绿、蓝分光正片的色光分别通过红、绿、蓝滤光系统叠合而成不同的色彩。如对应于黄色位置的红、绿分光底片上为透明白色，可透过红、绿光；但在对应于黄色位置的蓝分色底片上是黑色，光无法透过。所以在该位置上就出现了红光和绿光叠加而成的黄色。因此，若以不同比例的三原色叠加，则可调制出任何颜色。

图 2—22b 所示为减色法。若把红、绿、蓝分光正片分别染成其互补色，即将红分光片染成青色、绿分光片染成品红色、蓝分光片染成黄色，叠印后就会合成多种多样不同的色彩。如在对应于黄色位置的红、绿分光片上为白色，即未染色；而在相应的蓝分光片上为黑色，即染上了蓝色的互补色(黄色)，所以在与之对应的位置上显现出黄色。彩色摄影的原理也如此，即在彩色底片上有蓝、绿、红三层感光层，感光后，能分别形成三原色互补色(黄、品红、青)的影像层，使拍摄物体的颜色转化为它的补色，在复制正片时，仍以同样的原理把三原色的补色转化为三原色，再现物体的本来颜色。

经分解和合成制出的彩色图像，有真假彩色之分。若还原显现的色彩是与原来物体的色彩相同，称为真彩色合成。在进行真彩色合成时，要保证分光、还原过程的严格对应关系，否则，就不可能合成真彩色，而成假彩色。所谓假彩色，是指图像上物体所具有的颜色，并不是它的本色。例如，陆地卫星多波段图像合成时，MSS_4、MSS_5、MSS_7 3 个波段的黑白底片，按加色法通过蓝、绿、红滤光系统或遵减色法染以黄、品红、青颜料，就能合成标准的假彩色像片，这种像片上的植被显现出的是红色。若不按上述方案而是随意选择任何方案合成的像片，则成为非标准的假彩色像片。

第三章

地理遥感信息的搜集和处理

利用遥感技术对地理信息进行搜集，并将所获信息传输、处理后再作判别、解译方可应用。为此，本章将对有关搜集与处理地理信息的仪器设备和技术方法作简要介绍，为日后对遥感图像的辨认、解译奠定基础。

第一节　地理遥感信息的搜集

所谓地理遥感信息，是指通过遥感手段获得的由地表地物电磁波辐射所提供的有关信息。所以，对地物电磁波的搜集可以说也就是对地理遥感信息的搜集。当然，对地物电磁波的搜集是遥感技术的一个重要组成部分，而遥感地理学又是凭借遥感技术所获取的地物电磁波信息来研究地理事物的空间分布规律的科学。因此，对搜集地物电磁波的理论与方法加以探究显然是非常必要的。本节先就地物电磁波的搜集系统(传感器)略作介绍，以便进一步说明地理遥感信息的传输和处理。

一、地表地物电磁波的搜集系统

地表地物反射或发射的电磁波谱，给我们带来丰富多彩的地理信息。把能够通过大气窗口的这些信息记录下来并形成图像或数据曲线，是地理遥感工作的首要任务。对地物反射或发射电磁波的搜集系统就是传感器系统。这种系统大体是由 3 部分组成的。

1. 收集—分光系统

由透镜、反光镜、天线、滤光镜、棱镜、光栅等元件组成。其主要任务是把地物的电磁波集中、选择、分光以获得所需波段。一般是以据影或扫描这两种方式搜集电磁波信息的。

2. 处理—放大系统

其任务是排除无用噪音，对有用信息进行放大。

3. 探测—记录系统

用不同探测元件探测、记录不同波长的电磁波信息。表 3—1 列出了几种常用的探测元件，供参考。

表 3—1　常用探测元件

探　测　元　件	可 探 测 波 长	可探测的电磁波性质
胶卷(乳胶)	0.30～1.30μm	探影紫外、可见光、可摄影红外

探 测 元 件	可 探 测 波 长	可探测的电磁波性质
光电倍增管	0.30～0.75μm	紫外线、可见光
硅光电二极管	0.53～1.09μm	可见光、近红外
锗光电二极管	1.12～1.73μm	近红外
锑化铟探测器	2.10～4.75μm	近红外、热红外*

* 有关其他红外部分的探测器，参阅有关章节。

对电磁波的记录，有乳胶记录和磁带记录两种方式。有的需要将光转化为电用磁带加以记录，有的则需要将电转化成光用胶卷加以记录。被记录下来的电磁波可以用成像方式或非成像方式进行显示。成像方式是把地物辐射能量的强度用图像的形式表现出来；非成像方式，则是把传感器所探测到的地物电磁波特性用数字或曲线图形显示出来。现在最常用的是由成像方式所获得的影像。

最普通的传感器是摄影机和扫描仪，目前多波段扫描仪最多的通道为 24 个。表 3—2 列出了常用传感器的名称及其所探测的波段范围，并将于以下有关条目加以介绍。

不言而喻，传感器就是记录地物反射或发射电磁波能量的装置，是遥感技术系统的核心部分。由于地物电磁波辐射源的不同，传感器也就有主动式和被动式的区别。所谓主动式传感器是指由人工辐射源向被测目标发射辐射能量，然后再接收由被测目标反射回来的能量的装置；而被动式传感器，则是直接接收地表物体本身所辐射的能量的设备。在目前地理研究工作中应用最为广泛的要算是摄影机、扫描仪和成像雷达。

表 3—2 遥感方式、仪器及其使用波段

方式			仪器		紫外	可见光	红外	微波
					0.4μ	0.7μ	100μ	
成像	被动方式	摄影	航空摄影机					
			多波段摄影机					
		扫描	多波段扫描仪				0~5 8~14μ	
			紫外分光成像仪					
			红外扫描仪					
	主动方式	摄影	激光全息摄影机					
		扫描	激光雷达(单色光)					
			红外雷达					
			激光扫描仪					
			侧视雷达	单波段				
				多波段				
非成像			激光高度计					
			红外辐射计/散射计					
			微波辐射计					
			分光光度计					

二、摄影机

摄影机是遥感技术中使用历史最久且最为完善的一种传感器。用摄影方式所得到的像片，具有信息量大、分辨率高的特点，这些特点是目前其他传感器所不及的。采用摄影方式，不仅可以获取清晰的地物外貌形态，而且还可以获得地物从可见光到近红外各个波段的光谱辐射。但由于受到目前感光乳剂的限制，故只能用于波长为 0.29～1.1μm 的近紫外、可见光和近红外波段。遗憾的是摄影方式不仅使用的波段较窄，而且也只能在晴朗的白天工作。现代遥感技术最常用的摄影机有航摄仪(航空摄影机)和多波段摄影机(多光谱

摄影机)。

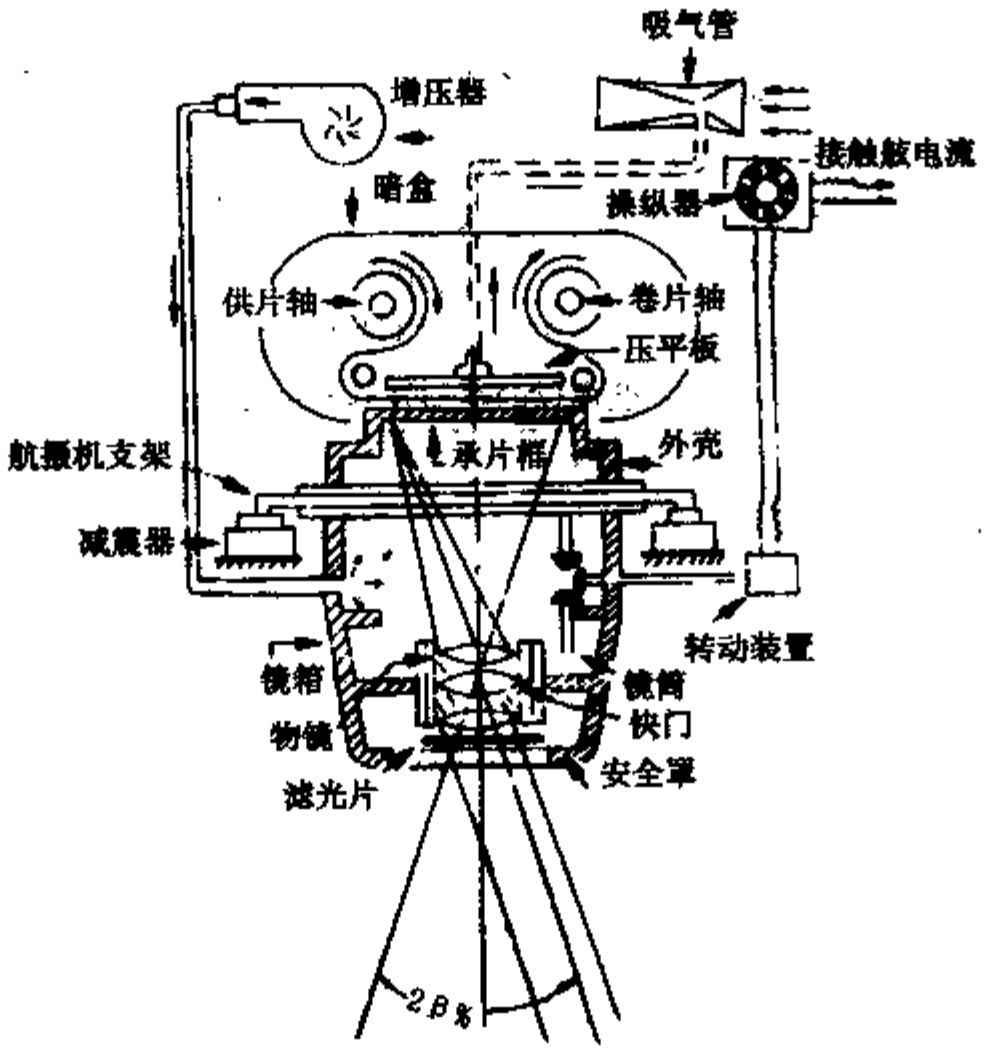


图 3—1　航摄仪结构示意图

1. 航摄仪

在遥感技术中以摄影方式获取地物电磁波信息是一种最古老、最常用也是最重要的手段，目前最基本的航摄仪器是航空摄影机，简称航摄仪。它是通过光学系统采用不同性能感光胶片和滤光片的配合来记录地物反射光谱能量以获得大量信息的。与其他传感器相比，可以说它是一种使用历史最久，而且又非常完善的传感器。其结构与普通摄影机基本相同，但它所使用的光学元件与机械部件的质量比普通摄影机要精密得多。航摄仪可分为单镜头、多镜头、条带摄影和全景摄影仪 4 种类型，其中最基本的是单镜头航摄仪(图 3—1)，它是由镜头、镜箱、暗盒、架座等部分组成的，其结构与普通像机相类似。

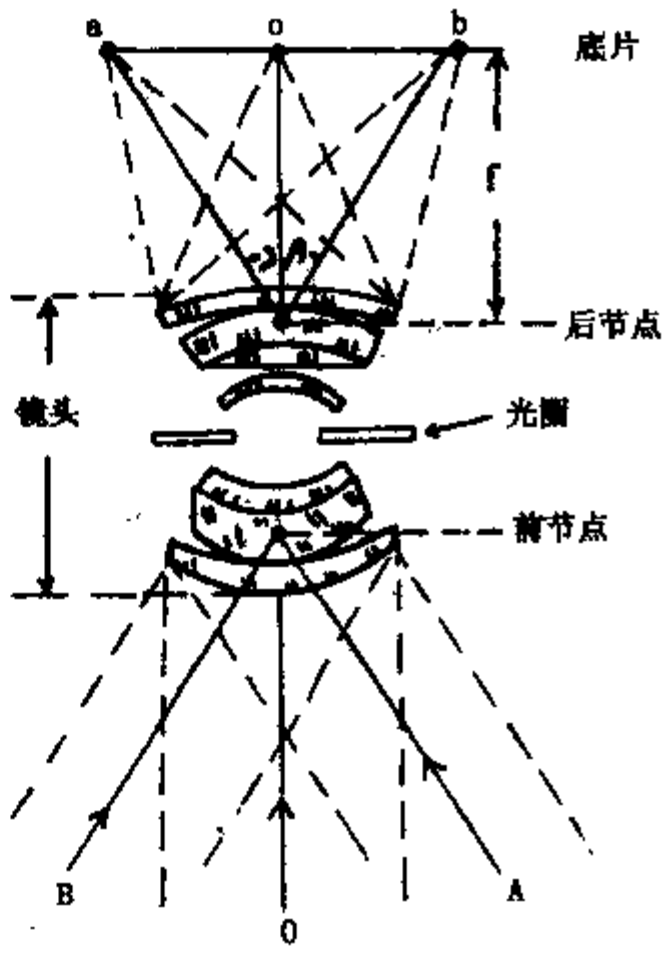


图 3—2　航摄仪镜头及其成像示意图

(1)镜头　是用不同曲率半径和不同化学成分制成的凹、凸透镜组，并将光圈放在由对称式透镜组所组成的复式透镜中心(图 3—2)。之所以这样组合，是为了消除因透镜的球面像差、色像

差、像场弯曲等所引起的影像模糊与变形。

由镜头后节点到像平面的距离为焦距 f。航摄仪与普通像机的不同，在于它的镜头焦距是固定的，摄影时可以根据需要置换不同焦距的镜头。一般长焦距镜头可摄取较大比例尺的航空像片，而短焦距镜头所摄航空像片的比例尺较小。

像场直径的 a、b 两端点与镜头后节点连线间的夹角叫做像场角。按镜头像场角 2β 值的大小可将航摄仪分为常角($2\beta=50°\sim70°$)、宽角($2\beta=70°\sim105°$)和特宽角($2\beta=105°\sim135°$)三种类型(表 3—3)。航摄仪的短焦距镜头具有较宽的像场角。

表 3—3　航摄仪的类型及其有关参数

像场角	航摄仪类型	像幅大小(cm)	焦距(mm)	焦距类型	分辨率(线/mm)
常角 $2\beta=50°\sim70°$	АФА-ТЭ(苏)	18×18	200	长焦距	侦察用
	RC_8(瑞士)	18×18	210		
	RMK_A(西德)	23×23	300		
宽角 $2\beta=70°\sim105°$	航甲-17 型	18×18	100	中等焦距	75(中部) 60(边部)
	АФА-ТЭ	18×18	100		
	RC_8	18×18	115		
	RC_{10}	23×23	152		
	RMK_A	23×23	150		
特宽角 $2\beta=105°\sim135°$	АФА-ТЭ	18×18	70	短焦距	40
	АФА-ТЭ	18×17	70		
	RC_9	23×23	88.3		150
	RMK_A	23×23	85		

航摄仪对镜头的光学性质要求较高，其质量是以镜头分辨率(每毫米距离内能清晰分辨出平行排列线的条数)来表示的。好的镜头，中心分辨率不低于 50 线/mm，边缘则大于 20 线/mm。质量优良的德国 RMK 航摄仪镜头为特宽角，焦距是 85mm，中心分辨率可达 150 线/mm。

特宽角镜头多用于国家基本测图，以增加覆盖面积；在一般生产建设中则用宽角镜头，只有当测区高差过大时才采用常角镜头。目前，我国常采用 18×18cm 的像幅，今后将逐步推广像幅为 23×23cm 的航摄仪器。

(2)镜箱　镜箱是用金属材料制成的。其前端是镜头，后端为承片框；承片框的大小，就是像幅的大小。

(3)暗盒　暗盒里有两个胶片轴，一是供片轴，一是卷片轴，由电动机带动自动卷片。暗盒下部是压平板，供压平底片之用。各类航摄仪的暗盒可装 30～120m 长度不等的胶片。一台航摄仪需要有好几个备用暗盒以满足使用。

(4)座架　是支撑整个航摄仪的底座。它固定在飞机的照相舱口上，可使航摄仪作旋转和倾斜动作，以改变偏流角，使航摄仪保持水平，保证其镜头主光轴垂直于地面，达到垂直摄影之目的。

如图 3—3 所示，当飞机沿 AB 方向飞行且与风向 AC 不一致时，则会因受侧风影响使其偏离航向朝 AD 飞行，AD 与 AB 间之夹角 φ 称之为偏流角。为了让飞机按预定航向 AB 飞行，就必须对其偏流角进行纠正。纠正时，必须使飞机扭向 AB′方向，扭转的角度就是偏流修正角。若按偏流修正角 AB′方向飞行，反映在航摄像片上就产生一个航偏角(图

中Ⅰ和Ⅱ的位置)。所以,在航摄过程中必须使航摄仪向相反方向转动一个ω角才能取得图中Ⅲ正确位置的影像。

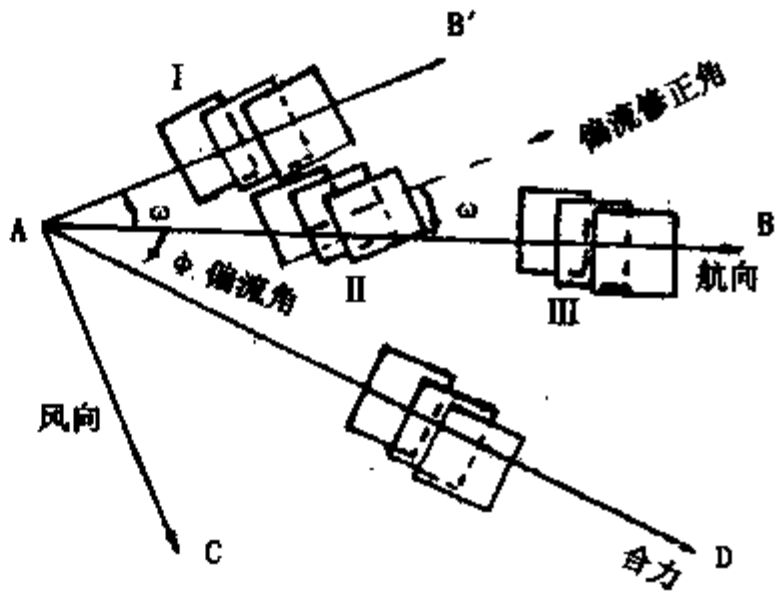


图 3—3　偏流角及其修正示意图

2. 多波段摄影机

多波段摄影机,又称多光谱摄影机,是采用不同滤光片和不同感光胶片的组合对同一地区进行摄影,以获得该地区被摄物体不同光谱段像片的新型设备。按其结构特点可分为多镜头、多像机和光束分离3种类型。

(1)多镜头型　是一台配有多个镜头和不同波段滤光片的摄影机。这种摄影机有三镜头、四镜头和九镜头等几种。摄影时,多个镜头同时对地面同一地物按不同波段顺序摄影,成像在同一幅感光片上。因此,利用这种摄影机所摄的像片,既能根据地物在不同波段的反射光谱特性来直接识别地物,又能用其进行彩色或假彩色合成,以利对被摄物体的判定、解译。

(2)多像机型　是由配有不同波段滤光片的多台摄影机的组合,一般分为4台组合或6台组合等。摄影时,多台像机同时对同一被摄物体分别进行摄影,并成像在各台摄影机的感光胶片上。

用4台摄影机组合摄影,可获得蓝、绿、红3个波段的黑白像片和彩色红外像片;如用6台摄影机组合进行摄影,除可获得以上4种像片外,还能摄得紫外和普通彩色像片。美国在"阿波罗"9号宇宙飞船上采用的是4台摄影机组合。

可惜的是,当用不同波段的像片进行套合时,很难达到套合的绝对准确。这是以上两种多波段摄影机共同存在的问题。

(3)光束分离型　是一种通过摄影机内部4个光束分光镜分离出蓝、绿、红和近红外等4个不同波段的图像并分别记录在4张感光胶片上的单像机、单镜头、多感光胶片的摄影设备(图3—4)。

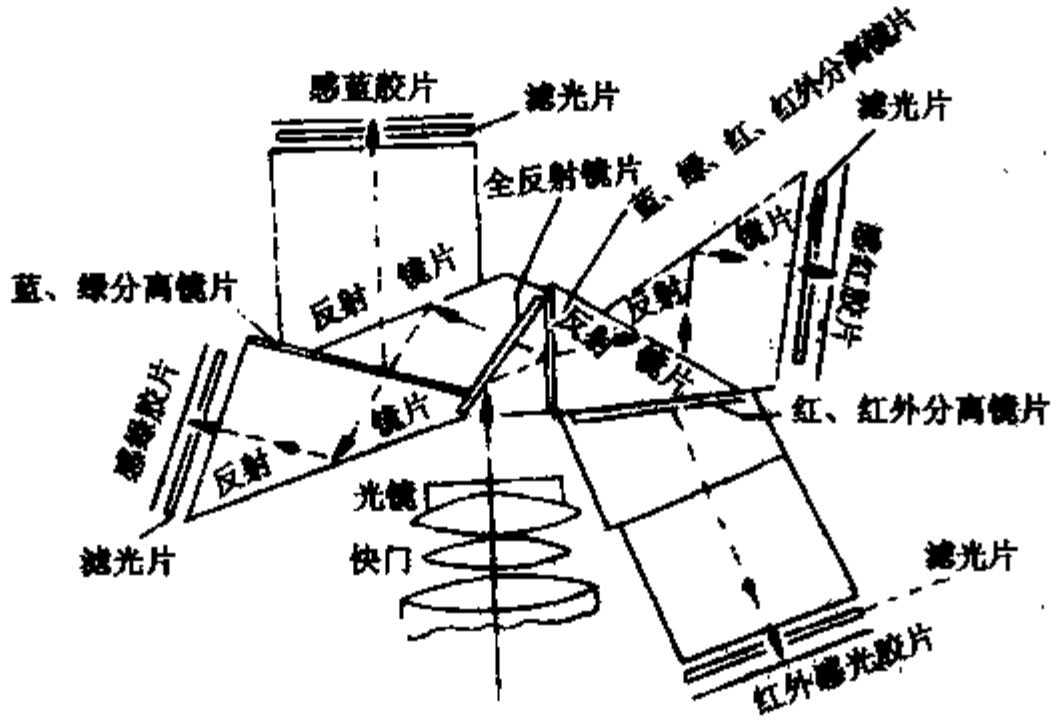


图 3—4　单镜头光束分离式多波段摄影机示意图

如图所示，地物反射的光线，经透镜聚焦到全反射镜片上后，再反射到蓝、绿、红和近红外分离镜片上，由该分离镜片将光分成两束，其中一束为蓝、绿光，被分离镜片反射到蓝、绿分离镜片上，蓝光被反射，并通过蓝色滤光片在感蓝胶片上感光，记录下蓝光波段的图像；而绿光则通过分离镜片后被反射镜片反射，再通过绿色感光片于感绿胶片上感光，记录下绿光波段的图像。同样，另一束红和近红外光却从分离镜片透射过去，分别被反射镜片反射或透射，并通过相应的滤光片后分别在感红胶片和红外感光胶片上感光，记录下红和近红外的图像。

这种光束分离型摄影机具有结构简单、不同波段的图像套合容易等特点。但由于光束被多次分光使其能量损耗较多，影响了图像质量，同时，也不宜要求在不同照片上的照度均匀一致。

三、扫描仪

扫描仪，是一种根据光电转换原理，把由光学系统探测到的地物辐射能量转换成电信号，经遥测发射器传送，将信息记录于磁带上，再经处理可变成图像的仪器设备。它和摄影机虽然都同属成像传感器，但其工作波段和成像方式却有所不同。

按成像方式，扫描仪可分为电子束扫描、光学—机械扫描和电于自动扫描方式等 3 种类型。相应于这 3 种扫描方式的仪器设备是反束光导管摄像机、多波段扫描仪、红外扫描仪和而体扫描仪等。

1. 反束光导管摄像机

反束光导管摄像机系统又称 RBV（*Return Ream Vidicom*）（图 3—5），由该方式取得的像片称为 RBV 像片。

反束光导管摄像机实质上是一种电视摄像机（光导管摄像机），它们的工作原理是基本相同的。如图 3—5 所示，首先，由透镜光学系统把地物景像聚焦于光导靶面上，转换成为电位高低不同的电子图像，再经由阴极发射出来的电于束将图像分解成许多像元（像素），在偏转线圈和校正线圈的控制下依次对像片进行扫描形成视频电信号，并传送给地面或记录在宽频磁带上。

反束光导管摄像机与电视摄像机的差别，在于它使用了与电视摄像机所用的光导摄像管不同的反束光导摄像管。所以，它具有较高的灵敏度、信噪比和分辨率。RBV 图像的分辨率取决于电于束的聚焦能力。电子束的聚焦越细，分解的像元越多，扫描的行数也越多，分辨率也就越高。反束光导摄像机一幅画而的扫描行数为 4200～4500 行，而电视摄像机的每幅画面却仅有 625 行。

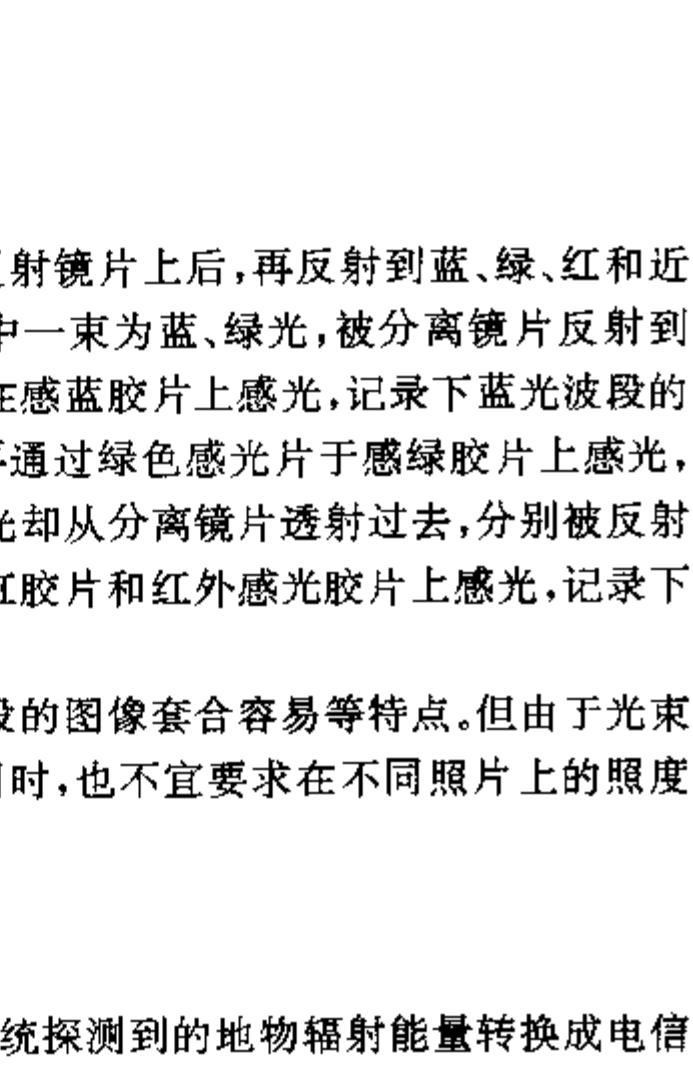


图 3—5　反束光导管摄像机结构示意图

在第1、2号陆地卫星上，均装有由镜头、快门、滤光片、反束光导管和电子控制装置等组成的3台相同类型的反束光导管摄像机(图3—6)。每台摄像机都有各自的光学镜头和滤光片，其光谱波段分别为：

RBV1：0.475～0.575μm 蓝绿光波段；

RBV2：0.580～0.680μm 红黄光波段；

RBV3：0.690～0.830μm 红—近红外光波段。

工作时，3个不同光谱段的摄像镜头，对准地面同一地物，快门同步启动，以8～20ms的时间曝光，曝光后在光导靶面上贮存约10.5s，随即以每秒1 250行的扫描速度按RBV3、2、1的时序读出。读出的信号依次进入视频组合器，变成视频时序信号，向地面实时发射或暂且记录在磁带上作延时发射。

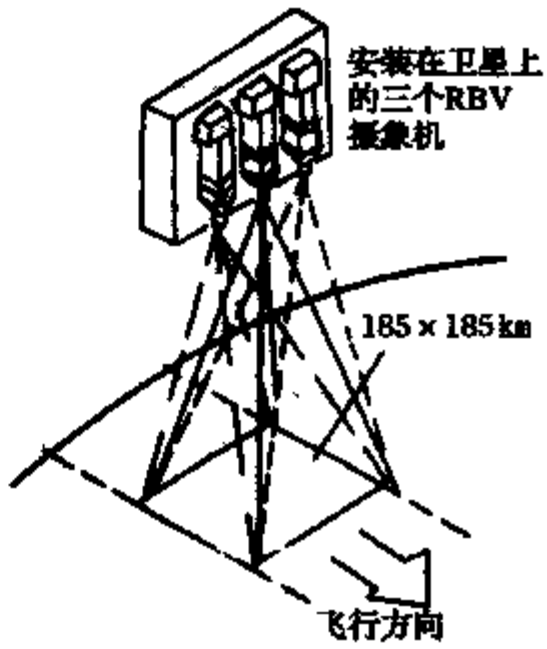


图3—6 第1、2号陆地卫星上安装的反束光导管摄像机示意图

RBV在910km的“标称”(额定)轨道高度上空取得标称尺寸(55×55mm)遥感图像所对应的地面范围是185×185km。每幅图像由清除、准备、曝光、读出4个步骤完成，共需25秒的时间。所以RBV每隔25秒曝光一次，摄取一个地面景像，在卫星每天绕地14圈中共拍188个景像，每个景像有3个波段，故卫星每天要向地面发回564幅RBV图像。图3—7表示卫星各条轨道上图像的大致分配数目。

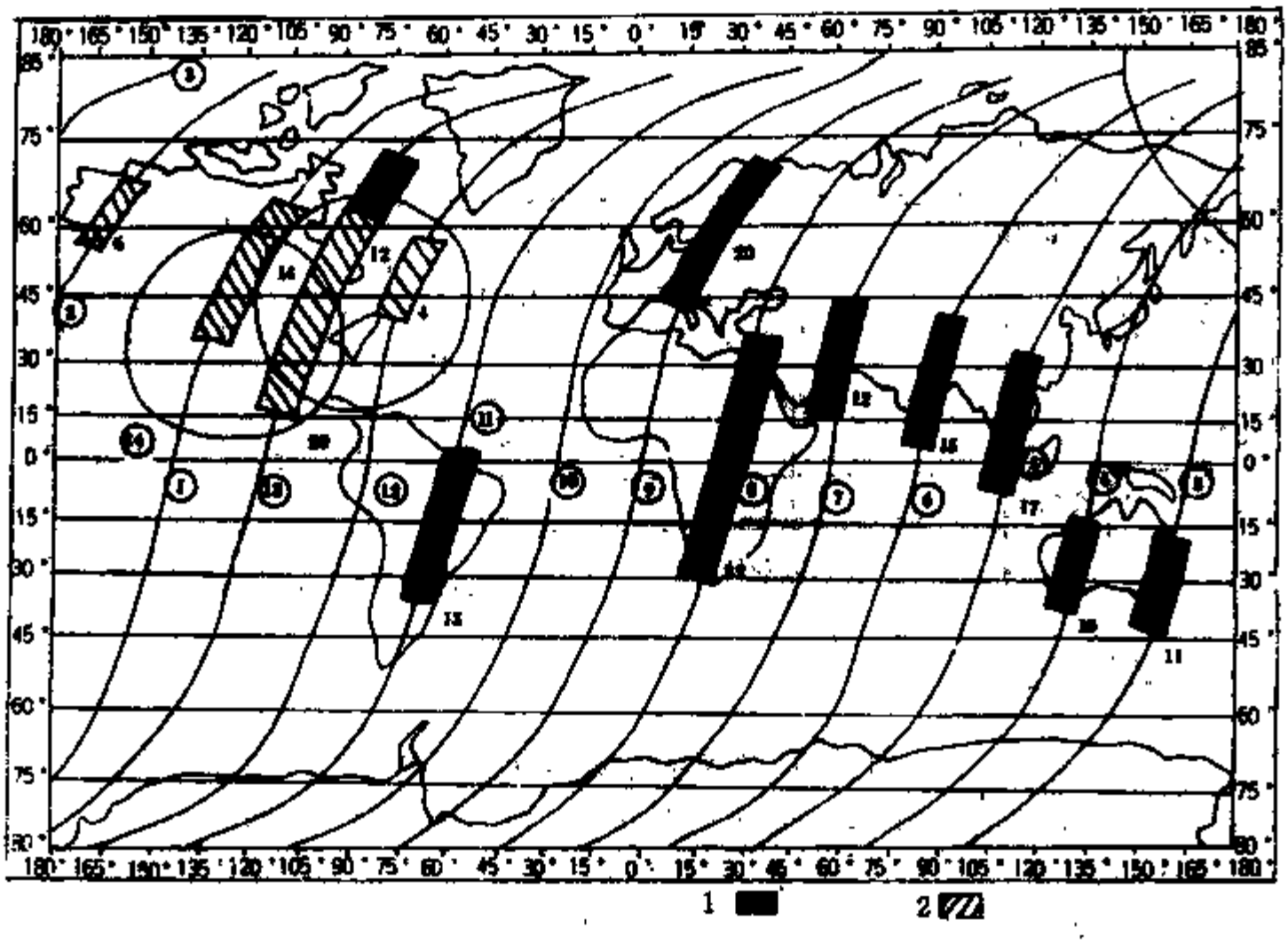


图3—7 陆地卫星每日典型覆盖图像分配示意图

赤道附近的数字①到②为轨道编数；其余的数字为每圈拍摄景象数；图例1为记录回放的图像；图例2是实时传输的图象

陆地卫星3号装置有第二代RBV摄像机，它是由两台相同的反束光导摄像机并联组成的(图3—8)，可同时获得两幅互有重叠的图像。由于其焦距从过去的126mm改为236mm，几乎增加了1倍，所以地面分辨率也比过去提高了1倍，达30m。它不分波段，两台摄影机都采用0.505～0.750μm的宽光谱带，像幅仍为55×55mm，在标称轨道上能覆盖的地面范围是98×98km，互相重叠13km和17km，4幅面积相当于1、2号陆地卫星的一幅RBV像片的面积。

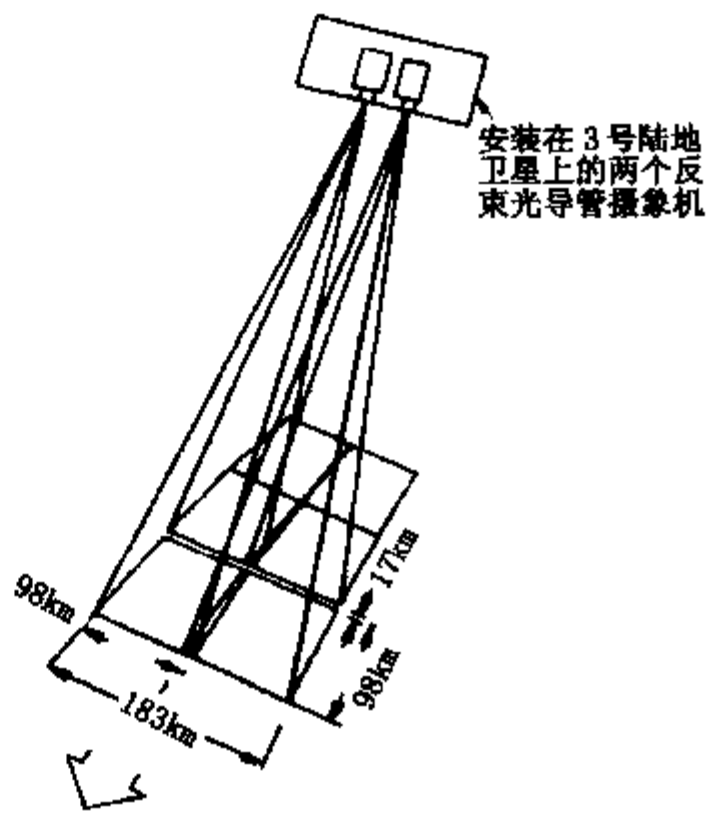


图3—8　第3号陆地卫星上安装的反束导管摄像机示意图

2. 多波段扫描仪(多光谱扫描仪)

多波段扫描仪简称MSS(*Multispectral Scanner*)，它是把来自被摄物体的辐射(反射或发射)分成几个不同波段，以光学—机械扫描方式用探测器同时扫描成像的一种传感器，由它取得的像片称为MSS像片。

在美国发射的1～5号陆地卫星上均装有多波段扫描仪(图3—9)，扫描仪是由扫描反射镜、校准器、聚光系统、旋转快门、光学纤维成像板、滤波器和探测器(检波器)等部件组成的。

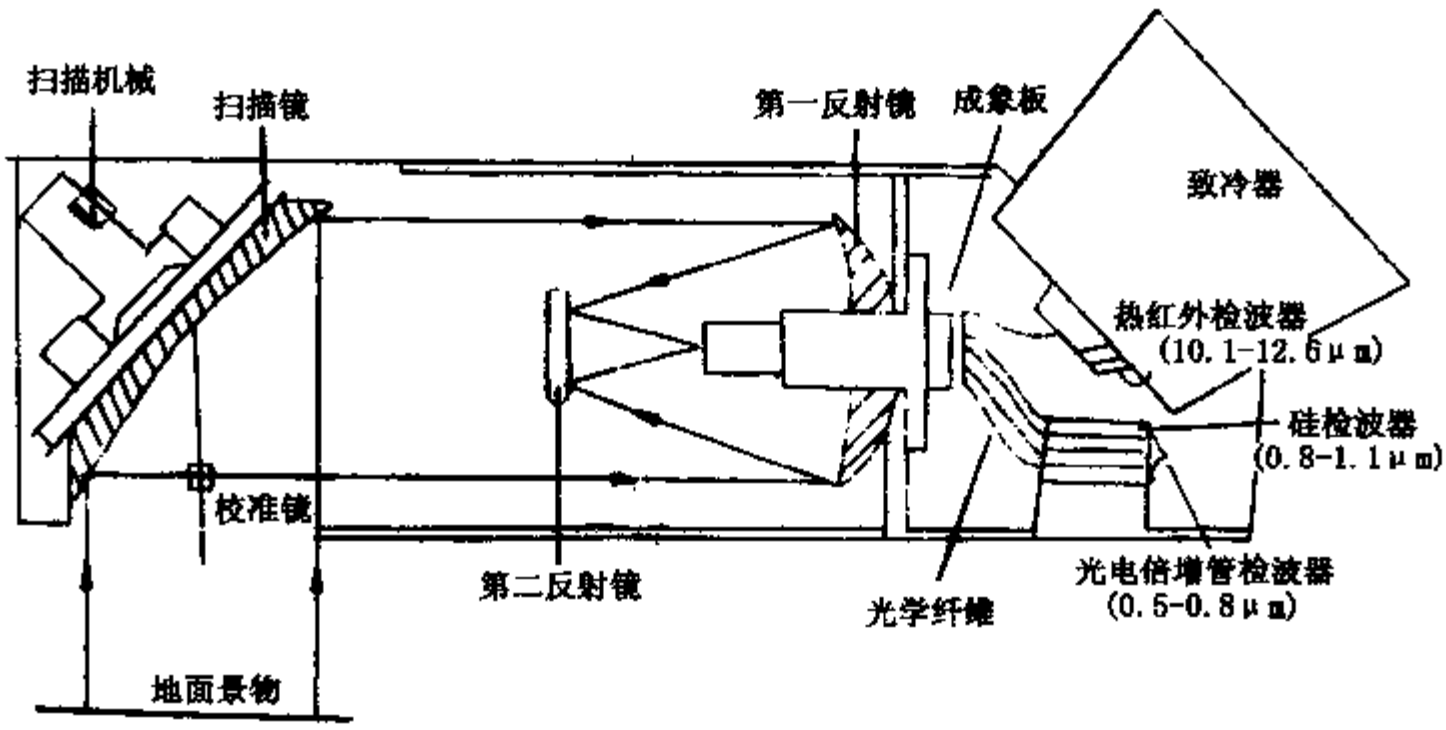


图3—9　多波段扫描仪结构示意图

多波段扫描仪的扫描反射镜与地面和聚光系统的光轴都成45°角。工作时，扫描反射镜以13.62次/秒的频率摆动，摆幅是±2.9°，向下张开形成的视场角为11.56°，在910km标称轨道高度上构成地面宽度为185km的扫描带(图3—10)。在扫描仪内，沿运行方向排列着视场为79m的6个探测器，所以，扫描镜每摆动一次，就有对地面覆盖宽度为474m的6条扫描线同时对地物进行扫描(图3—11)。故而，扫描反射镜每摆动一次，就相当于多波段扫描仪4个波段同时对地面185km×474m面积上的景物进行一次多波段摄影。

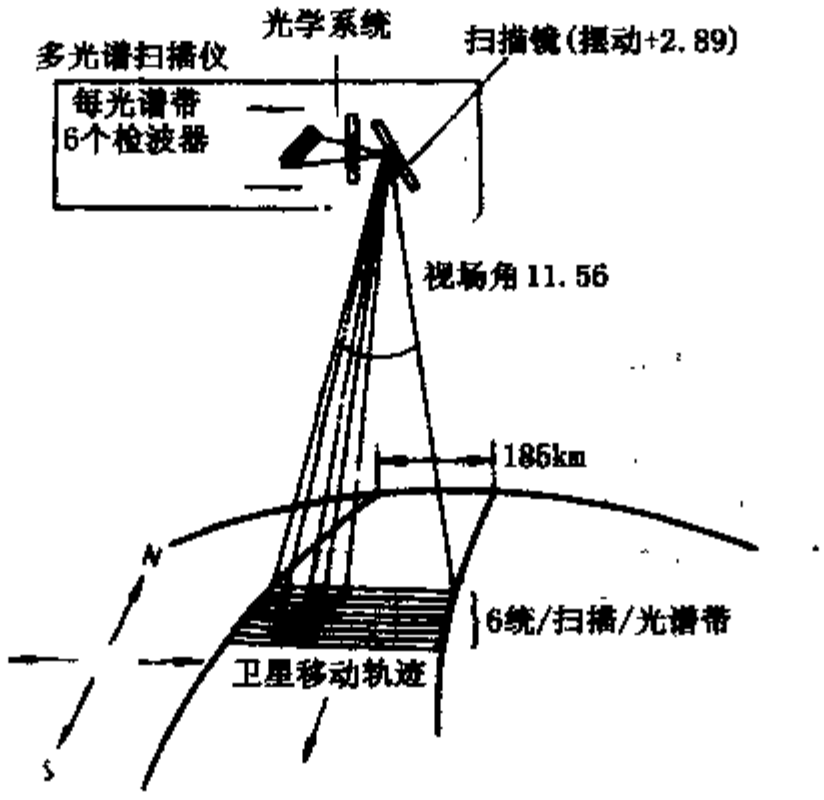


图 3—10　多波段扫描仪扫描图解示意图

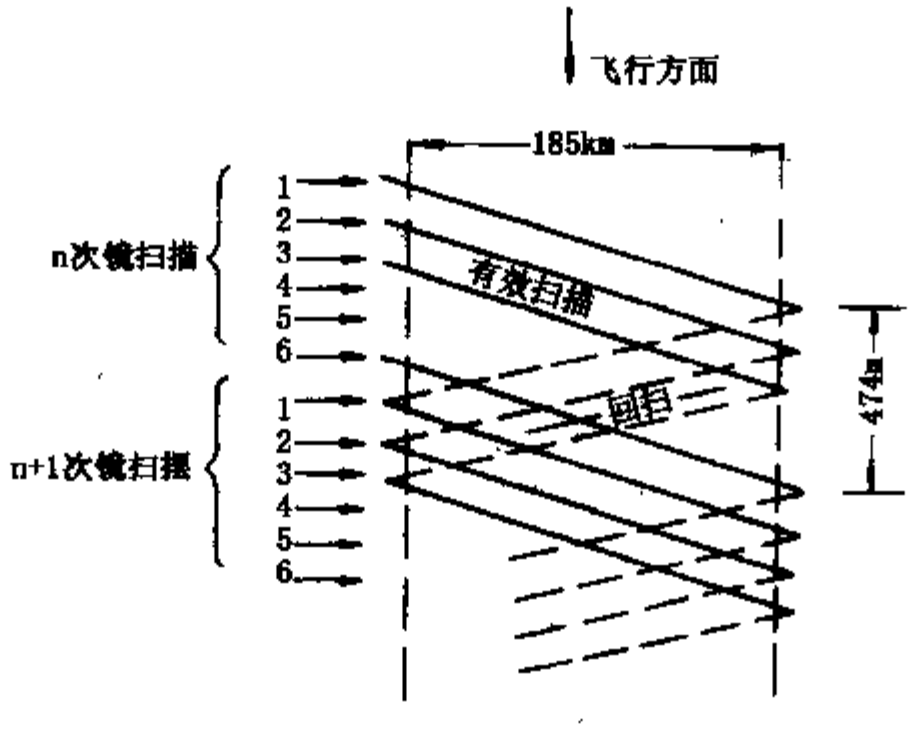


图 3—11　六条扫描线扫描图解示意图

在卫星运行中，扫描镜是反复摆动连续扫描的。扫描方向自西向东是有效扫描，回扫时快门轮关闭光路，为无效扫描。有效扫描和回扫周期是 73.42ms，在这段时间里地面被摄景物以 6.47km/s 的速度掠过遥感仪器，恰好也是移动了 474m，这就使下一次扫描周期时，第一个探测器的扫描线恰好与前一周期第 6 个探测器的扫描线相邻。所以，如果要扫描出一幅 185km×185km 的 MSS 像片，就需要进行 390 次有效扫描，也就是每幅像片应有 2340 条扫描线。

扫描反射镜每摆动扫描一次，聚光镜就把扫得的光束投射到光学纤维成像板上一次。光学纤维成像板是由 24 块光学纤维板按 4×6(或 5×6)的阵列排列的(图 3—12)。其中 4 列分别是 4 个波段的成像板，6 行是分别对应于 6 条扫描线的成像板。每个成像板的瞬时视场相当于地面 79×79m 的范围。有效扫描时，每条扫描线一次扫过与之相对应的 4 个波段的成像板，并通过各自的滤光器产生 4 个不同波段的图像，6 条扫描线共产生 24 个

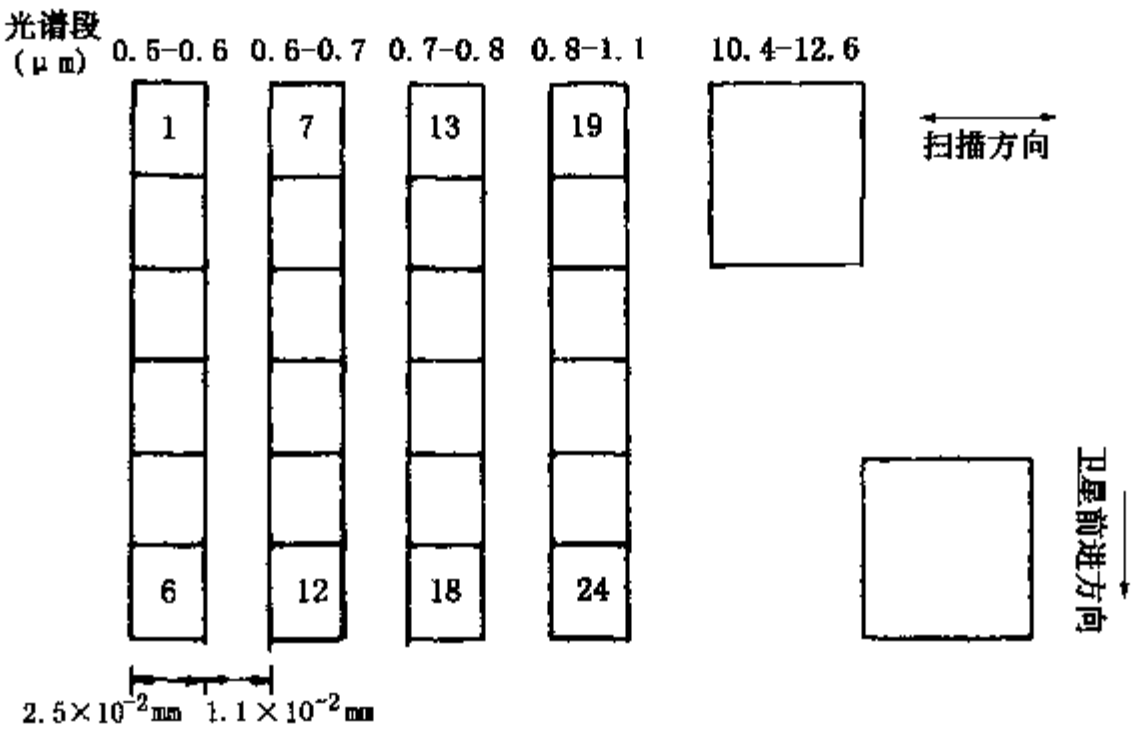
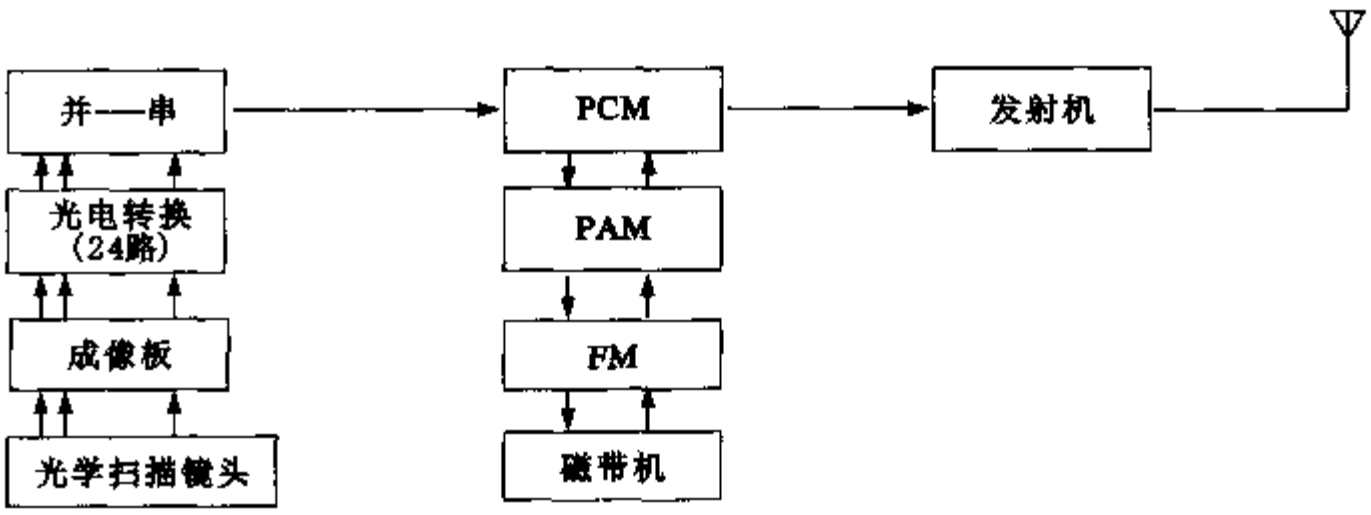


图 3—12　成像板光纤排列示意图

图像，然后由 24 条光学纤维将图像分别传递到 24 个探测器(3 号陆地卫星又增加了两个热红外探测器)上，探测器利用光电效应将光学纤维传递来的图像光信息再转换成电信息，形成 26 路视频信号输出。并通过并—串转换、采样、编号，变成时序脉冲编码信号(PCM)，向地面实时发射；或变成脉冲调幅信号(PAM)以脉冲调幅、调频信号(PAM—FM)形式记录在磁带上，作延时发射时使用。其工作过程如下列框图所示：



多波段扫描仪所使用的波段如表 3—4。

表 3—4　多波段扫描仪波段编号与波段划分

波段编号		波段划分	
1～3 号卫星	4、5 号卫星		
4	1	0.5～0.6μm	绿光波段
5	2	0.6～0.7μm	红光波段
6	3	0.7～0.8μm	红—近红外波段
7	4	0.8～1.1μm	近红外波段
8		10.4～12.6μm	热红外波段

另外，在第 4、5 号陆地卫星上装载了专题制图仪(TM)，它是第二代光学—机械扫描仪。与多波段扫描仪相比，它采用了双向扫描，使正扫与回扫都成为有效扫描。因此，缩短了停顿时间，提高了扫描效率，也提高了探测接收地面辐射的灵敏度。

专题制图仪采用了 7 个波段：

TM—1　0.45～0.52μm；

TM—2　0.52～0.60μm；

TM—3　0.63～0.69μm；

TM—4　0.76～0.90μm；

TM—5　1.55～1.75μm；

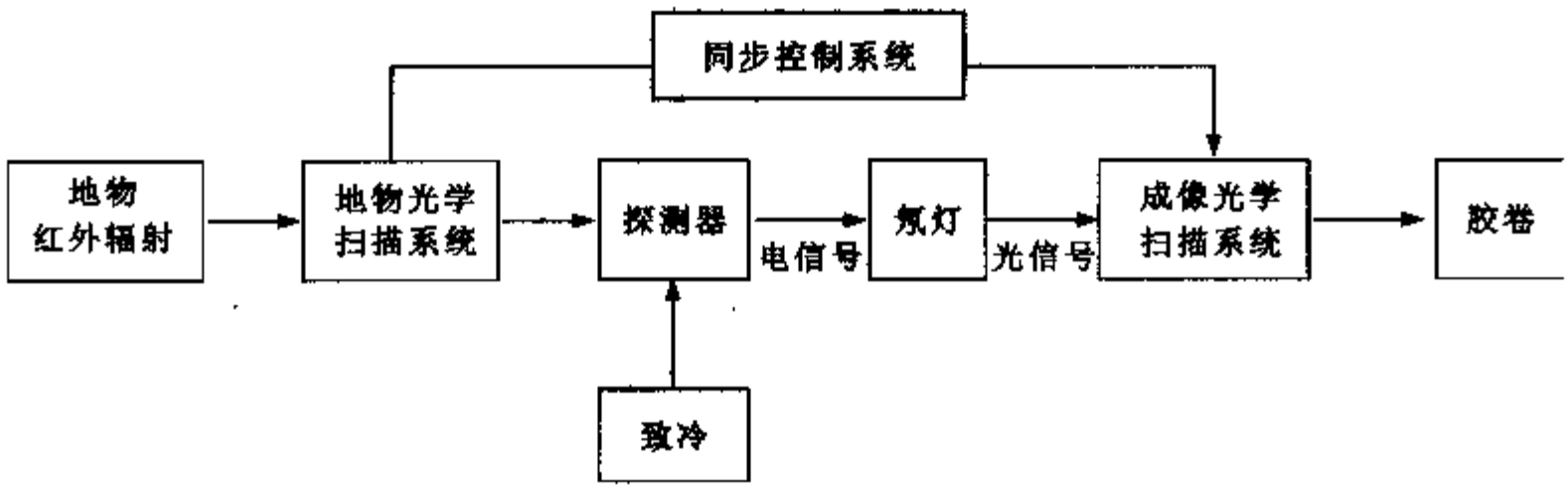
TM—6　10.40～12.50μm；

TM—7　2.08～2.35μm；

由上可知，专题制图仪的 2～4 波段和多波段扫描仪的 4～6 波段基本相似，都属于可见光波段；而 5、7 波段则属近红外波段，这是为探测岩石在近红外波段的光谱特性而选择的。以上各波段的地面分辨率是 30m。6 波段属热红外波段，是为探测岩石的发射光谱特性而选择的。由于岩石对不同波长发射率的变化与硅的含量有关，所以，可以利用这种发射光谱特性来区分主要岩石的类型，尤其是对硅酸盐的反映更为突出，这就为地质解译提供了更多的信息。

3. 红外扫描仪

红外扫描仪是由扫描系统、红外探测器、记录系统和数据处理等几个基本部分组成的。它是根据光电效应，用光学-机械扫描方式，把被摄物体的热辐射转变成探测器的电信号记录在磁带上，再通过阴极射线管回放成像；或用探测器的电信号去调制发光管（氖灯）的强度，将扫描得到的地物辐射直接用胶卷成像的。其成像过程可用以下框图表示：



当扫描仪在空中扫描时，被摄目标的红外辐射被地物光学扫描系统（又称第一系统）吸收，传递到被微型制冷机制冷到一定工作温度的探测器上，在探测器内发生光、电转换，把光信号变成电信号。经电子线路处理后，电信号触发氖灯（或发光二极管），使其产生电、光转换，又把探测器所产生的电信号重新变成光信号。这时的光信号已成可见光，再经成像光学扫描系统（第二系统）即可使胶卷感光，并将其或像在胶卷上。由于第一和第二系统是同步的，所以就能保证相同的重叠率和比例尺。又因为加在电、光转换器件上的控制信号是随地物红外辐射能量变化而变化的，故面，胶片上的图像就间接地反映出被摄物体的热红外图像。这种先光、电再电、光的转换过程，是红外扫描仪（红外摄影机）与普通摄影机的根本区别。

4. 固体扫描仪

固体扫描仪采用了由电荷耦合器件（CCD）制成的固体探测元件，而且，探测元件的数目与扫描线上的像元数相等，按线性排列方式装置在快门和光学系统后面并垂直于卫星

运行的方向(图 3—13)。所以,随着卫星(或飞机)向前运行可提供一个纵向扫描;而线性列阵的顺序取样又提供了横向扫描,从而得到整个航带的图像。另外,固体扫描探测元件上输入的数据,恰好和每个像元点的亮度值相对应。所以,这种扫描仪的分辨率取决于探测元件的个数。

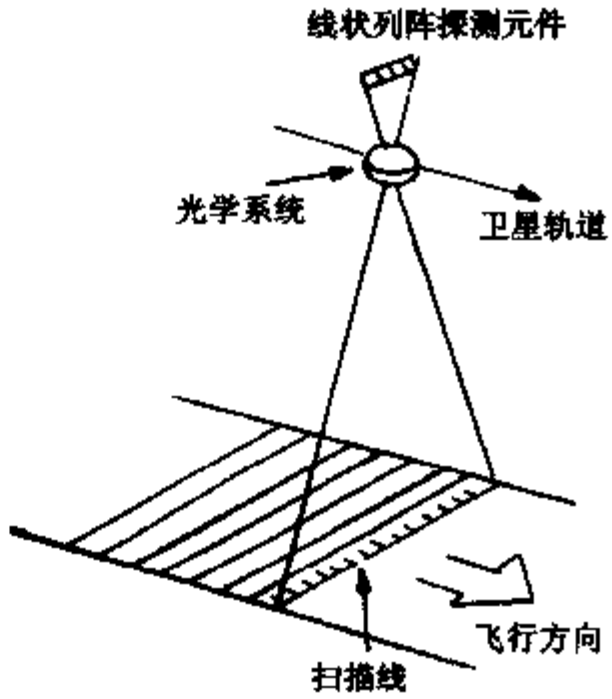


图 3—13 固体扫描仪工作原理

固体扫描仪的工作原理,实质上是电荷耦合器件(CCD)的工作原理(图 3—14)。电荷耦合器件的光敏面是由硅二极管组成的,每个硅二极管都和集成电路 MOS(金属-氧化物-半导体)器件列阵中对应的电荷存贮器相连接。每当列阵中某个硅二极管受光照射时,该二极管就会产生与照射光成正比的电荷量(或电流),并输送给该二极管后面的电荷存贮器给予存贮。这样由电荷存贮器组成的电子移位寄存器,使电子按照顺序由能量高处流向能量低处,电荷(或电流)则依次从硅表层层内一点移向另一点,形成所谓电子自扫描。把移位脉冲数据信号输出,经处理即可再现影像。

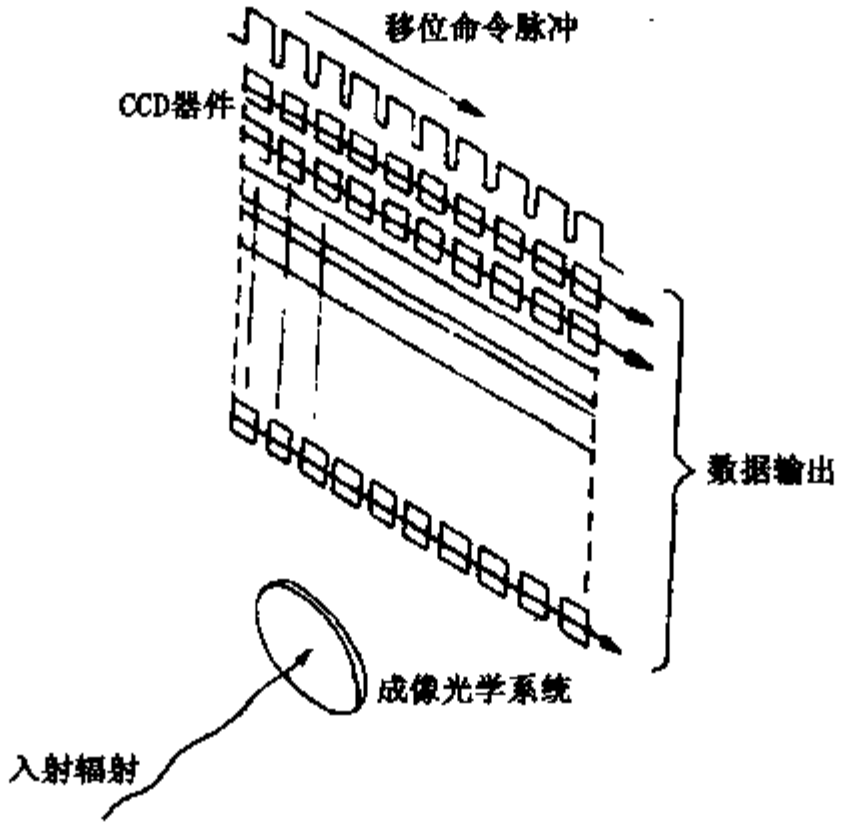


图 3—14 电荷耦合器件成像原理示意图

固体扫描仪用电荷耦合器件制成的探测元件取代了复杂的机械扫描结构。它的每个探测器的几何位置都很精确,因而具有效率高、分辨率高、工作电压低、信号均匀、信噪比好、不产生图像畸变、重量轻、体积小、遥感波段宽并能直接成像的优点。但由于探测器的像元数增加,使其因热漂移引起各探测器像元的响应、暗电流变化以及其他探测性能不一致,故必须进行辐射校正。

四、雷达

雷达(*Radar*)是英文无线电探测和测距的缩略语,于 20 世纪 30 年代初进行试验,第二次世界大战中得以迅速发展,目前,应用在遥感技术中已成为一种主动式微波传感器。

它是用人工方法由雷达向被测物体发射微波波束，然后用仪器接收从被测物体上反射回来的电磁波，经电子设备处理后转换成图像，以便根据其电磁波的特征来识别物体。

目前，雷达的种类较多，按其工作系统，可分为平面正像指示雷达(PPI)和侧视雷达(SLAR)两大类。侧视雷达又分为真实孔径与合成孔径两类。现在，应用最为广泛且最有发展前途的微波遥感仪器是合成孔径雷达。

所谓合成孔径是相对于真实孔径而言。它采用了根据相干电磁波的干涉、衍射原理，运用线性天线阵形成窄波束的合成孔径天线，从而使其获得了很高的分辨率。

真实孔径雷达影像的方位分辨率(指在飞行方向上能分辨的最小距离值)可表示为：

$$P_a=\frac{\lambda R}{D} \qquad (3—1)$$

式中：P_a—方位分辨率；　　λ—使用的波长；　　D—天线孔径；

R—雷达离目标的距离。

由式 3—1 可知，真实孔径雷达影像的方位分辨率和天线孔径的大小成反比，和雷达使用的微波波长、距离成正比。

但合成孔径的方位分辨率却成以下关系：

$$P_a=\frac{D}{2} \qquad (3—2)$$

可见，合成孔径雷达的方位分辨率只受天线孔径的影响，却和距离、波长均无关系。也就是说，要获得 2m 的方位分辨率，只要用口径为 4m 的天线就可以了。

天线口径越小，P_a 值越小，方位分辨率越高，解像能力越好，这是普通雷达所无法与之比拟的。

合成孔径雷达的距离分辨率(垂直于飞行方向能分辨的最小尺度)和雷达发射脉冲的宽度有关，即：

$$P_\lambda=\frac{\tau c}{2} \qquad (3—3)$$

式中：P_λ—距离分辨率；　　τ—脉冲宽度；　　c—光速。

式 3—3 指出，τ 值越小，P_λ 也越小，分辨率就越高。但一般雷达的脉冲宽度太大，所以不能提供必要的距离分辨率。侧视雷达采用了脉冲压缩技术，能发射窄脉冲，故而也就能满足对距离分辨率的要求。

合成孔径侧视雷达的工作原理如图 3—15 所示。

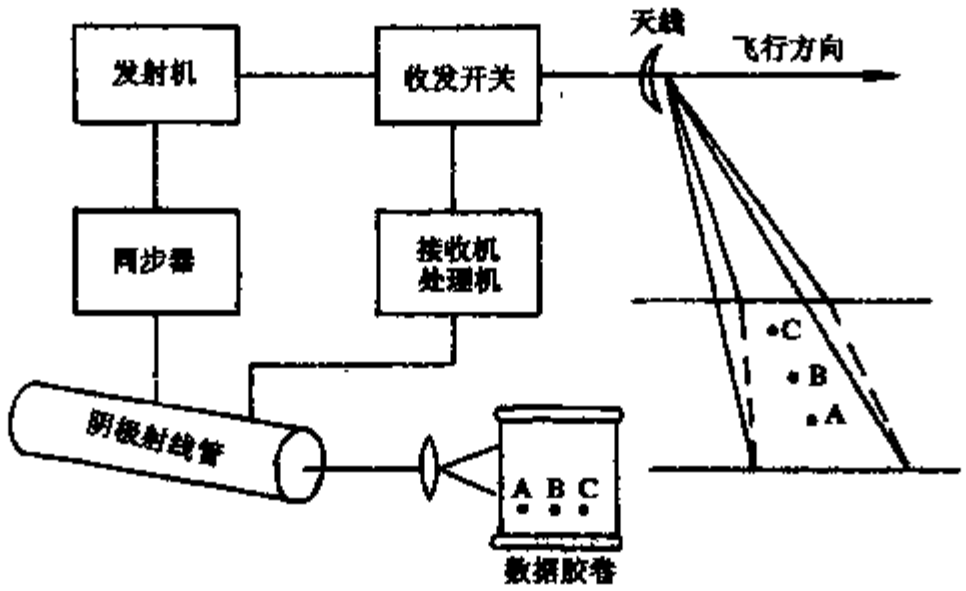
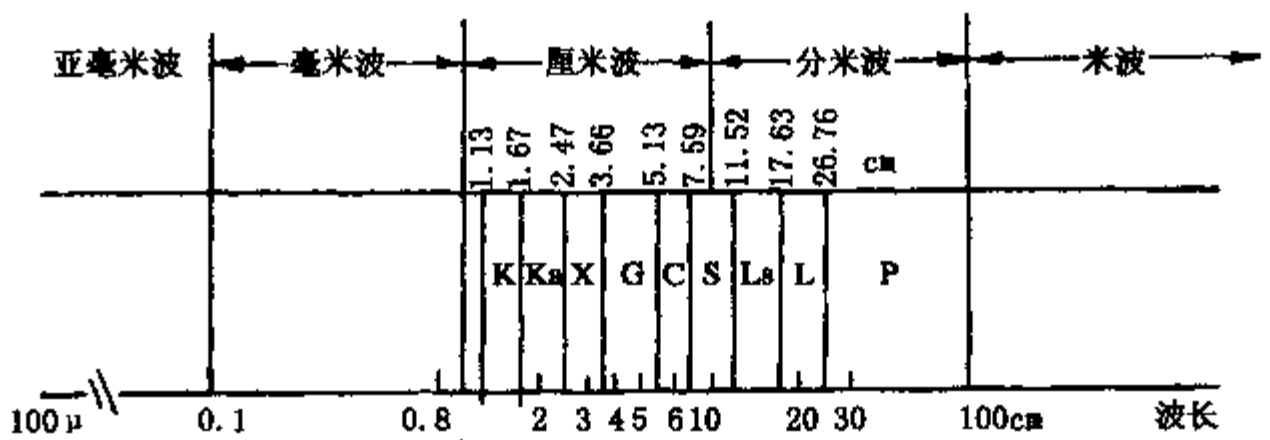


图 3—15　侧视雷达工作原理示意图

当雷达发射电磁波时，收发开关打开“发射”系统，发射机经天线向被测目标发射脉冲微波信号；微波信号返回时，收发开关又打开“接收”系统，接收从目标后向散射回来的回波。所收回波，通过接收机，经混频、移相、检波和视放等一系列程序后，将信号传输到阴极射线管，信号在荧光屏上呈现出一个个光点，经同步摄像装置记录在胶片上，得到数据胶卷，再利用傅利叶变换原理进行光学处理后就可得到雷达图像胶卷。

雷达向被测物体发射的电磁波是微波波束。一般把微波波谱的范围定为 1mm～1m。但在实际应用中，却只考虑介于 0.8～30cm 的微波波段。通常根据其能量和物理特征的差别，又将其细分为：毫米波(1mm～10mm)、厘米波(1～10cm)、分米波(10～100cm)、米波(>100cm)等几个波段。也有人主张把波长 1mm～30cm 的称为微波，大于 30cm 的称为无线电波。在厘米波和分米波之间还可细分为 K 波(1.13～1.67cm)，K_a 波(1.67～2.47cm)，X 波(2.47～3.66cm)，G 波(3.66～5.13cm)，C 波(5.13～7.59cm)，S 波(7.59～11.52cm)，L_s 波(11.52～17.63cm)，L 波(17.63～26.76cm)和 P 波(26.76～100cm)。上述划分参见图 3—16。



1

图 3—16　微波波谱划分示意图

由于微波波长比可见光至红外波长要长，所以，微波遥感在技术和应用上均与可见光、红外遥感不同。从技术上来讲，微波遥感应用的是电学技术；而可见光、红外遥感则应用的是光学技术；在应用上，微波遥感具有以下几方面的特点：

1. 具有全天候探测能力

雷达是主动式传感器，它不依靠太阳照明，所以昼夜都能获得同等质量的影像。

2. 具有一定的穿透能力

雷达所使用的是微波波段，微波对某些物质具有一定的穿透能力，能直接透过冰、雪、土壤和植被等覆盖物，探测其下的有用信息。

3. 对某些物体具有明显的区分能力

红外辐射是分子振动光谱，微波则为分子转动光谱，相对来说，低温状态下物体的微波特征较明显，所以，在可见光与红外遥感中难以区分的一些物体，在微波遥感中却容易区别。

4. 具有抗大气干扰能力

由于微波波长比红外波长长得多，所以，它不为大气所吸收，可穿透云层不受大气干扰。尤其当波长大于 3cm 时，大气干扰可忽略不计，所以，微波遥感图像的背景比较“干净”。

微波遥感的不足之处在于：

1. 地面分辨率和天线的长度有关(合成孔径侧视雷达除外)，在实际应用中天线长度受到一定限制，因此影响了对地面分辨率的提高。

2. 对信息处理和资料的分析解译，要比可见光和红外遥感更加复杂与侧难。

第二节　遥感仪器的运载工具

装载遥感仪器(传感器)的运载工具又称为遥感平台。就其高度不同一般可分为地面平台、航空平台和航天平台三种。这三种平台，各有不同的特点和用途。根据需要，既可单独使用，也可相互配合，共同组成立体遥感探测网(图 3—17)，以用其所长，避其所短，互用互补，完成预定遥感任务之目的。

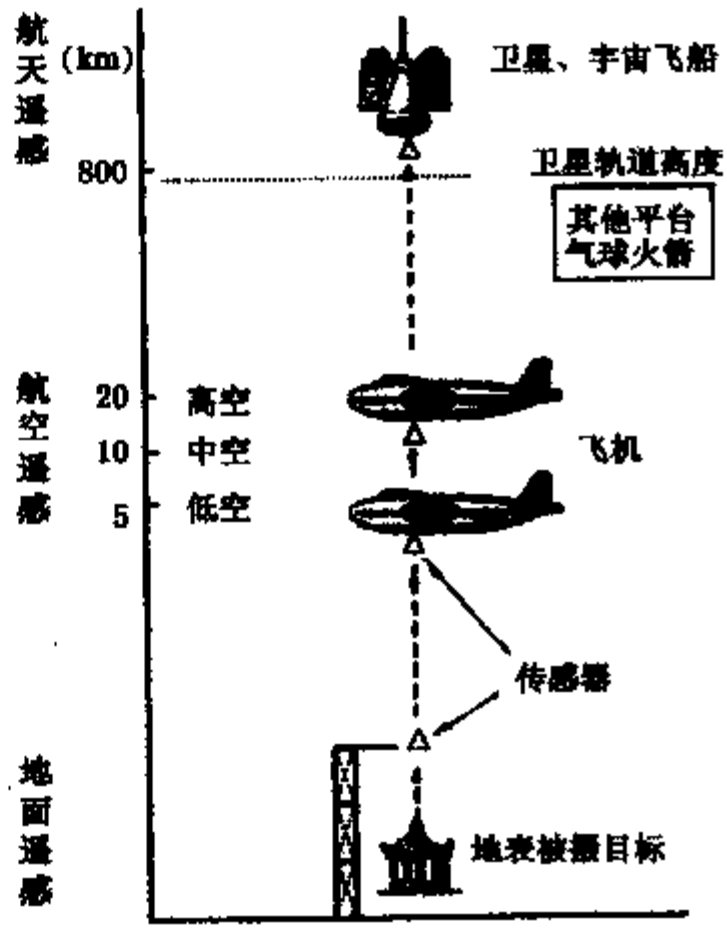


图 3—17　各种遥感平台示意图

一、地面平台

在靠近地面装载传感器的固定或可移动设置称为地面平台，包括遥感汽车、遥感轮船和遥感高塔等。运用地面平台进行的遥感称为地面遥感。地面遥感主要是用来配合航空遥感和航天遥感使用的，所以它起着校准和辅助作用。

二、航空平台

航空平台包括飞机和气球。在航空平台上进行的遥感称为航空遥感。

航空遥感所利用的主要平台是飞机。用于遥感的飞机有专门设计的，也有根据需要将普通飞机改装的。航空遥感具有分辨率高、不受地面条件的限制、调查周期短、测量精度高以及回收资料方便等特点。同时，航空飞行机动灵活，特别适用于局部地区的资源探测和环境监测。所以，航空遥感在目前得到了广泛应用，成为一种既实用又先进的探测手段。

气球遥感是利用高空气球作为遥感平台的，它具有飞行高度高、覆盖面积大、空中停留时间长、成本低廉以及飞行管制需单等特点。同时，它还可以对飞机和卫星都难以到达的平流层进行遥感活动。

三、航天平台

航天平台包括资源探测火箭、人造地球卫星、宇宙飞船和航天飞机等。凡在航天平台上进行的遥感均称为航天遥感或宇宙遥感。

航天遥感具有对地球进行宏观、综合、动态、快速观察的特点，为地球资源探测和环境监测提供了有利条件，大大地开阔了人们的眼界，加深了人们对某些自然现象的认识。

目前在地球资源探测和环境监测中起着重要作用的是人造地球卫星平台，故在此着重加以介绍。

按人造地球卫星运行轨道的高度，可将其分为 3 种类型

1. 低高度、短寿命的卫星

这种卫星的高度一般是 150～200km，寿命只有 1～3 个星期。这类卫星可以获得分辨率较高的图像，多数是为军事目的服务的。

2. 中高度、长寿命的卫星

它的高度一般在 350～1 500km，寿命可达 1 年以上。如陆地卫星、气象卫星和海洋卫星等均属此类。

3. 高高度、长寿命的卫星

又称地球同步卫星或静止卫星。其高度约为 36 000km 左右，如一般的通讯卫星则属于这一类。

这 3 种卫星各有不同的优缺点。中高度、长寿命的卫星，具有在一定周期内对地面同一地区可重复探测之优点。在这类卫星中，以研究全球大气要素为目的的气象卫星、以研究海洋资源和环境为目的的海洋卫星以及以研究地球资源和环境动态监测为目的的陆地卫星，共同构成了地球环境卫星系列。在实际应用中，三者互相补充，使人们能从不同角度去研究大气、海洋和陆地等地球或某一区域各地理要素的内在联系及其变化规律。

美国的地球资源探测计划包括地球资源技术卫星、“天空实验室”宇宙飞船和航天飞机 3 部分。

1. 陆地卫星(*Landsat*)

原名地球资源技术卫星(ERTS)。ERTS 是 *Earth resources technology satellite* 的缩写。它是在一系列军事侦察卫星、气象卫星和载人宇宙飞船的基础上发展起来并以探测地球资源为主要目的的。原计划发射 6 颗卫星，按 A、B、C、D、E、F 顺序编号。ERTS—A、B 为试验型，主要是试验仪器的合适性；ERTS—C、D 是为制图和军事侦察服务的；ERTS—E、F 准备用于海洋研究。第 2 颗地球资源技术卫星发射后，对原计划作了修改，把对陆地与海洋资源的观测分开，用于以陆地资源观测为主的称为陆地卫星；用于以海洋资源观测为主的称为海洋卫星。因此将 1、2 颗地球资源技术卫星改称为陆地卫星 1、2 号。ERTS—A 于 1972 年 7 月 23 日进入轨道工作，计划工作 1 年，实际上运行到 1978 年 1 月 6 日，长达 7 年半之久才停止工作，并于 1975 年 1 月 14 日被重新命名为陆地卫星 1 号(*Landsat*—1)。

陆地卫星 1 号貌似碟形(图 3—18)，星体为圆锥形，高 3m，最大直径是 1.5m，容积为 $1m^3$，重达 892kg。星体外壳带有两块太阳能电池集合板，星体分为上下两舱，上为服务舱，所载仪器可作供给电源、调节温度、控制卫星姿态、调整轨道、接受地面操纵、控制卫星所载仪器等用途；下部为工作舱，装有两种传感器，一是包括 3 架摄影机的反束光导管摄像机(RBV)，它安装在卫星的底部；另一种是多波段扫描仪(MSS)。每种传感器都有自己的高密度磁带记录器，用于接收地面电磁波信息。陆地卫星 1 号的轨道高度是 918km，轨道倾角(从赤道开始顺时针计算)为 99.125°，属于近极地轨道，运行周期是 103.267 分钟，每天绕地球运行 14 圈，因此，在赤道上相邻两条轨迹线之间的距离大约是 2 870km(图 3—

7)。卫星可在18天(251圈)内对全球的全部向阳面覆盖一遍。从理论上讲,除南北极附近以外的任何地区,每18天都可以拍摄或扫描一遍,但由于云层掩盖或宽频磁带机容量限制,通常需要好几个18天才能取得覆盖全球一遍的高质量图像。这些取决于该地区所在的地理位置和当时所处的季节。例如在我国西部干旱半干旱地区,云量稀少,易于取得遥感图像资料,而在云量较多的东部或四川盆地,则需好几个18天才能拍摄一次。

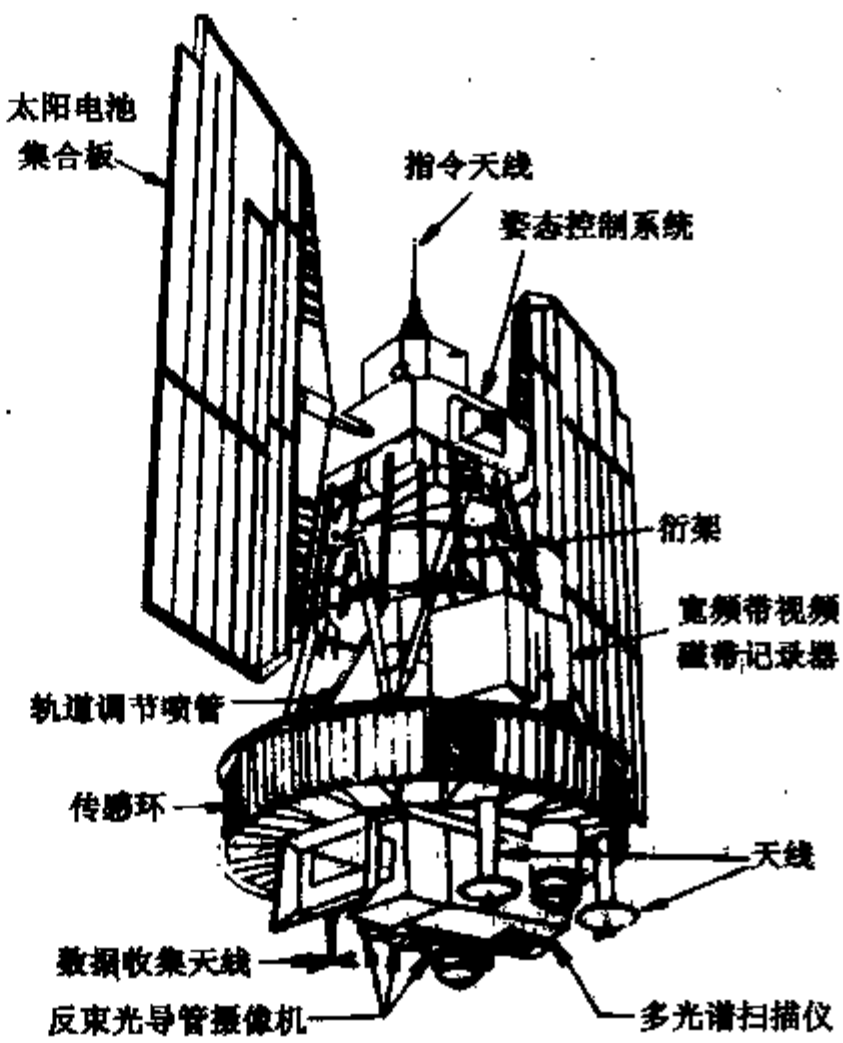


图3—18 陆地卫星1号示意图

陆地卫星2号于1975年1月22日发射,其轨道高度、轨道倾角、运行周期以及所携带的仪器和*Landsat*—1相同,只是相位相差180°,其中的RBV系统和*Landsat*-1一样,工作一段时间后就无效了。这样1、2号两颗卫星相互配合,理论上只需9天即可取得一次覆盖全球的遥感图像。

陆地卫星3号是于1978年3月5日发射的,其轨道运行特征与*Landsat*-1、2号基本相同,但所携带的传感器做了两点改进:一是在MSS系统上增加了10.4～12.6μm两个热红外遍道,称为MSS-8,可以昼夜工作;另一个是把RBV系统的3台反束光导管摄影机改为两台,并加长焦距,使分辨率提高了1倍,所得图像比例尺比原来的也大了1倍。

1982年7月16日发射了第4号陆地卫星,卫星上除装有MSS外还增添了专题制图仪(TM)。MSS增加了1.55～1.75μm和2.08～2.35μm两个近红外波段,以提高识别岩石类型和热液蚀变带的能力;TM具有7个波段,空间分辨率提高到30m;信息传递采用了跟踪和数据中继卫星系统(TDRSS),进行全球遥感数摄的实时传输,不再采用经常发生故障的磁带记录方式,改善了影像质量和继短了给用户提供卫星图像的时间。

Landsat—5于1985年3月1日送入轨道,携带的仪器和*Landsat*—4相同;*Lsndsat*—6发射失败。

1999年4月15日,美国航空航天局(NASA)*Landsat*—7号卫星的发射,标志着地球资源卫星家族又增添了一颗最近的资源卫星。它从705km的高空,偏角为98.2°的近极近环行太阳同步轨道成像,以183km的扫描宽度每16天扫描地球表面一次。*Landsat*—7携带了增强型的主题传感器(ETM+),它为科研与应用提供了质量更高的遥感数据。到现在为止,美国已发射的陆地卫星如表3—5所列:

表 3—5　美国已发射的陆地卫星

编　号	发射日期	停止工作日期	所携带传感器
Landsat－1	1972.7.23.	1978.1.6.	多波段扫描仪(MSS)1 台；反束光导管电视摄像机(RBV)1 台
Landsat－2	1975.1.22.	1982.2.5.	同　　上
Landsat－3	1978.3.5.	1983.3.31	MSS 比 1、2 号增加了热红外波段；RBV2 台，波段与 1、2 号不同
Landsat－4	1982.7.16.		MSS 增加了近红外波段；专题制图仪(TM)
Landsat－5	1984.3.1.		同　　上
Landsat－7	1999.4.15		增强型主题传感器(ETM＋)

2. 天空实验室

美国于 1973 年 5 月 14 日发射了天空实验室 1 号(图 3—19)，它是第一座试验性质的空间站，该项试验持续到 1974 年 2 月 9 日发射天空实验室 4 号而结束。天空实验室的科学试验项目主要是：研究在空间条件下的长期宇宙生活对人和其他动物在医学、生物学、心理学等方面的影响；在无大气条件下对星际空间和天体、特别是太阳进行观测；从外层空间对地球进行观测、收集关于地球资源和管理方面的情报以及开展在无重力情况下对晶体的生长与金属的合铸等物质本质的研究。

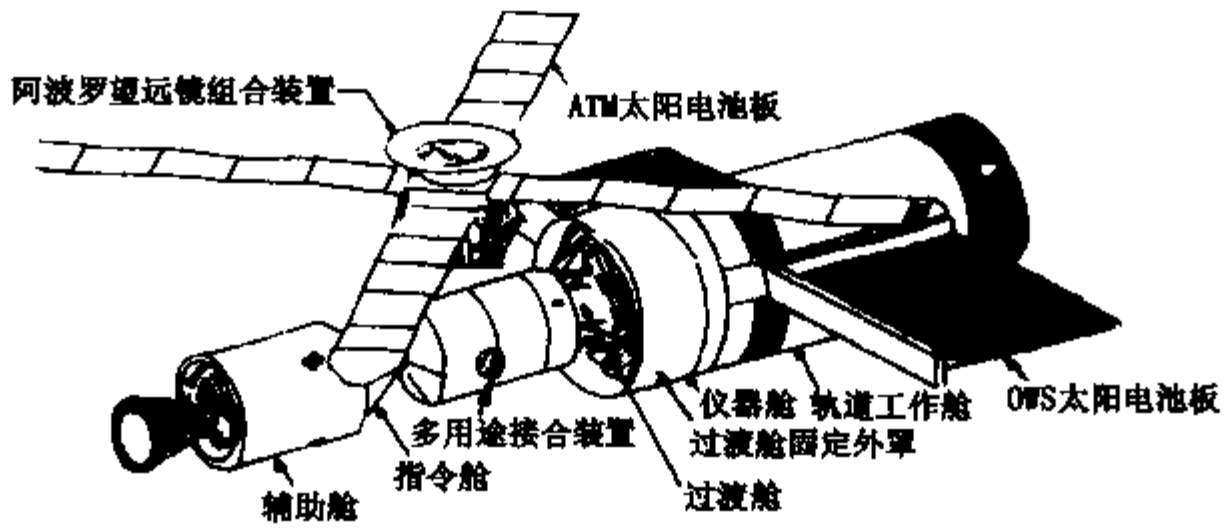


图 3—19　天空实验室结构示意图

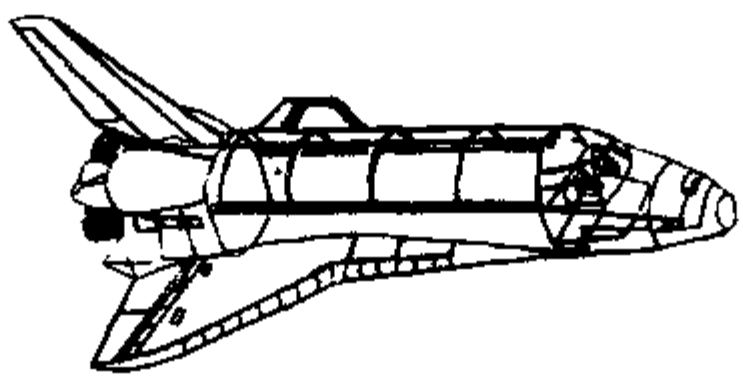


图 3—20　航天飞机外形示意图

3. 航天飞机

航天飞机是在火箭、载人宇宙飞船和航空技术的基础上，综合发展起来的一种大型的空间运载工具(图 3—20)。它像火箭那样垂直地发射、像卫星那样在轨道上运行，又像飞机那样滑翔回到地面。其结构主要是由一个轨道器、两枚助推器和一个外挂燃料箱组成的。除外挂燃料箱只能使用一次外，其余两部分都可以回收，并能重复使用，这是航天飞机

的优点。航天飞机有两种类型：

(1)不带遥感仪器者　这种类型航天飞机的主要任务，是把卫星或飞船带至一定的轨道，并在轨道上对卫星或飞船进行检修、回收或给飞船提供补给等。实际上它起着宇宙交通工具的作用。

(2)带有遥感仪器者　它可像卫星或飞船一样，完成所赋予的遥感任务。

美国于 1981 年 4 月 12 日发射了“哥伦比亚”号航天飞机，并成功地返回地球着陆，这是航天技术领域的一项重大突破。至今，除“哥伦比亚”号外又进行了“发现者”号、“挑战者”号等十多次航天飞机的飞行试验。由于它具有能返回地面、重复使用以及在遥感中有人造地球卫星之功用，因此，它将成为一种灵活而经济的航天遥感平台。

遥感平台的选择应当视其任务而定。在所有各种平台中，最重要的平台是飞机和卫星。

随着科学技术的进步，能发射各种卫星的国家已不再限于美国一家。近年来，各国针对陆地、海洋、大气等不同需要的环境监测发射了不下数十颗卫星。卫星上所载传感器也愈来愈加完善和先进。在目前已经发射或即将发射的卫星中，对遥感应用有较直接关系的大约就有十余颗。如欧空局的 ERS 系列、日本的 JERS 系列、美国的 *Landsat*－7、法国的地球观测实验卫星(SPOT)、加拿大的雷达观测卫星(*Radarsat*)、印度的资源卫星(IRS)、以色列的 EROS 卫星以及我国发射的第一颗地球资源卫星(ZY—1)等在技术上都有较大的突破。其中，作为 *Landsat*－5 后继星的 *Landsat*－7，除仍具有 7 个光谱段的较高光谱分辨率外，还具有 15m 分辨率的全色波段(表 3—6)；热红外分辨率提高到 60m。

表 3—6　波谱分辨率(*Landsa 5－7 ETM＋ Band*)

波段号	波谱范围(μ)	地面分辨率(m)	每次扫描数据线	数据线长度(*byte*)	象元比特数(*bit*)
1	0.450～0.515	30	16	6600	8
2	0.525～0.605	30	16	6600	8
3	0.630～0.690	30	16	6600	8
4	0.775～0.900	30	16	6600	8
5	1.550～1.750	30	16	6600	8
6	10.40～12.50	60	8	3300	8
7	2.090～2.350	30	16	6600	8
8	0.520～0.900	15	32	13200	8

尤其值得一提的，是 20 世纪最先进的雷达遥感卫星(*Ladarsat*)和具有广泛应用价值的高分辨率光学遥感卫星(SPOT)。

Radarsat－1 于 1995 年 11 月 4 日发射成功，1996 年 3 月 28 日开始投入商业化运行。这颗星带有先进的合成孔径雷达(SAR)传感器，其工作频段为 C 波段(波长 5.6cm)，采用 HH 极化方式；具有 7 种模式、25 种波束成像能力的高分辨率民用微波遥感卫星。这颗卫星的发射成功，标志着星载 SAR 技术已从研究阶段进入实用阶段；以该星获取的高质量微波遥感图像将会极大地促进卫星遥感应用的发展。

1986 年 2 月，法国发射了第一颗地球观测实验卫星(SPOT)。该星与陆地卫星同属一类，都是以观测地球资源为主要目的的。所以，它和陆地卫星都具有近极地、近圆形轨道；轨道与太阳同步；并按一定周期运行的共同特点。所不同的只是参数互异。

SPOT 卫星原计划发射 3 颗，每颗卫星的用途各有不同。第一颗主要用于海洋勘测，特别是对海岸线的研究和鱼群观察；地质探矿和能源调查；农业耕作区调查及农业估产；生态调查、环境监测以及土地规划等方面。第二颗是以研究气象为重点；第三颗却以研究海洋为主。

第一颗 SPOT 卫星装载两台相同的高分辨率可见光扫描仪(法文简称 HRV)，地面分辨率可达 10m。

第三节　地理遥感信息的传输与处理

地理遥感信息，是指运用航空遥感或航天遥感手段，以各种传感器所获取的记录在感光胶卷或磁带上的地理诸要素的信息数据。它包括被测地理事物的信息数据和运载工具上所带设备反映的环境数据。将这些重要的地理信息数据适时地传输回地面，经过适当的处理提供给用户，以满足其完成预订任务之需要。这是整个遥感技术系统中的一个重要组成部分，也是遥感工作的主要目的任务之一，它直接影响着地理遥感信息的应用效果。

一、地理遥感信息的传输

当前，向地面传输所获地理遥感信息的主要方式，不外直接回收和视频传输两种。

1. 直接回收

直接回收是指把传感器所获被测地理事物的反射或发射电磁波信息记录在感光胶卷或磁带上，待运载工具返回地面时直接回收。这是航空遥感经常采用的一种非实时传输方式。航天遥感在开始阶段也采用过这种方式回收了记录被测物体电磁波信息的胶卷或磁带。但由于星载重量有限，不能携带大量的胶卷和磁带，因此，后来就改用了视频传输方式。

直接回收方式具有对地理遥感信息回收方便、信息量损失较少、保密性较强等优点，故军事侦察卫星多采用这种方式回收信息数据。遗憾的是其不能适时回收，数据容量小、成本高、不能满足多种用途。

2. 视频传输

视频传输是指把传感器所接收到的被测地理事物反射或发射的电磁波信息，通过光电倍增管将光的强度信号转变成电信号，经无线电将其传送到地面接收站的传输方式。按其传输方式，又可分为实时传输和延时传输两种。所谓实时传输，是指传感器接收到信号后，立即通过无线电将其发送回地面；延时传输则是将信息暂时存贮在磁带上，待卫星通过地面接收站接收范围时，得到地面接收站的指令后再将数据向地面发回。地面接收站把用天线接收到的视频信号，或记录在磁带上或在显象管的荧光屏上直接观察，然后再用胶卷加以记录，其工作流程如图 3—21 所示。美国陆地卫星 1、2 号即采用视频传输方式。这种传输方式的优点，在于它克服了直接回收中不能实时回收的缺点，但不足之处是保密性差。

把信息先存贮于磁带上，再通过视频传输至地面站，比由胶卷直接回收前进了一步，但仍不能实时地接收到全球地理遥感信息。而且，经过磁带存贮后再回放，会使信息量有

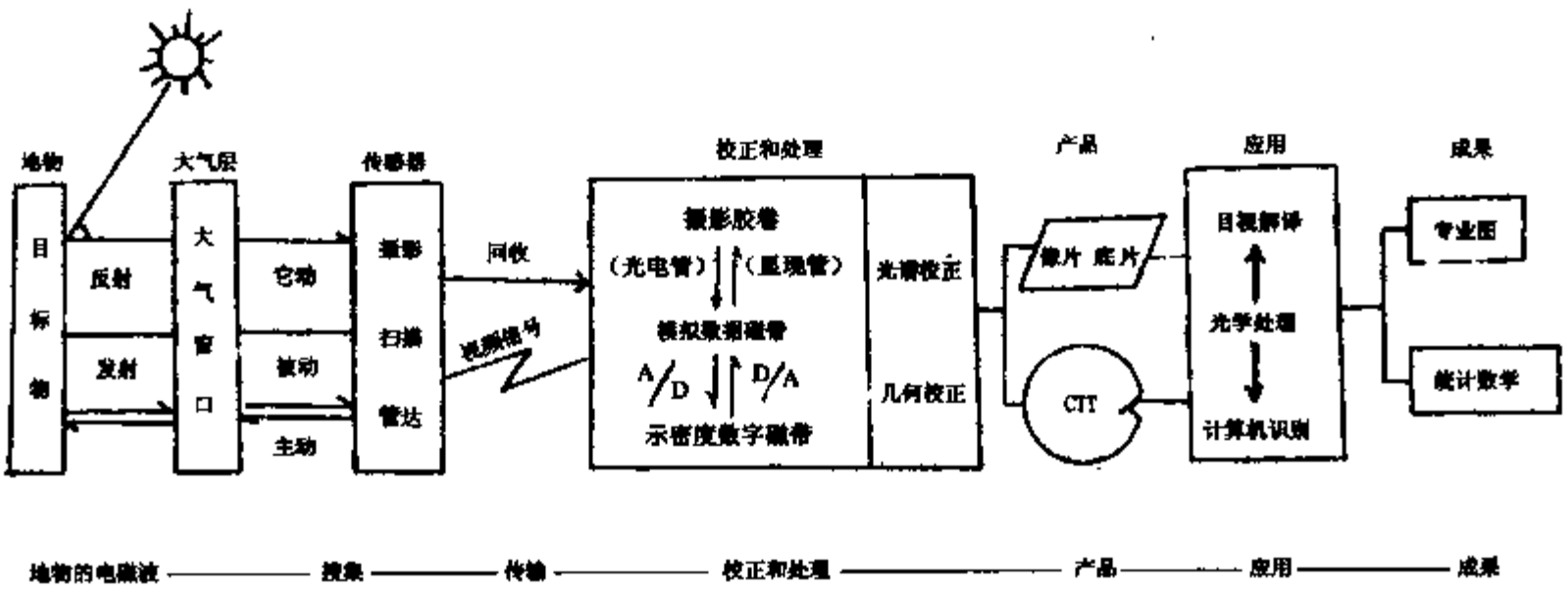


图 3—21　遥感基本方法流程示意图

较大损失。为了解决实时接收全球地理遥感信息的问题，发展了跟踪和数据中继卫星，也就是在地球同步轨道上每 120°设置 3 个通信卫星，组成全球通信网。这样，就能使卫星传感器所接收到的地理遥感信息，通过中继卫星进行接力传送，可以在地面任何一个接收站实时接收到卫星在任何位置所发送的数据。美国陆地卫星 4、5 号上的多波段扫描仪(MSS)和专题制图仪(TM)所获取的地理遥感信息，就是由两颗卫星组成的跟踪与数据中继卫星系统直接传输、在美国哥达德空间中心的数据处理中心接收处理的。

二、地理遥感信息资料的处理

地面接收站从传感器接收到的地面被测目标的原始信息资料，由于受传感器的性能、平台姿态的不稳定性、大气的不均匀性和局部变化、地球曲率以及地形差别等因素的影响，使波测物体的几何形态和光谱特征可能发生畸变。因此，对于原始地理信息资料，必须通过适当的处理做几何与光谱等一系列校正后才能使用。这种校正，必须使用电子计算机或其他专门仪器进行。

其流程如图 3—22 所示：

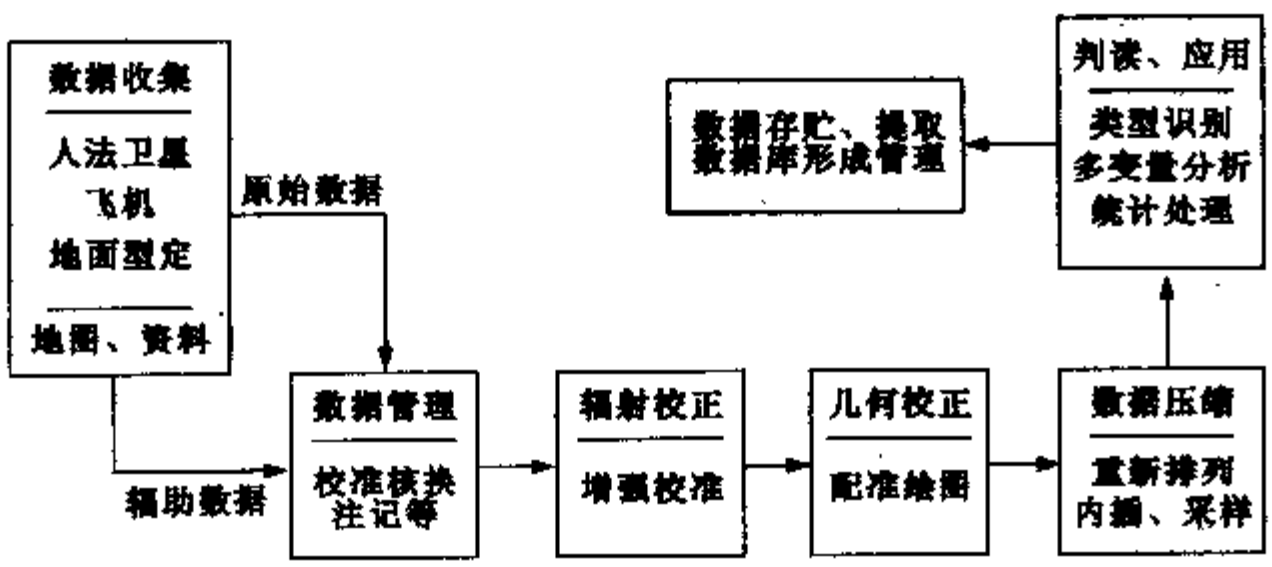


图 3—22　遥感数据处理流程示意图

1. 数据搜集

数据搜集是地理遥感工作中的重要组成部分，它除了包括从人造地球卫星和飞机上传感器接收的遥感信息数据与运载工具上设备的环境信息外，还包括在地面上用光度计

和辐射计测定的地物光谱特性;地面实况调查的资料与数据、以及有关地图和其他资料等辅助数据。

2. 数据管理

把从传感器接收和记录的原始数据变换成容易使用的数据,称为数据管理。原始数据包括胶片、模拟磁带和高密度数字磁带(HDDT)等 3 种。这 3 种数据经数据管理后变换为负片、正片以及计算机使用的数字磁带(CCT)。

3. 辐射校正

传感器所收集的地理遥感信息数据,是受多种因素影响的综合辐射能量的反映。因此,必须对其辐射量数据通过辐射校正消除图像在灰度方面的失真和干扰。

4. 几何校正

通过几何校正消除图像的几何畸变。进行投影变换绘制地图和对不同波段的图像进行套合工作。

5. 数据压缩

为了有效地利用现有带宽、功率和设备,把不必要的数据去掉,只保留能反映特征的数据,以减少无用和冗余的数据传输,须将全部数据进行压缩,使其中真正有用的信息,在有限的带宽中传输,缩短处理时间。

6. 解译和应用

所谓解译,就是对遥感图像内容作出解释,有时,也称之为判读。对遥感图像的解译,是非常重要也是十分必要的。只有通过解译,才能了解遥感所获取的丰富地理信息,将其应用于实践,以完成预期任务。所以,解译和应用是按预定的目的要求进行的。

7. 数据存贮和提取

对日积月累所得的遥感数据必须以一定的形式将其存贮起来,以便日后能快速地检索与提取所需数据,为客户所用。

三、地理遥感信息数据资料的存贮与检索

由于航空遥感和航天遥感年年月月的进行,地理遥感数据资料积累得也越来越多,这就迫切需要建立一个包括遥感资料的处理、存贮与检索在内的高度自动化管理系统。

如上所述,地理遥感信息资料处理的内容,除包括图像校正、去模糊和影像增强等措施,以纠正由于成像时因遥感平台的姿态变化、投影和地球曲率以及大气散射等各种因素所造成的图像歪曲外,还需要一个能大量存贮和便于检索的系统,以利用户的使用。因此,就需要借助一个高速度、大容量的计算网络,建立地理遥感信息资料存贮的数据库和自动检索系统,用户只要用电话通知它,就能很快从数据库中提取所需要的地理遥感信息资料。一般数据库有 3 种外存贮器:

1. 经历存贮器

用以保存图像的原始信息和辅助信息,也保存监查信息及其他有关资料。

2. 加工存贮器

用以保存最终成果及与其有关的一切信息。

3. 利用存贮器

用以提供有关装置、程序的信息；物体的光谱特性以及外存贮器目录等信息。

目前，国外经过实验并交付使用的有以下两种存贮系统：

1. 文献存贮检索系统

可将图像及文字报告数字化后，存贮在计算机输出微缩底片(COM)和输入微缩底片(CIM)上，把模拟微缩存贮与计算机结合起来。

2. 微信息存贮检索系统

也就是微缩图像系统。它包括底片材料、摄影机、记录装置、底片处理器、复印机和存贮检索计算机，分辨力高达 10 000 线/mm 的微缩底片等。

现在正处在实验阶段的是光学存贮器，它的数据存贮密度比磁带记录大 1 000 倍，这主要是激光技术发展的结果。激光束打到的衍射点直径接近于所用光波波长，虽然实际分辨率要低，但每平方厘米仍可达到 1 亿位的存贮密度。

有关地理遥感信息资料的处理内容、方法以及如何利用电子计算机进行图像识别的方法和原理较为复杂，故在此从略，待后面有关章节中再作介绍。

四、中国遥感卫星地面站

中国遥感卫星地面站，即中国科学院遥感卫星地面站，是我国第一个地球资源遥感卫星地面站。它从 1979 年作为中科院空间科学技术中心的地面系统开始筹建，到 1986 年建成并正式运行。

中国科学院遥感卫星地面站自建站以来，已从单一接收和处理分发 *Landsat*－5 数据，发展到能接收处理美国的 *Landsat*－5、*Landsat*－7、欧空局的 ERS1/2、法国的 SPOT1/2/4、加拿大的 *Radarsat* 以及接收我国自己发射的第一颗地球资源卫星等多星数据。近几年来，各国已发射了数十颗针对陆地、海洋等不同需要的地球资源卫星，其中我国遥感应用较多的是法国、加拿大、美国、中国等地球资源卫星，面对其他一批地球资源卫星，我国地面站除根据“需求牵引、技术推动、根据国力，有所为有所不为”的原则选择几颗作为接收目标外，并考虑对分辨率达到 1～2m 卫星数据的接收。

随着高光谱分辨率、高几何分辨率和微波遥感技术的发展，随着超高速率数据传输与记录技术的发展，随着超大规模集成电路与相关计算机和网络技术的快速发展，以及各种数据压缩与解压缩等海量数据信号处理技术的发展，我国遥感卫星地面站的接收和处理能力有了极大的提高。在产品方面，其种类从 CCT 数字磁带扩展到 CCT、软盘、光盘、8mm、4mm 磁带以及多种比例尺和规格的光学产品，种类达 30 多种，与美国、日本产品种类相同，超过大多数地面站的产品种类。中国遥感卫星地面站目标是建成能处理多卫星、多时相、多种分辨率卫星数据的民用航天遥感数据中心。

遥感技术的发展和遥感信息的应用，有可能进一步带动环境科学、地学、地图与测绘学以及国民经济的统计、规划等领域的重大变革，改变这些领域传统的工作模式，从面在诸如全球环境变化监测、大面积农业估产、土地利用状况、森林蓄积量调查、荒漠化监测、灾害防治等与国民经济和人民生活息息相关的领域发挥越来越大的作用，产生越来越大的社会效益与经济效益。

第四章

航空遥感和航空像片

航空遥感是航空摄影的发展，它是以装有包括航摄仪在内的各种传感器的飞机或气球作为工作平台，按规定的技术要求对观测地区进行搜集有关地物的电磁波信息，经过对信息的传输、处理，获得各种图像、数据或曲线资料的全过程。与航空摄影相比，它包括的内容更为广泛。

航空遥感不仅包括飞机作为工作平台，而且包括气球作为工作平台；不仅包括中空，而且包括低空和高空，高度可达 30km；不仅包括有人驾驶的飞机，而且包括无人驾驶的遥控飞机；不仅有光学摄影的航摄仪作为传感器，而且还有电子扫描的多波段扫描仪和雷达；它所使用的电磁波，从可见光的黑白全色摄影和彩色摄影，扩展到紫外、红外、微波等波段，以搜集不同宽度波段和特定波长的电磁波信息；信息的传输与处理，不再限于用感光胶片记录地物反射电磁波能量，还发展到光电转换、磁带记录，把人眼看不见的红外、紫外、微波信息，转换成人眼可见的图像和计算机使用的数字化磁带，以及供分析研究用的曲线和数据。这样，航空遥感就能为地理工作提供比航空摄影更多的包括黑白和彩色像片、黑白和彩色红外像片、紫外像片、雷达像片等宝贵资料。本章仅着重介绍航空摄影的一般知识和航空像片的特点，为航空像片的解译打好基础。

第一节　航空摄影和感光材料的一般知识

我国对多波段和红外遥感扫描技术虽早已掌握并应用多年，但目前光学摄影的手段仍占主导地位。因此，对一个遥感图像的解译人员来说，就应当了解与掌握有关航空摄影和感光材料性能的基础知识，以有助于对地理遥感图像的解译。本节将扼要介绍关于航空摄影和感光材料的一般基础知识。

一、航空摄影的种类

航空摄影是利用安装在飞机上的航空摄影机从空中拍摄地面景物。根据拍摄目的任务，可选用不同的摄影方式和感光材料，从而得到功能不同的航空像片。其分类方法有以下几种：

1. 按航摄仪主光轴与铅垂线的关系分类

根据航摄仪主光轴与通过镜头中心铅垂线之间的夹角，可分为垂直摄影和倾斜摄影

二种。

(1)垂直摄影　航摄仪主光轴保持铅垂方向，也就是倾斜角为零时所进行的摄影称为垂直摄影(图 4—1)。垂直摄影时主光轴垂直于地面，感光胶片与地面平行。但由于飞机的震动、气流不稳等因素的影响，不可能使倾斜角绝对等于零。因此，按摄影技术标准规定，凡倾斜角小于±2°者均可称为垂直摄影。由垂直摄影获得的像片，称为水平像片。

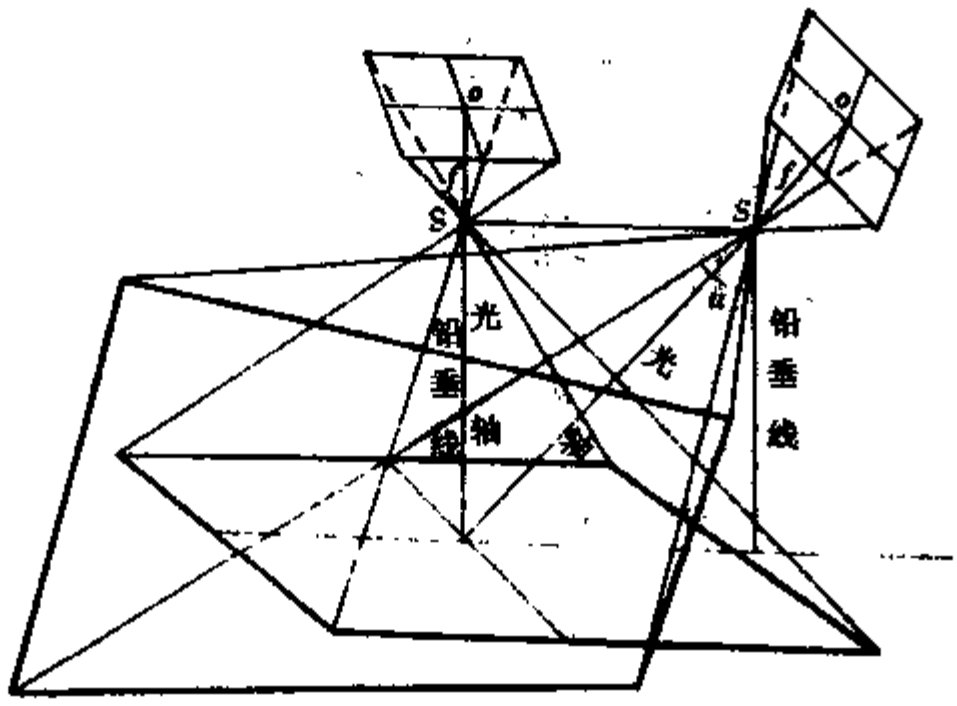


图 4—1　垂直摄影和倾斜摄影示意图

由于水平像片是从被摄地物的正上方拍摄的，所以不会出现一部分地物掩蔽另一部分地物的现像；地物之间的关系、位置与地面实际情况大致相同，并保持面有的比例关系，因而适合于在像片上作对比和量测方位、距离、大小、面积等，故能作为各种测图、编图的主要参考资料和重要依据。

垂直摄影所取得的影像，是从空中俯瞰地物顶部的影像，它和人们在日常生活中所获物体的侧视印象有很大差别，所以在水平像片上识别地物，需要有一个训练、适应与熟练的过程。

(2)倾斜摄影　航摄仪主光轴与铅垂线间的夹角大于 2°时的摄影，称为倾斜摄影，倾斜摄影所获得的像片称为倾斜像片。

倾斜像片能显示出地物侧面影像和地物、地貌的高低起伏，它和人们素常习惯形成的侧视与斜俯视的印象一致，易于辨认和识别；在航高相同的条件下，倾斜摄影比垂直摄影所拍摄的面积范围要大，面且，也可以拍摄难以飞越其上的高山或敌占区。因此，倾斜摄影是地质地貌调查和军事侦察中常用的一种摄影方式。

倾斜摄影的缺点，在于近景能掩盖远景，尤其是在山区和城市高楼大厦地区，其影响特别严重；另外，影像各部分比例尺的差别也很大，解算量测比较困难，故很少大规模使用。

2. 按摄影的实施方式分类

根据航摄目的所确定的实施拍摄方式，可分为单片摄影、航线摄影和区域摄影。

(1)单片摄影　为了一定科学试验或军事侦察目的，对特定目标进行单独或一两个对象的拍摄，称为单片摄影，单片摄影一般只获得一张或一对像片。

(2)航线摄影　为了铁路或公路选线、海岸研究、航道整治以及铺设输油管道的需要，

沿一条航线对地面狭长的地区或线状物体进行连续的拍摄，称为航线摄影(图 4—2)。

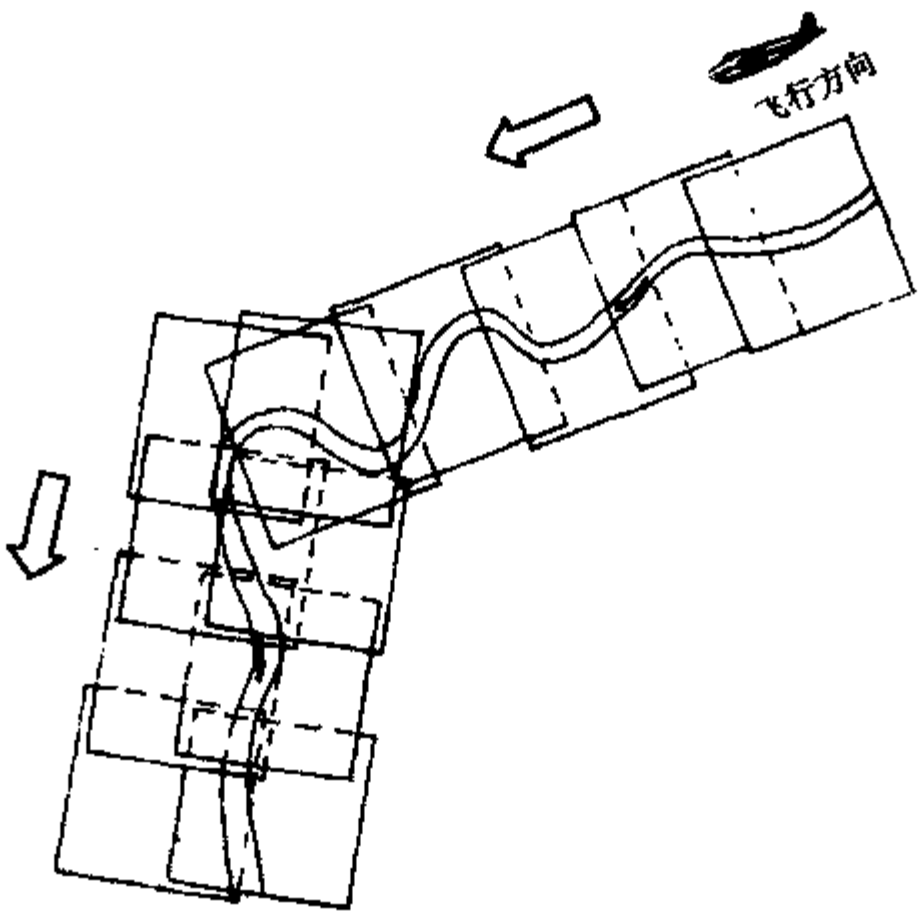


图 4—2　航线摄影示意图

航线摄影须使相邻像片之间有 60%～53%的航向重叠，以便保证相邻像片的地物能互相衔接和满足立体观察的需要。

(3)区域摄影　为了大面积测图和区域研究的需要，沿多条航线对大区域所进行的连续摄影，称为区域摄影或面积摄影(图 4—3)。在进行区域摄影时，要求航线为东西方向，且各条航线应相互平行。同时，在一条航线上相邻像片间有 60%～53%的航向重叠；相邻航线间的像片也要有 30%～15%的旁向重叠，以保证全区的像片能作立体观察和量测。这是地质、地貌和测图工作中常用的航空摄影。

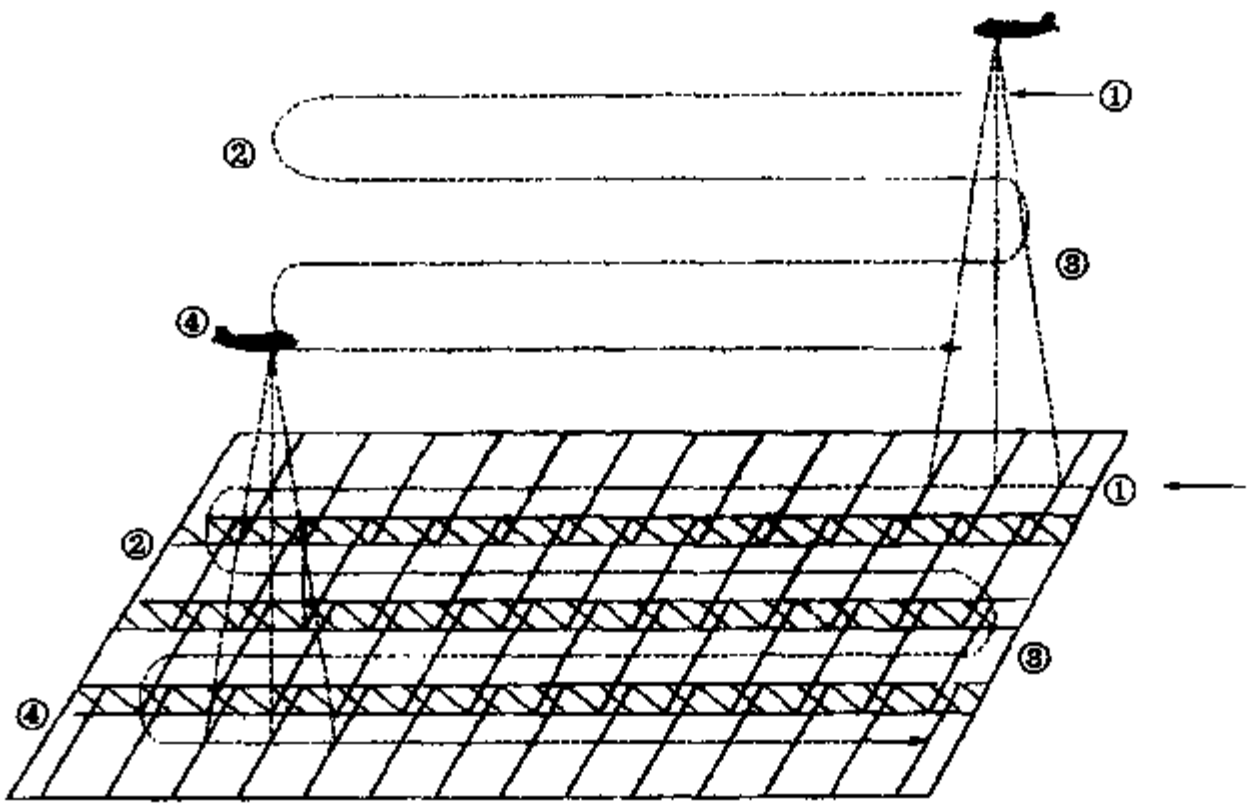


图 4—3　区域摄影示意图

在实施区域摄影时，为了保证飞机按设计航线飞行，在现有领航设备条件下，规定用磁罗盘领航时，航线长度限制在 60km；采用太阳罗盘仪领航时，航线长度以 100～120km 为限。

3. 按感光胶片分类

按感光胶片可分为黑白全色片摄影、普通彩色摄影、黑白红外摄影、彩色红外摄影和多光谱摄影等。

(1)黑白全色片摄影　这种摄影采用全色感光胶片，感光度为 0.4～0.7μm 的全部可见光波段。我国为测绘国家基本地形图而拍摄的黑白航空像片就属此类。目前，它是用途最广而且又容易买到的遥感图像资料。

(2)普通彩色摄影　彩色像片能把物体的自然色度、明暗度及其深浅表现出来，所以比普通黑白像片的信息量要丰富得多。它的感光宽度和全色黑白感光胶片一样，是可见光波段内(0.4～0.7μm)的各种色光。

(3)黑白红外摄影　黑白红外摄影能感受可见光和近红外(0.7～1.3μm)波段，对水体和绿色植物反应灵敏。所摄像片具有较高反差和空间分辨率。

(4)彩色红外摄影　彩色红外摄影虽然所感受的波长与普通彩色摄影近同，是介于 0.6～1.1μm 的可见光和近红外波段，但它却使绿光感光后变为蓝色，红光感光后变为绿色，近红外感光后变为红色。与普通彩色片相比，彩色红外片不论在色别、明暗度还是饱和度上，都有很大不同。例如，在普通彩色片上，绿色植物呈现绿色，而在彩色红外片上却呈现为红色。由于红外的波长比可见光的波长长，受大气分子散射的影响小，穿透力强，所以其色彩也比普通彩色片鲜艳得多。

(5)多光谱摄影　多光谱摄影是利用摄影机镜头与滤光片的组合，同时对被测物体进行不同波段(0.35～14μm)的摄影，从而得到与其相对应的单一波段的像片。例如，通常采用的四波段摄影，可同时获得蓝、绿、红及近红外 4 个波段的黑白像片。这些像片都可单独使用，可以单独对其进行观察研究、分析对比；也可以将蓝、绿、红 3 个波段的黑白像片合成为天然彩色像片；或将绿、红与近红外 3 个波段的黑白像片合成为标准假彩色像片。

虽然对航空摄影的分类方法各有不同，但其目的都是为了对航空摄影有个一目了然的清晰概念，为不同目的的航空摄影实施提供较为系统完善的分类方法，以便选择应用。

二、感光材料的分类

不论是直接用感光材料接收、记录遥感图像，还是用感光材料把遥感信息转换成像片，都说明感光材料是遥感技术中用以记录遥感信息的重要载体。因此，作为遥感影像的解译人员，有必要了解感光材料对遥感影像解译的影响和作用。

感光材料通常指的是感光胶片和印像纸等。感光胶片有正片和负片之分，在一般摄影中多采用负片(即底片)。根据其对光谱感受能力的不同，可将负片分为：

1. 色盲片

色盲片是用卤化银制作的感光材料，它只能吸收(0.38～0.47μm)紫光和蓝光等短光波的光量子，而对大于 0.5μm 波长的光波完全不能感光。如果用这种负片拍摄红花绿叶，则红绿光在其上根本不能曝光，无法区分。这种不分红绿的感光材料，称为色盲片。由于

色盲片的黑白反差大，所以适用于翻拍文件或印制黑白幻灯片。

2. 正色片

感光范围从蓝光区扩展到绿光区的感光负片称为正色片。正色片的增感范围可达0.58μm，但在0.5～0.52μm波段间(图4—4)，感光性能略有降低。正色片适用与制版、复照和林区航空摄影。

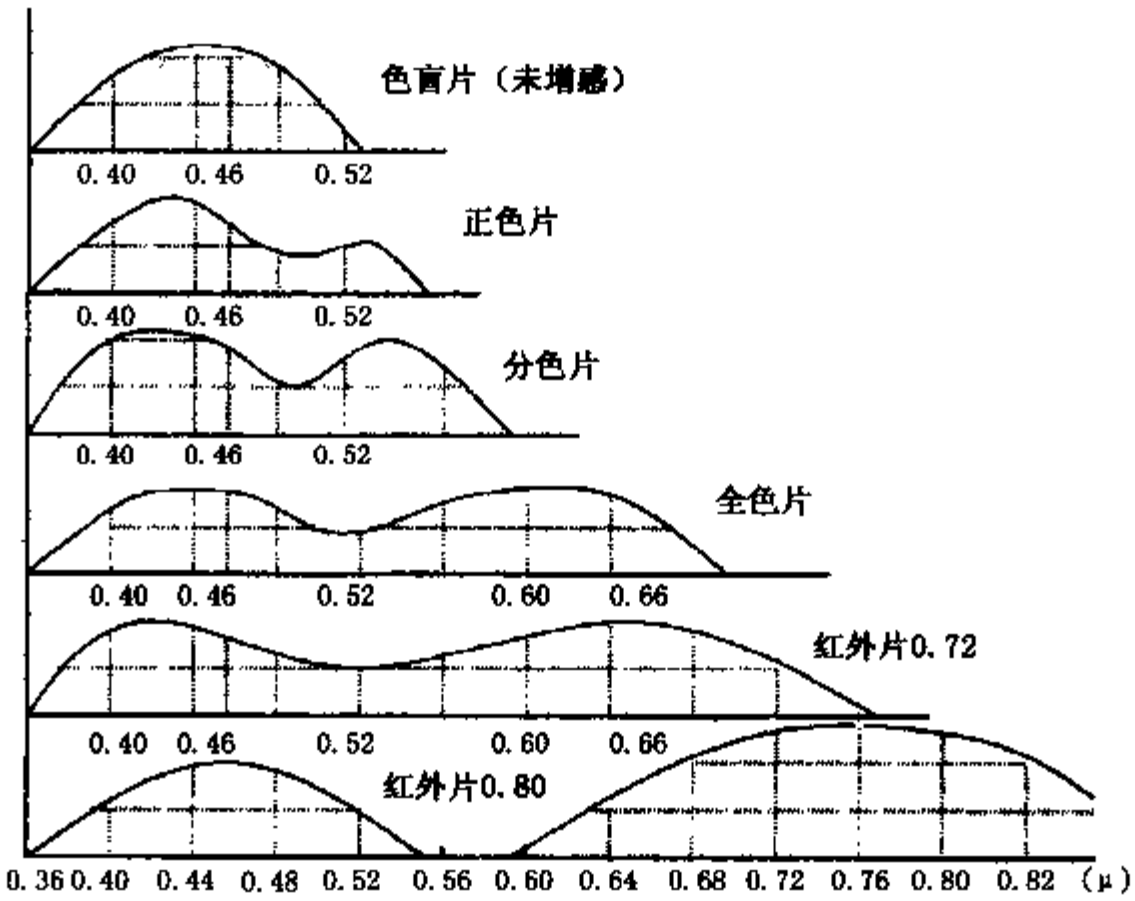


图4—4 不同感光材料的光谱感受范围示意图

3. 分色片

感光材料的增感范围达到0.6μm而且在0.5～0.52μm波段增感作用降低不大的感光材料叫分色片。分色片对绿黄色比较敏感，并可将其区分开来，故适合于春季森林地区的航空摄影。

4. 全色片

全色片是经常采用的摄影底片，它不仅在我们日常生活和航空摄影中广泛使用，而且在多波段摄影中也常用全色片与滤光片结合起来，进行不同波段的摄影。

5. 红外片

红外片是对可见光和红外光都能进行感光的底片。它对溴化银的敏感区蓝、紫光同样都很敏感，而对黄绿光区的敏感程度较差。红外片随着增感作用最大值的不同，将其分为红外“760”、“800”、“860”等几种，最大峰值可达1 100μm。红外片随着增感峰值的增加而保存期有所缩短，有的只能保存几天到一个月。近年来，红外摄影发展得很快，应用价值较高，在森林摄影中可用以区分针叶林和阔叶林；在水灾摄影中能区分灾区和非灾区；另外，对区分土壤含水程度的效果也很好。

6. 彩色片

彩色片分为3层乳剂的天然彩色片和两层乳剂的值彩色片，前者能取得同自然界相近似的彩色效果；后者的彩色效果虽与自然界不同，但能以不同色彩区分物体。

7. 彩色红外片

彩色红外片也是3层乳剂的负片，但其中一层对红外波段敏感，并以红色表示红外敏感区，绿色植被呈现红色，所以其彩色效果亦为假彩色。

关于市场上常见的各种印像纸、放大纸、彩色印像纸等感光材料也有不同的区分。例如，常用的一般印像纸是按反差从低到高分为1、2、3号；1号纸反差为软性，2号纸反差为中等，3号纸反差为硬调。

三、感光材料的性能

感光材料通常是由感光乳剂层和片基组成的。其性能取决于感光乳剂的性质、卤化银的种类、银粒大小和增感剂的种类等。

普通摄影常用的黑白全色胶片，能感受全部可见光，但对绿光感受较差；黑白红外片，因其感光层中含有感受红外光的物质，故能直接感受人眼看不见的近红外光；由对蓝、绿、红3种波长分别感受灵敏的三层乳剂组成的彩色胶片，能感受全部可见光，曝光显彩后形成与景物颜色互成补色的负片，再用彩色印像纸晒印后，就可还原为天然彩色像片；彩色红外胶片是由对绿、红和近红外感光的3层乳剂组成的，经曝光显影处理后可形成彩色红外像片。

不同乳剂的感光胶片，具有不同的反差系数、感光度、宽容度、分辨率、清晰度以及保存性等性能。

1. 反差和反差系数

所谓反差，是指影像中最明亮与最阴暗部分的亮度之差，也就是黑白之差。黑白分明者，称之为高反差，反之为低反差。通常一张负片的反差是指最大的反差，也就是指其全片的最大亮度与最小亮度之差。

反差是感光材料所具有的一个重要特性。在曝光、显影都相同的情况下，若用反差不同的感光片摄取同一景物，所摄效果显然不同。反差大的感光片，影像的明暗差特别明显，而对表现景物的明暗层次却有所减少；反差小的感光片，影像的明暗差别不太明显，但对表现景物明暗的层次则较丰富。

反差系数是指负片的反差与景物亮度差之比。若底片反差与景物亮度差相等，说明感光材料的光学密度能真实反映景物亮度的差别；若底片反差大于景物亮度差，说明影像的色调差别有所夸大，影像色调过硬；如感光材料的反差小于景物亮度差，则影像色调不明显，影像黑度较薄，色调偏软。在航空摄影中，常以提高反差系数来提高影像质量，以利地物的识别和解译。但若反差系数过大，影像虽黑白分明，却会丧失中间色调和层次；如反差系数过小，又会产生黑白不清的模糊感觉。所以，适当地控制和选择反差系数，对控制影像质量是十分重要的。

2. 感光度

感光度是感光材料感光快慢程度的数值，它是确定曝光时间的一个重要参数。不言而喻，在摄影条件相同时，感光材料的感光度愈高，所需曝光时间愈短。目前市面上所售的普通胶卷有27°(定)高感光度胶片、21°中等感光度胶片、18°低感光度胶片等几种。航空摄影需要感光时间快，常用24°或28°的高感光度胶片。

3. 宽容度

宽容度是指感光材料能正确表达景物亮度的最大和最小曝光量之间的范围。感光材料的宽容度大，摄影曝光的伸缩范围就大，就能在曝光时间选择稍有不当时，仍可保证所摄影像的质量。因此，航空摄影和军事侦察都必须选择宽容度大的感光材料，才能保证在曝光稍有差错时，仍能获得质量较好的影像。

4. 分辨率

感光乳剂对景物细部的表现能力，叫做乳剂的分辨率。分辨率的大小取决于所涂乳剂银盐颗粒的粗细，银盐颗粒越细，分辨率越高，景物细部表现得越清晰。分辨率的高低，通常是用 1mm 的宽度内能清楚地识别出最细平行线的对数来表示的。例如，分辨率为 120 线/mm，表示在 1mm 宽度内构成 120 对清晰线条。一般航空摄影胶片能分辨 40～150 线/mm，全息摄影的高分辨率感光材料可达 3 000 线/mm。

5. 清晰度

清晰度是指所获影像的清晰程度，它除要求具有较高的分辨率即每毫米具有较多的线对外，还要求每条线间的边缘轮廓清晰可辨。

6. 保存性

是指感光材料在一定的保存时期内所具有的稳定程度。一般，感光度越高的感光材料，保存性就越差。所以，红外片和彩色片的保存性较差，通常，红外感光材料的保存期最长只有 6 个月，而红外 1050 的保存期不过 1 周。由于红外线的峰值波长随温度的增高有向短波一侧移动的特性，因而，温度越高，物体发射的近红外辐射能量就有增加，红外片保存也就越发困难。所以要求在 5～10℃的低温条件下保存红外片，而全色黑白片则要求保存在室温 20℃、相对湿度为 60%左右的环境中。

四、滤光片

滤光片又称滤光镜或滤色镜，是一种能改变透过光线光谱成分的光学镜片。它可以减少因大气烟雾散射作用所引起的短波长的光波，所以，不论在航空还是航天遥感中都广泛使用。红外摄影时，用它来阻挡可见光通过；多波段摄影中，用它来分离波段，可使感光限制在给定波长的范围内；在作彩色合成、印放彩色像片时都需用滤光片。

滤光片一般用特殊有色玻璃或在普通玻璃与胶片上涂布有色胶膜制作而成。用特殊有色玻璃所制镜片不易褪色，光谱透光特性较为稳定；而用普通玻璃或胶片制作者，则容易获得各种比较精确的光谱特性。

目前常用的滤光片有：

1. 黄滤光片

黄色滤光片能吸收可见光的蓝光，几乎全部透过绿、黄、红和部分紫外光。因其有吸蓝特性，可消除由大气烟雾所引起的蓝色散射光的影响，提高影像的清晰度，所以常用于全色摄影和某些红外摄影。

2. 红滤光片

红滤光片能吸收可见光中全部蓝、绿光波段，只透过大于 0.59μm 的橙、红及红外光波，多用于红外和森林摄影。

3. 红外滤光片

红外滤光片限制在红外区感光，多用于红外摄影，而对其他波段范围的透光率却很少，如在 0.6μm 处，只能透过 0.1%；在 0.69μm 处，只透过 1.58%；在 0.7μm 处，只透过 11.2%；到 0.87μm 处时则全部透过。这种滤光片为深黑红色，若用此种滤光片，则需延长曝光时间。

4. 彩色摄影用滤光片

为了减少紫外光、少量蓝光和大气烟雾的影响，或转变色温、强调某一色彩效果，可加彩色摄影用滤光片。为了达到彩色平衡的效果，在低空(200m 以下)飞行时，若天气晴朗，可不加滤光片，否则将会产生黄色过多的效果；而在高空摄影时，因大气烟雾增加，蓝光增多，为了保证色彩平衡，常将 HF 系列(HF_3、HF_4、HF_5)滤光片结合使用，其选择取决于航高和蒙雾情况。

黄色滤光片之所以是黄色，是它吸收了白光中的蓝光，只透过红光和绿光，当红绿光合成作用于视神经后，而产生黄色色觉的缘故。同理，品红和青色滤光片，是因为它们分别吸收了绿光和红光，而只透过品红和青光的结果。因此，利用滤光片可减去某种色光的干扰，以获得所需之色光。影色合成的基本原理，就是利用红、绿、蓝三色滤光片使黑白影像变成彩色影像的。

第二节　航空像片的物理特征

航空像片的影像是通过地物电磁波在负片上的光化学反应形成的。它是以一定的色调和各种形态特征表现出来的，而其色调不仅随地物所固有的光谱特性变化，并且还与摄影时的光照条件、摄影感光材料的性能以及冲洗、印像过程中曝光和显影时间的长短有关。

一、地物亮度对影像的影响

地物亮度是指地物对太阳光反射光的明暗程度。亮度不同的地物，其影像色调也不同。地物亮度用亮度系数来表示。所谓亮度系数(r)，是指在照度条件相同的情况下，地物表面亮度(B)和绝对白体理想的表面亮度(B_0)之比。即：

$$r=\frac{B}{B_0} \qquad (4-1)$$

通常把绝对白体理想的漫射表面亮度假定为 1(或 100%)，但理想的绝对白体是很难找到的，故一般用涂布氧化镁(MgO)或硫酸钡($BaSO_4$)的纸或金属板作为标准反射面进行对比。该标准反射面的亮度系数是 0.98(或 98%)，而黑体的亮度系数为 0。

亮度系数不同的物体，在像片上反映出的色调也有所不同。物体的亮度系数越大，反映在像片上的色调就越浅；反之，亮度系数越小的物体，在像片上的色调就越深。

不仅不同物体的亮度系数有所不同，即便是同一物体，若从不同方向去看，其亮度系数也有差别。也就是说，物体的亮度系数具有方向性。亮度系数的方向性，在具有镜面反射的物体中表现得最为明显。例如，对同一湖面进行摄彩，若在其背向镜面反射方向摄影时，亮度系数最小，反映在像片上的色调就深；而在其发射镜面反射的方向拍摄时，则亮度

系数大，反映在像片上的色调就浅。但由于绝大多数物体对入射光都是漫反射，所以各方向的亮度系数虽然不同，却差别很小。一般在计算亮度系数时，是以物体垂直方向的亮度系数为依据的。表 4—1 列出了几种地物的亮度系数，供参阅。

表 4—1　几种地物亮度系数比较表

地物名称	亮度系数(r)	地物名称	亮度系数(r)
潮湿黑土	0.02	湿公路	0.11
干燥黑土	0.03	有湿气的石英沙	0.12
针叶林	0.04	干燥沙壤土	0.13
夏季阔叶林	0.05	秋天阔叶林和稻草	0.15
绿色庄稼	0.055	干燥黄沙	0.15
潮湿沙壤土	0.06	花岗岩碎块	0.17
绿色草地	0.06～0.07	干卵石路	0.20
冬季阔叶林	0.07	红砖房子	0.20
干谷中绿草地	0.07	垂直测量的干石英沙	0.20
潮湿石英沙	0.08	干公路	0.32
湿卵石路	0.09	倾斜测量的干石英沙	0.35
干黄色草地	0.10	河川的冰	0.35
干燥红沙	0.10	白色石灰岩	0.40
收割后的田地	0.10	雪地	0.8～1.00

根据表中所列数据进行分析，可以得出以下结论：

1. 物体间的亮度系数变化很大

表中所列黑色土壤的亮度系数(r)最小，只有 0.02～0.03，而白雪的亮度系数可达 1.00。两者相差竟达 50 倍，因此，根据亮度系数就可以识别出不同的地物。地物的不同亮度反映在像片上是不同的色调，所以根据像片的色调，就可以区分不同的物体。

2. 潮湿物体的亮度系数小

同类物体，由于其干、湿程度的差异，亮度系数也不同，潮湿物体比干燥物体的亮度系数要小。但潮湿物体亮度系数的减少并非是绝对的，如果其反射光产生镜而反射，亮度系数可能比干燥物体还大，如静止的湖水面即是一例。

3. 物体的亮度系数与其颜色有关

物体的亮度系数也受颜色及其浓淡程度的影响。

4. 表面粗糙的物体比表面光滑者的亮度系数小

由于粗糙表面呈漫射状态，进入镜头的光强相对减少，因而其亮度系数就小。在不同角度所摄光滑表面的亮度系数也不相同，当镜头正对镜而反射时亮度最大。

5．许多性质完全不同的物体却有相同的亮度系数

也就是说，性质不同的物体在像片上的色调相同，这就增加了解译的难度。因此，在对像片进行解译时，不能仅凭色调识别物体，还必须参考其他解译标志综合判定。

二、地物光谱特性对影像的影响

地物的光谱特性和遥感影像的关系十分密切，如果物体对入射光的一定波段不透明，

则入射其上的阳光除一部分被吸收外，余者全被反射，因此，其反射系数和吸收系数相加应等于 1。对可见光黑白像片来说，反射越大、吸收越小的物体，影像色调越浅；而反射越小、吸收越大的物体，则影像色调越深，从而形成像片上的不同灰度。

地物的性质不同，对电磁波的反射和吸收性能也就不同，根据其光谱反射性质可将物体分为消色物体和彩色物体两类。

1. 消色物体

对入射阳光没有分解为单色光能力的物体称之为消色物体，它以不同比例反射和吸收太阳辐射的能量。例如雪、水体、黑土、白色大理石等都属消色物体。这类物体的光谱亮度系数，虽基本上不随入射光的波长而变化，但物体之间的亮度系数却有明显差别(图 4—5)。

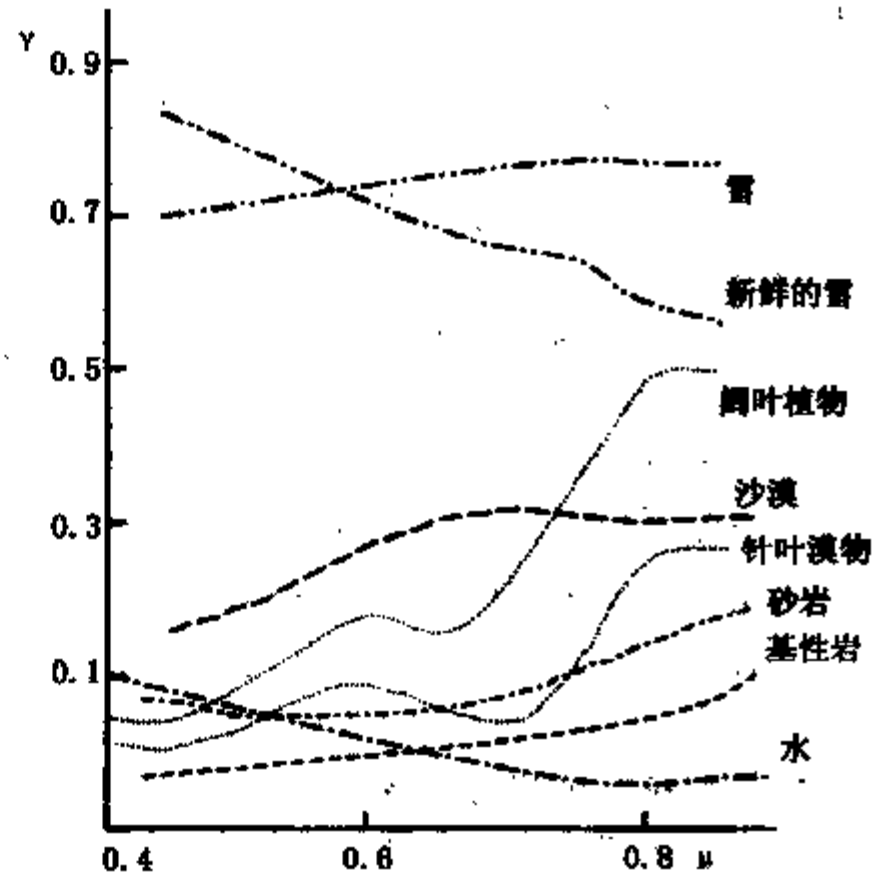


图 4—5　地物光谱亮度特征曲线

在消色物体中，雪接近于全部反射，黑土接近于全部吸收，其他消色物体则以不同的比例反射和吸收入射阳光。所以，在遥感像片上分别呈现白、黑以及不同的灰色色调。而水体却有其特殊的光谱特性，它不仅有反射和吸收特征，而且还受水中生物、镜面反射、湖水性质及其化学成分、波动状态以及晚间发射红外线等诸多因素的干扰。因而在不同季节、不同时间、不同部位、不同性质、不同动态下所摄水体，在像片上可显现出由黑到白或中等灰度的色调。因此，在解译水体时应特别注意其他因素对其色调的影响。

2. 彩色物体　彩色物体是指对入射可见光具有分解成单色光能力的物体，它又可分为黄红色彩色物体和绿色彩色物体两类。

(1)黄红色彩色物体对红黄光的反射能力要比对蓝紫光的反射能力强得多，它的光谱亮度系数随波长而增长，并对外来的电磁波具有选择性吸收和反射能力。如沙漠、黄土、土路、成熟的农作物以及各种黄红色的岩石、岩体等均属此类。

(2)绿色彩色物体多指天然植被。它对入射可见光既具有分解成单色光的能力，也具有选择性吸收和反射的本领。它和黄红色彩色物体的不同在于它具有自身的光谱特征。在波长为 0.4～0.5μm 时，其光谱亮度系数是随波长的增大而微增；在波长为 0.55μm 时，其光谱亮度系数增长明显，形成一个峰值，这是绿色植物对绿光波段反射强烈的反映；在 0.58～0.7μm 的波长范围内，其光谱亮度系数大为下降，而至红外区时光谱亮度系数又有显著增长，形成第二个峰值，这是由于植物叶体内部栅栏组织的发育能强烈反射红外光的缘故。因此，绿色物体的色调反映在黑白像片上呈现出灰色或深灰色；在彩色像片上呈现绿色；在红外像片上因其强烈反射红外线而呈明亮的红色。

总之，遥感像片上的色调受地物亮度及其光谱特性、感光材料、传感器、摄影季节、时

间以及在冲洗、印像过程中药液配方、曝光显影时间、印像纸的物理性能等多种因素影响。但在一定的环境因素条件下，地物的亮度及其本身的光谱特征是影像色调的决定性因素。因此，研究和分析不同地物的光谱亮度特性曲线，不论是对传感器、感光材料、滤光片组合以及摄影季节和时间的选择，还是对影像色调的预测、分析、自动识别和分类，都有一定的指导作用。所以，近年来不少单位对不同地物光谱特性的研究非常重视，并积累了不少资料，取得了一定成果。

三、感光材料性能对影像的影响

感光材料是由感光乳剂和片基组成的，不同乳剂的感光片具有不同的感光度、反差和分辨率。

感光度是确定曝光时间的主要因素，感光材料的感光度愈高，所需曝光时间愈短；反之，感光材料的感光度越低，则需延长曝光时间，否则就不可能得到具有足够黑度的像片。

反差是感光片的又一重要特性，其大小可决定影像的明暗差别和表现景物明暗的层次。反差大的感光片，影像的明暗差别明显，但明暗层次较少；反差小的感光片，表现景物的明暗层次较多，但明暗差别却又不明显。

感光材料的分辨率是指感光乳剂对景物细致部分的表现能力，它直接影响着影像的清晰程度，分辨率愈高，影像对景物细部表现得越清晰。乳剂分辨率的高低，取决于感光乳剂银盐颗粒的粗细，银盐颗粒越细，分辨率越高。

为了保证影像的质量，在航空摄影时需要选择感光度高、反差适中和有较高分辨率的感光材料。

四、像片分辨率

航空像片的分辨率主要取决于航摄仪镜头分辨率和感光乳剂的分辨率，一般航摄仪和感光乳剂分辨率组合而成的系统分辨率，在25～100线对/mm之间变化。当然，航空像片的分辨率除受航摄仪镜头和感光乳剂分辨率的影响外，还和景物的反差、曝光时间、微粒显影、大气光学条件以及飞机的震动等多种因素有关。

不言而喻，分辨率高的航空像片，影像清晰、细致，反映的地物丰富；分辨率低的像片，在相同比例尺条件下，分辨不清很多细小的地物，降低了像片质量。在同一张像片上，中心部分比边缘部分的分辨率高，所以，中心部分的影像就比边缘部分清晰。

第三节　航空像片的几何特征

航空像片和地形图的主要区别有二：一是航空像片客观而真实地记录下成像瞬间地物的电磁波特性，反映出地物之间以及地物与周围环境间的相互关系；而地形图却是通过制图综合，为特定目的用不同符号（图例）来表示被选取的内容。另一个区别是所选用的投影方法不同。地形图所选用的是正射投影（或称垂直投影），而航空像片却是用中心投影成像的。正是由于投影性质的不同而形成几何特征的差异。

一、中心投影及其成像特征

1. 中心投影

是指投影光线通过投影中心使其在承影面上获得地物透视影像的一种投影方法。根据投影中心、物体和投影面三者间的相互位置，可将中心投影区分为 3 种形式(图 4－6)。图中左、中、右分别表示投影中心 S、承影面 P 和空间点 A、B、C 三者间的位置关系，投影光线 SA、SB、SC 与 P 的交点 a、b、c 即 A、B、C 的中心投影。

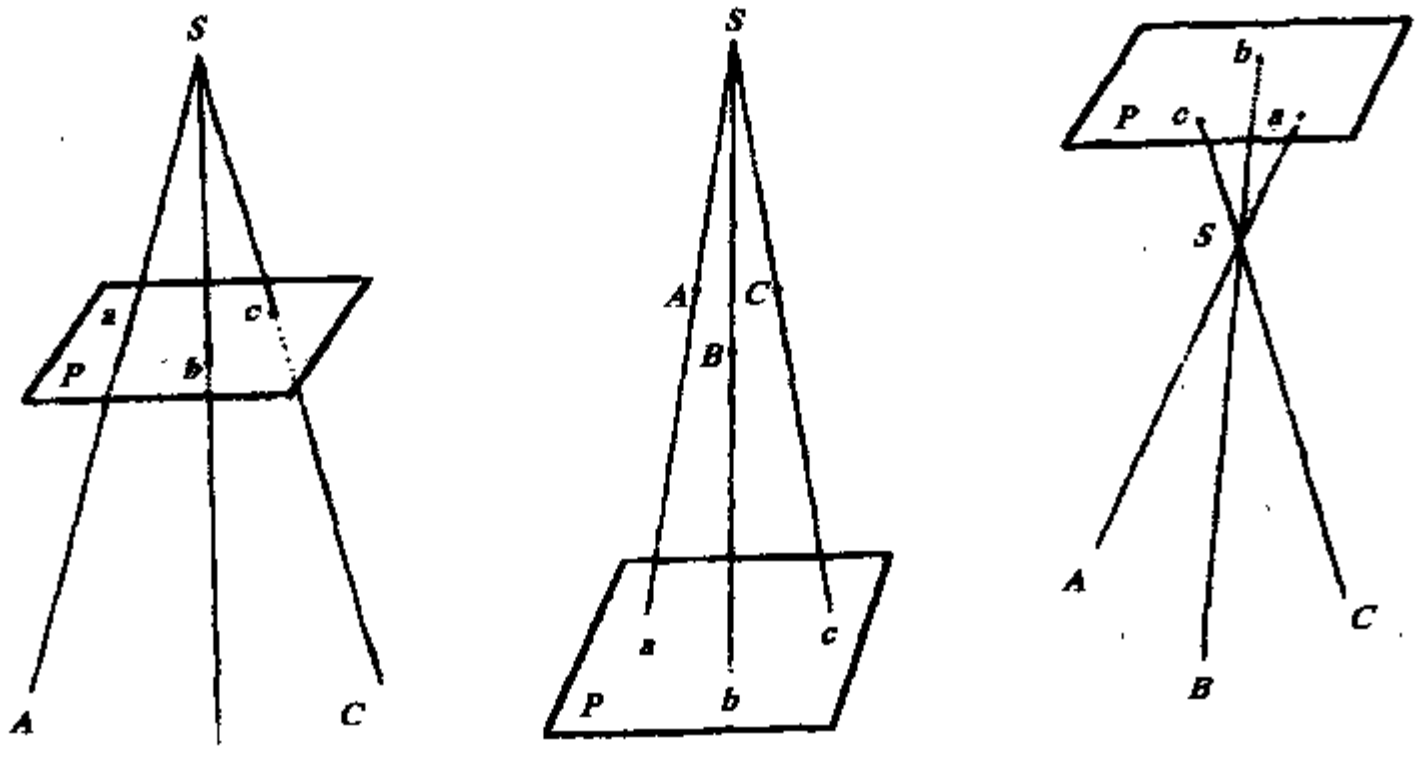


图 4－6　中心投影的 3 种形式

航空摄影就是用中心投影方法成像的。图 4－7 的 S 点相当于航摄仪的镜头中心，P 为承影面(感光胶片)，o 为像主点(航摄仪主光轴 So 与像面 P 的交点)，镜头中心 S(投影中心)至像主点 o 的距离 So 等于焦距 f，从镜头中心 S 点至地面的距离等于航高 H，像平面 P 上的 a、b、c 各点是地面 A、B、C 等点在其上的投影，感光后就成为感光胶片上的负像(底片)，再经接触晒印就得到成为正像的航空像片。航空像片的成像位置，相当于 P′ 的位置。其投影中心仍为 S，So′ 即焦距 f，P′ 平面上的 a′、b′、c′ 就是地面 A、B、C 各点的中心投影，不过 P′ 平面上的影像却相当于由负片接触晒印后的正片(航空像片)了。

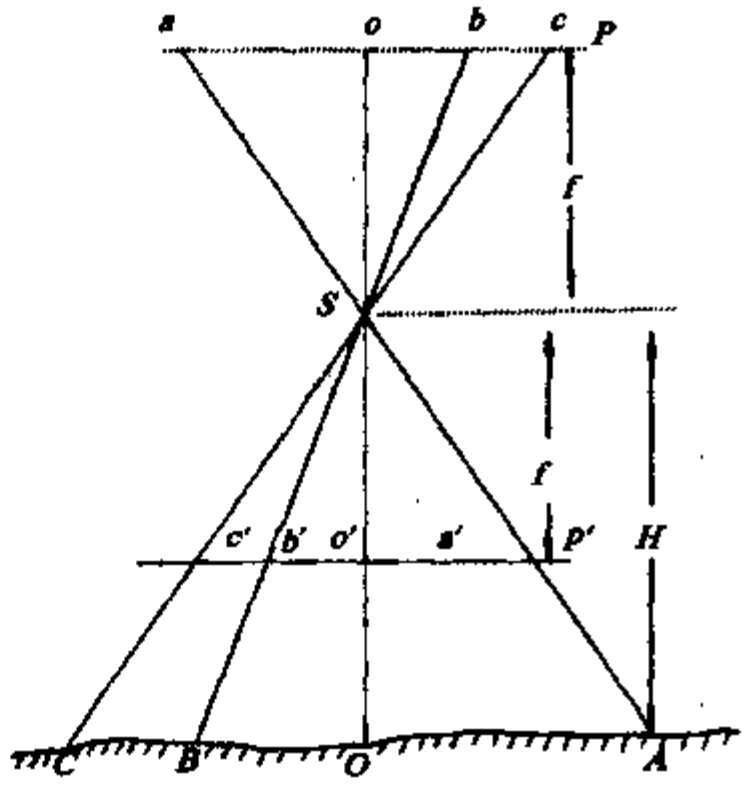


图 4－7　航空像片的中心投影示意图

2. 中心投影和正射投影的差别

用航摄仪拍摄的航空像片和地形图投影性质的差异表现在 3 个方面：

(1)投影距离　正射投影的影像比例尺与投影距离无关，而中心投影则不同，其比例尺的大小却取决于航高(H)和焦距(f)。如图 4－8 所示：

左图为正射投影，其 a_1b_1 和 a_2b_2 的位置距离不变；右图是中心投影，当航摄仪的焦距一定时，影像比例尺的大小则随投影距离(航高)而变，即航高越大，影像比例尺越小。其几何关系为：

$$\frac{1}{M}=\frac{f}{H} \qquad (4-2)$$

式中：M 为航空像片比例尺的分母，f 是焦距，H 是航高。即便是同一张航空像片上的各点，若航高不等，影像比例尺也不相同。当高山顶部与平原高差很大时，山顶的影像比例尺大，而平原的影像比例尺小。

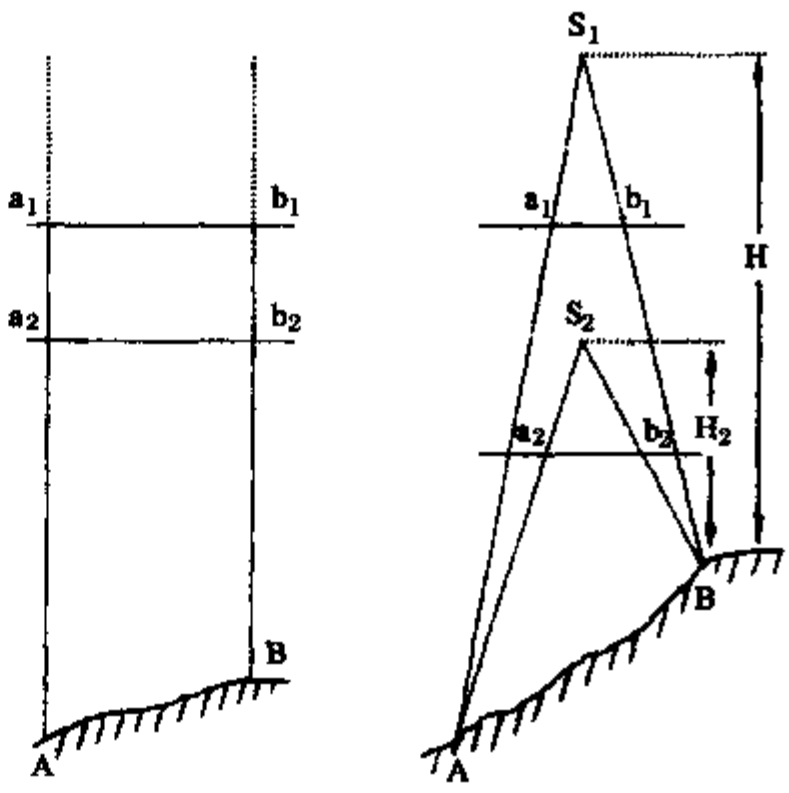


图 4－8　投影距离和影像的比例关系

(2)投影面倾斜　在正射投影中，投影光线总是垂直于承影面面互相平行的，即便投影面倾斜，也只不过是比例尺相应放大。图 4－9(左)中虽然 a′b′＞ab，但图像间的比例关系却保持不变。即地面上 AO＝BO，相应承影面上 a′o′＝b′o′。但中心投影则不然，如图 4－9(右)所示，由于投影面的倾斜，其影像比例关系则有显著变化。地面上的 AO＝BO，但承影面上的影像 a′o′ 却小于 b′o′。

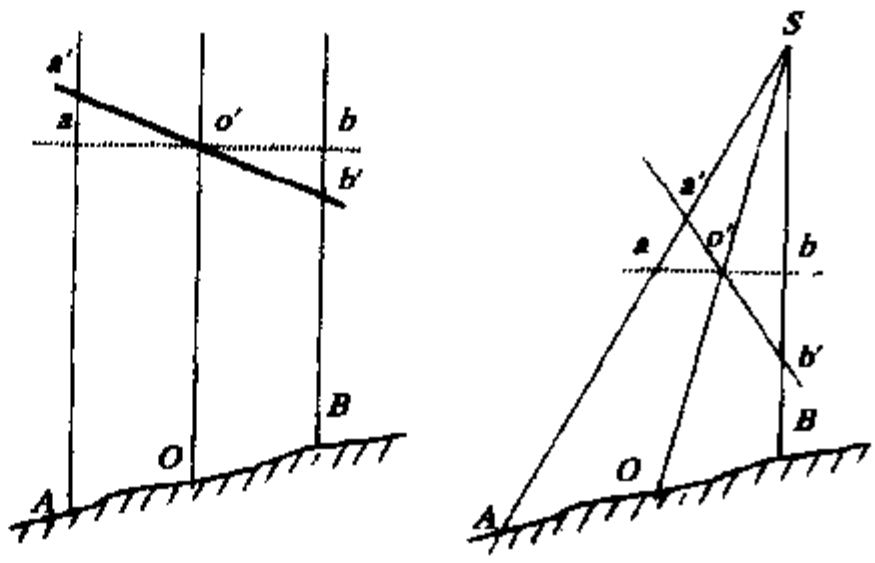


图 4－9　投影面倾斜对影像比例的影响

(3)地形起伏　如图 4－10(左)所示，地面上任意高程的两点 D、D′，在正射投影中处于同一铅垂线上，其在承影而上的投影点 d、d′ 是共点。这就是说，在正射投影中，投影位置不受地形起伏的影响。但中心投影不同，地形起伏却会引起影像的位移。图 4－10(右)中，同一铅垂线上高程不同的 D、D′ 两点，在承影而上的投影 d、d′ 并不重合。这种因地形高差所引起的影像位移称为“投影误差”。地面两点的相对高差(地形起伏)越大，投影误差也越大。

由于中心投影和正射投影存在着上述投影性质的差别，因此，在利用航空像片绘制地形图时，必须把中心投影转换成正射投影，统一像片比例尺，以纠正其倾斜误差和投影误差；只有当承影面水平、地形平坦时所拍摄的航空像片才能作为平而图使用，因为在这种条件下中心投影和正射投影的成果是相同的。

3. 中心投影的透视规律和成像特征

在航空像片上，同一种地物由于所处的部位不同，其中心投影形成的影像(大小、形态

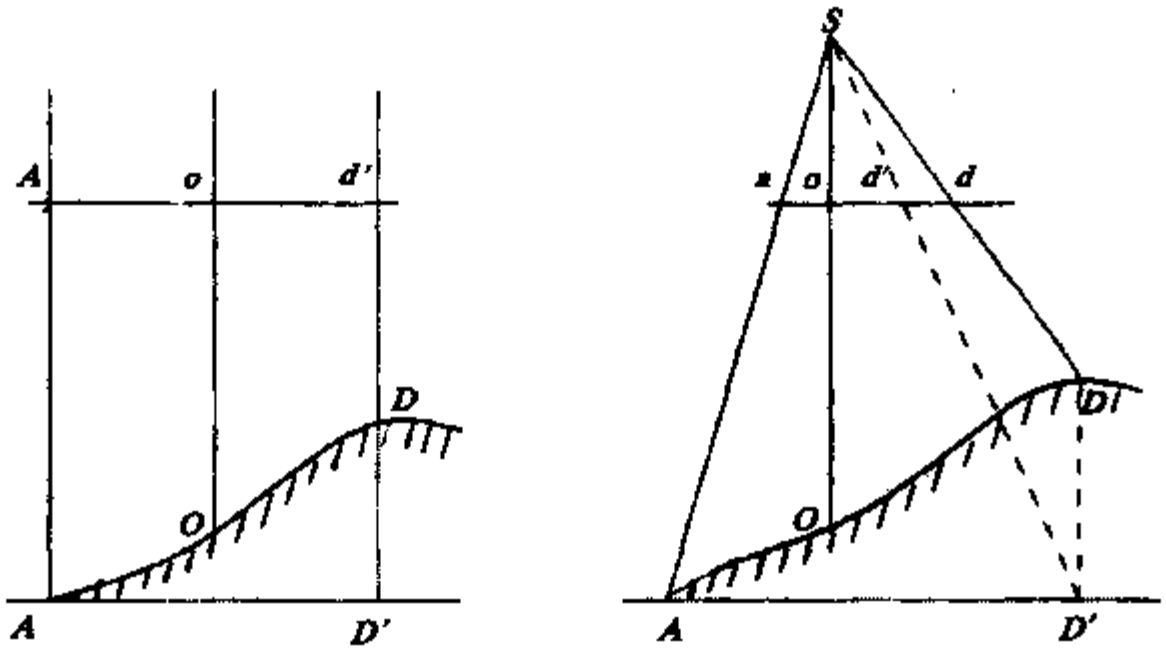


图 4—10　地形起伏所引起的像点位移

等)却具有不同特征。因此,在解译时,必须考虑中心投影的透视规律对影像所造成的影响,否则就难以判别所摄对象。所以了解与掌握有关点、线、面、体中心投影的基本透视规律是十分必要而且也是非常重要的。中心投影的基本透视规律不外:

(1)地而点的中心投影仍然是一个点。

(2)地面直线的中心投影仍然是直线,但两条相互平行或相交叉的直规,某一束射线的投影,却因所处部位的不同面不同。

(3)地面垂线(如树木)的中心投影,除位于像主点(航摄仪主光轴与像面的交点)的垂线成一点外,其余则成为以像主点为中心的辐射短线。

(4)曲线的中心投影,可分为平面曲线(如湖岸线)和立体曲线(如盘山公路)两类。平面曲线的中心投影仍然是曲线(图 4—11A),唯一的例外是当曲线包含在一个过像主点且垂直于地面的平而上时,则成一条直线(图 4—11B);立体曲线的中心投影始终是曲线(图 4—11C)。

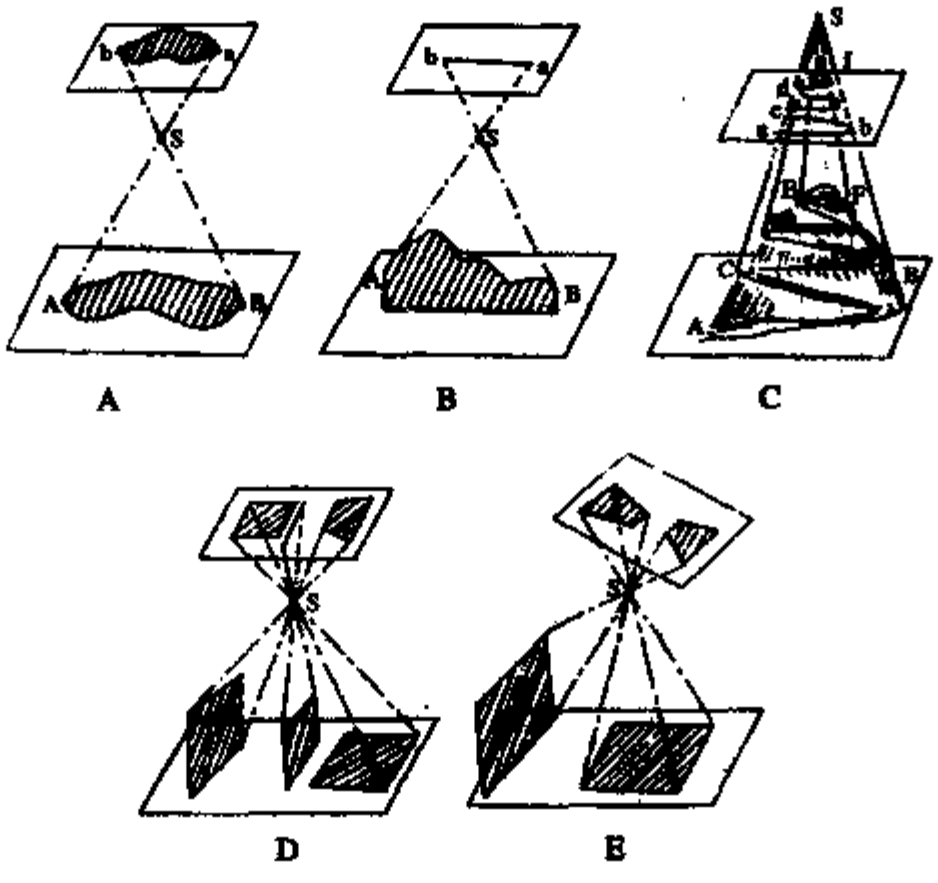


图 4—11　中心投影的透视规律及其成像

(5)面的中心投影，实际上是各种线的组合，有了直线的中心投影知识，就能推断出任何位置的面的投影来(图 4—11D、E)。

4. 航空像片上的特征点和线

由于飞机的震动或地形的起伏，绝对水平的航空像片是很难摄得的，一般的航空像片都有一定的倾斜角度。在倾斜像片上都具有一些特殊性质的点和线，称之为特征点或线，它们对研究像片的误差分布规律及其数学特征是非常有用的。

图 4—12 所示，P 为倾斜像面，S 为物镜中心，P_0 为过 S 的水平面，P_0 和 P 所夹的两面角 α 为像片倾斜角，据此，可找出的特征点、线如下：

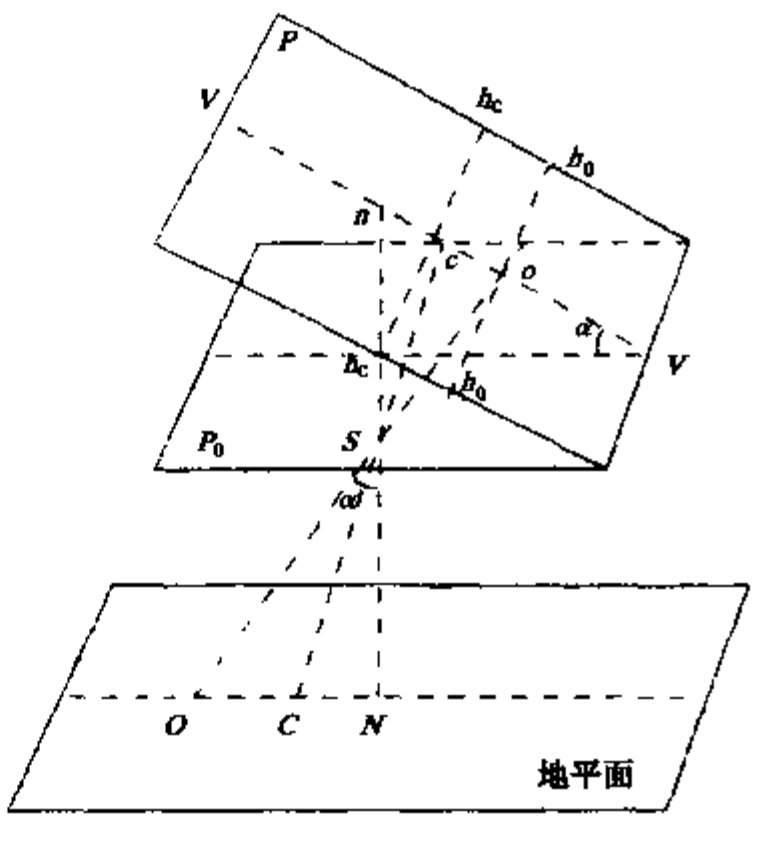


图 4—12　倾斜像片上的特征点和线

(1)像主点(o)　像主点是航摄仪主光轴 SO 与像面的交点。

(2)像底点(n)　像底点是过物镜中心 S 的铅垂线(主垂线)与像面的交点。

(3)等角点(c)　主光轴与主垂线的夹角是像片的倾斜角 α，像片倾斜角 α 的等分线和像面的交点称为等角点。当地面平坦时，以等角点为顶点的方向角，才是地面与像片上对应相等的角度；等角点上任意方向上的比例尺均与同一航高的水平像片比例尺相等。

(4)主纵线(VV)　过像主点 o 和像底点 n 的直线称为主纵线，它是主垂面(包含主垂线与主光轴的平面)与像面相交的直线 VV，主纵线必然通过等角点 c，它是像片的纵坐标轴 y、等角点 c 的坐标原点。

(5)主横线(h_0h_0)　与主纵线垂直且过像主点的直线 h_0h_0 称为主横线。主横线是像片上的 x 坐标轴线，它和主纵线构成像片上的直角坐标系。

(6)等比线(h_ch_c)　等比线是过等角点且垂直于主纵线的直线(h_ch_c)。等比线上的比例尺与同航高垂直摄影的比例尺相等。

在垂直摄影时，由于过物镜的主光轴和铅垂线合二为一，所以其像主点、像底点、等角点合于一点，主横线与等比线重合为一直线；只有在倾斜像片上，才有像主点、像底点、等角点以及主横线、等比线之分，所以它们是倾斜像片的特征点和线。

二、航空像片的比例尺

1. 像片比例尺

航空像片上某一线段长度与地面相应线段长度之比，称为像片比例尺。航空像片具有不同的比例尺。

在平坦地区，承影面处于水平位置(图 4—13)的情况下拍摄的像片，其比例尺取决于航摄仪镜头的焦距(f)和摄影时工作平台所处的航高(H)。若航高一定，则焦距愈大，像片比例尺也愈大；如焦距面定不变，则航高越大，像片比例尺越小。也就是说，水平像片的比

例尺等于焦距(f)与航高(H)之比，即：

$$\frac{1}{M}=\frac{f}{H}=\frac{ab}{AB} \qquad (4-3)$$

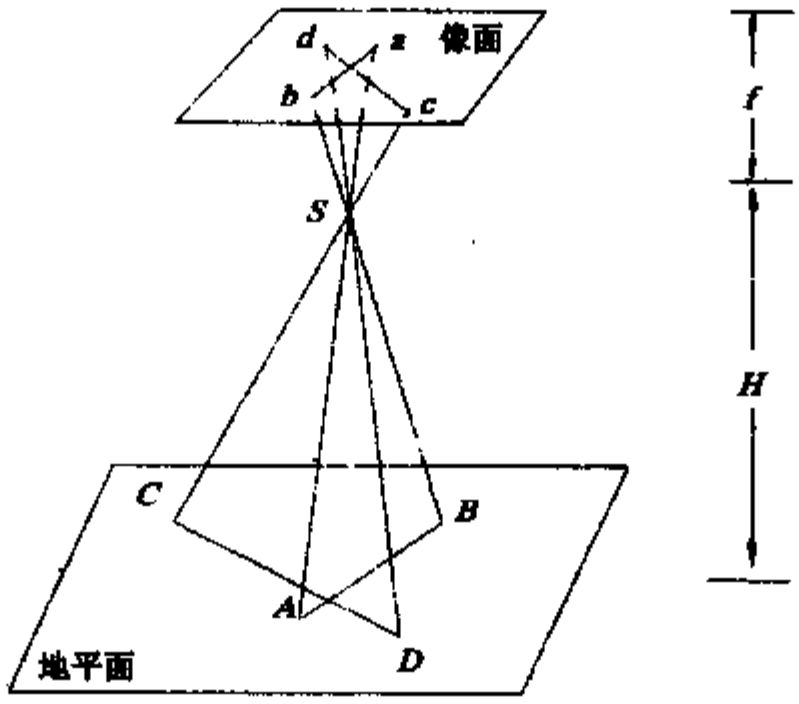


图 4—13　平坦地区水平像片的比例尺

在这种情况下，像片上各处的比例尺是一个常数，即各个部分各个方向上的比例尺是一致的。所以，这样的航空像片就相当于平面图，故可直接作为平面图使用。

2. 像片倾斜对像片比例尺的影响

在当前条件下，绝对水平的像片是很少的，一般在摄影时航摄仪的主光轴都会有一定的倾斜，所以，所摄得的航空像片也都有一定的倾斜角度。在倾斜像片上，各点的像比例尺是不等的，但却有规律可循，是可以计量的。倾斜像片上比例尺的变化，是随像点至等角点的 y 坐标和像片倾角 α 的大小而变的。表 4—2 所列，是任意点和特征点的比例尺计算公式。

表 4—2　任意点和特征点的比例尺计算公式

位　置	横　向(水平线)	纵　向(主纵线)
任意点	$\frac{1}{M_x}=\frac{f}{H}(\cos\alpha-\frac{y}{f}\sin\alpha)$	$\frac{1}{M_y}=\frac{f}{H}(\cos\alpha-\frac{y}{f}\sin\alpha)^2$
像主点	$\frac{1}{M_{x_0}}=\frac{f}{H}\cos\alpha$	$\frac{1}{M_{y_0}}=\frac{f}{H}\cos^2\alpha$
像底点	$\frac{1}{M_{x_n}}=\frac{f}{H\cos\alpha}=\frac{f}{H}\sec\alpha$	$\frac{1}{M_{y_n}}=\frac{f}{H\cos^2\alpha}=\frac{f}{H}\sec^2\alpha$
等角点	$\frac{1}{M_{x_c}}=\frac{f}{H}$	$\frac{1}{M_{y_c}}=\frac{f}{H}$

由上表可知，倾斜像片上的比例尺，除了与航高(H)和焦距(f)有关外，还与像片的倾角(α)大小和 y 坐标值有关。图 4—14 显示了倾斜像片上比例尺的变形规律。如图所示，等角点的像片比例尺，在各个方向上与同一航高的水平像片上的比例尺是一致的，它们都是 f/H；但在像主点上，沿主纵线方向的比例尺小于主横线上的比例尺；两者相比同一航高水平像片的比例尺小；而像底点上的比例尺，沿主纵线方向却大于沿主横线方向的比例尺，两者都比同一航高水平像片的比例尺大。

3. 地形起伏对像片比例尺的影响

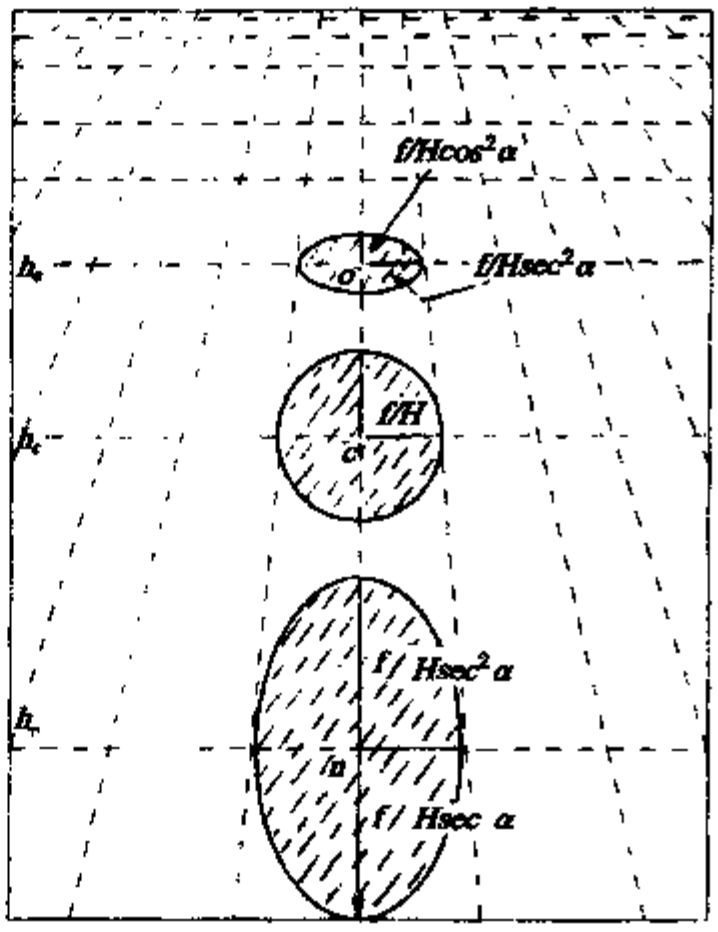
实际上，被摄地面是起伏不平的，所以，在实地拍摄像片时，相对航高随地形而变，从面造成像片上各个高程像点比例尺的不一致。

如图 4－15 所示，A、B、C、D、E、F 为不同平面上的各地面点，它们投影在像片上的影像相应为 a、b、c、d、e、f。A、B 在水平面 T_2 上，C、D 在水平面 T_0 上，E、F 在水平面 T_1 上。若以 T_0 为起始面，投影中心至 T_0 的航高为 H_0，T_0 与 T_1 的高差为 h_1，T_0 与 T_2 的高差为 h_2，则各平面上像点的比例尺为：

$$\frac{1}{M_0}=\frac{cd}{CD}=\frac{f}{H_0} \qquad (4-4)$$

$$\frac{1}{M_1}=\frac{ef}{EF}=\frac{f}{H_0-h_1} \qquad (4-5)$$

$$\frac{1}{M_2}=\frac{ab}{AB}=\frac{f}{H_0+h_2} \qquad (4-6)$$



4－14　像片倾斜对比例尺的影响

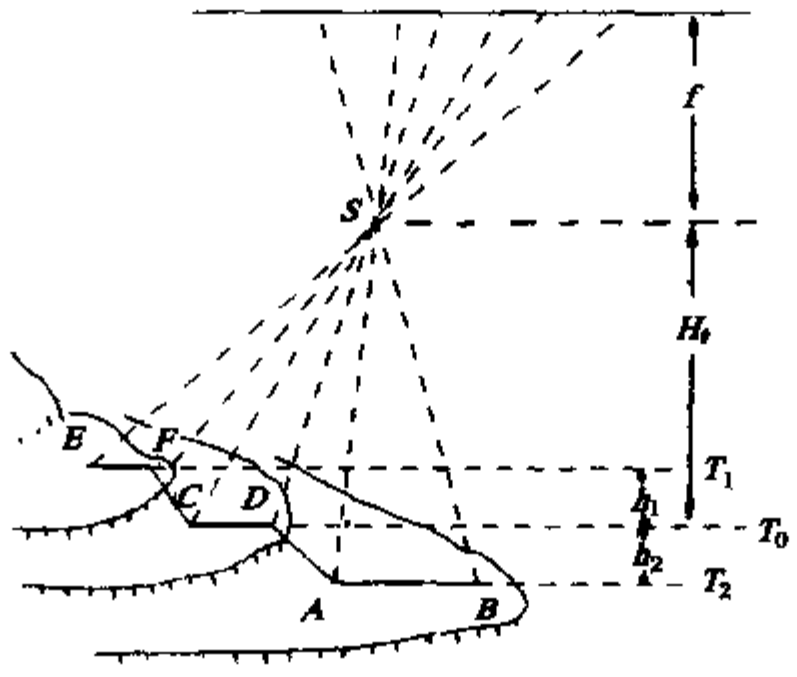


图 4－15　地形起伏对像片比例尺的影响

三式相比可知，T_1 平面上 E、F 的像比例尺最大，T_2 平面上 A、B 的像比例尺最小。这就是说，位于不同高度上的影像比例尺是不一样的，只有在地面平坦、各点基本上处于同一水平面上作垂直摄影时，其像片比例尺才是统一的。山区地形起伏大，像片各点的比例尺很不一致，为了使用方便，常选择各点的平均高程面作为起始面，根据这个起始面计算出来的比例尺，称为水平像片的平均比例尺。

在实际工作中，常以航测部门的航空记录为依摄来计算像片比例尺，这种比例尺称为主比例尺，它表示的是像主点和与像主点同高的影像比例尺，这种比例尺只能概略地代表该像片的比例尺。表 4－3 列出了与各种航高和焦距相对应的像片比例尺。

表 4－3　与不同航高和焦距相对应的像片比例尺

相对航高(m) / 焦距(mm) / 像片比例尺	50	70	85	100	152	210	300
1∶2 000	① 100	140	170	200	304	420	600
1∶5 000	250	350	425	500	760	1 050	1 500
1∶10 000	500	700	850	1 000	1 520	2 100	3 000
1∶15 000	② 750	1 050	1 275	1 500	2 280	3 150	4 500
1∶20 000	1 000	1 400	1 700	2 000	3 040	4 200	6 000
1∶30 000	1 500	2 100	2 550	3 000	4 560	6 300	9 000
1∶50 000	2 500	3 500	4 250	5 000	7 600	10 500	15 000
1∶70 000	3 500	4 900	5 950	7 000	10 640	14 700	21 000
1∶100 000	5 000	7 000	8 500	10 000	15 200	21 000	30 000
1∶200 000	③ 10 000	14 000	17 000	20 000	④ 30 400	42 000	60 000
1∶3 000 000	⑤ 150 000	210 000	255 000	300 000	456 000	630 000	900 000

注：①低空飞机；②中空飞机；③高空飞机；④高空气球与低空飞船；⑤卫星遥感。

4. 像片比例尺的测定

在平坦地区，当像片倾斜角小于 1°时，地形起伏和像片倾斜所引起的误差很小，像片上各处比例尺的变化不大，这时可用像片的平均比例尺作为像片比例尺。

测定平坦地区的像片比例尺时，一般是在像片四角选择 4 个明显的地物点 N_1、N_2、N_3、N_4(图 4－16)，连接其对角线，量出它们的长度 d_1、d_2 和与之相对应的地面上该线段的长度 D_1、D_2，则其像片比例尺为：

$$\frac{1}{M_{均}}=\frac{1}{2}\left(\frac{d_1}{D_1}+\frac{d_2}{D_2}\right) \qquad (4-7)$$

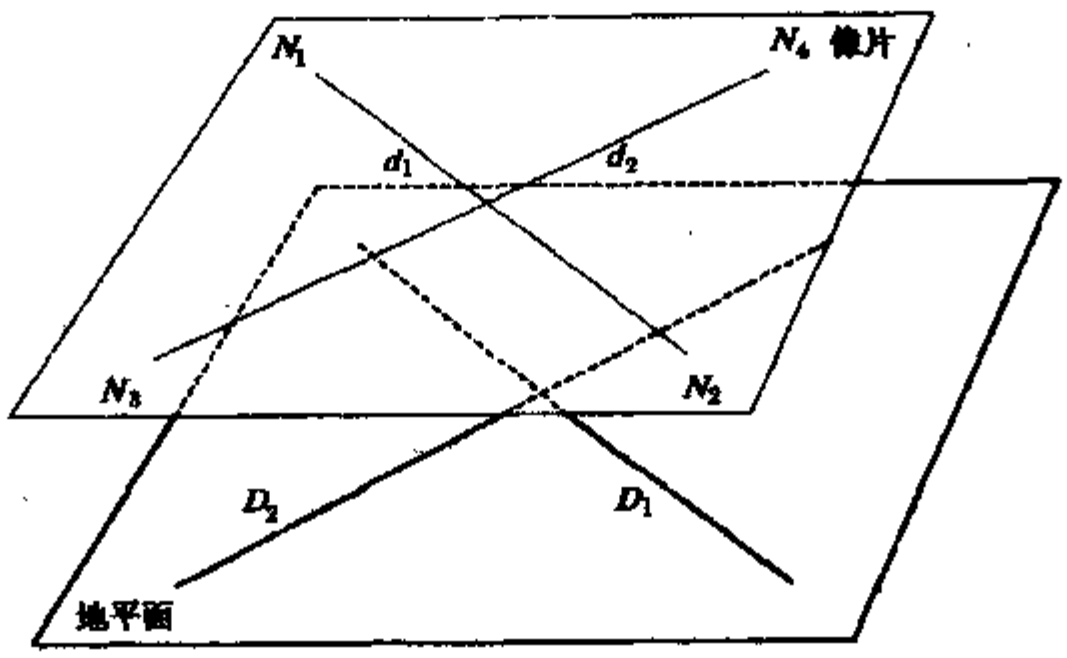


图 4－16　平坦地区像片比例尺的测定

然而，若在高差悬殊的丘陵地区，由于像片各处的像比例尺变化较大，上述测定平均

比例尺的方法就不适用，因此，必须逐站求各点的平均比例尺。如图 4－17 所示，在任一测站 i 附近，选择两个大致与测站同高且与测站的连线近于垂直的地物点 N_1、N_2，在像片上量出由测站至 N_1、N_2 的长度 d_1、d_2，并测出与之相对应的地面线段长度 D_1、D_2，则该站附近的平均比例尺为：

$$\frac{1}{M_{i均}}=\frac{1}{2}\left(\frac{d_1}{D_1}+\frac{d_2}{D_2}\right) \qquad (4-8)$$

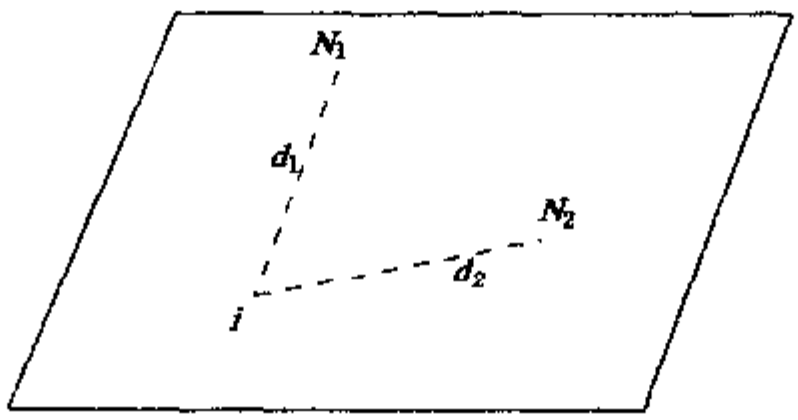


图 4－17　丘陵地区像片比例尺的测定

工作中，选择像片比例尺应视其工作性质、任务和用途而定，大比例尺（大于 1∶10 000）像片，地面分辨率较高，能显示出足够的细节；小比例尺（小于 1∶35 000）的像片视野宽广，并能更好地显示出区域特征。工作中最好是不同比例尺的像片结合使用，以取得最佳效果。

三、航空像片的重叠

在连续的航线摄影和区域摄影中，要求相邻航线和相邻像片间对相同目标的影像有一部分重叠，称之为像片重叠。像片间的重叠，若相互之间有 20%～30%就能满足立体观察的要求了。但为了测图方便，还需要重叠得多一些。按像片的重叠部位，可将像片重叠分为两种：

1. 航向重叠

沿飞机飞行方向相邻像片间的重叠称之为航向重叠（图 4－18），航向重叠一般为 60%，最少不小于 56%。

2. 旁向重叠

为了保证拍摄区域像片的相互连接、镶嵌以及方便进行立体观察和量测，要求相邻航线间的影像互相重叠 40%，最少不能少于 12%，这种重叠称之为旁向重叠（图 4－18）。

在地形起伏不大的平坦地区，像片重叠的上述比例是较为适宜的。但在高差较大的山区，如云贵高原、川西山地以及西藏等地，地而切割较大，高差悬殊，若仍使像片重叠 60% 就不能满足立体观察的需要了。因此，必须考虑高差的附加修正值。其像片重叠的比例，可按以下实用公式计算：

$$p=60\%+40\%\times\frac{\triangle h}{H} \qquad (4-9)$$

$$q=30\%+70\%\times\frac{\triangle h}{H} \qquad (4-10)$$

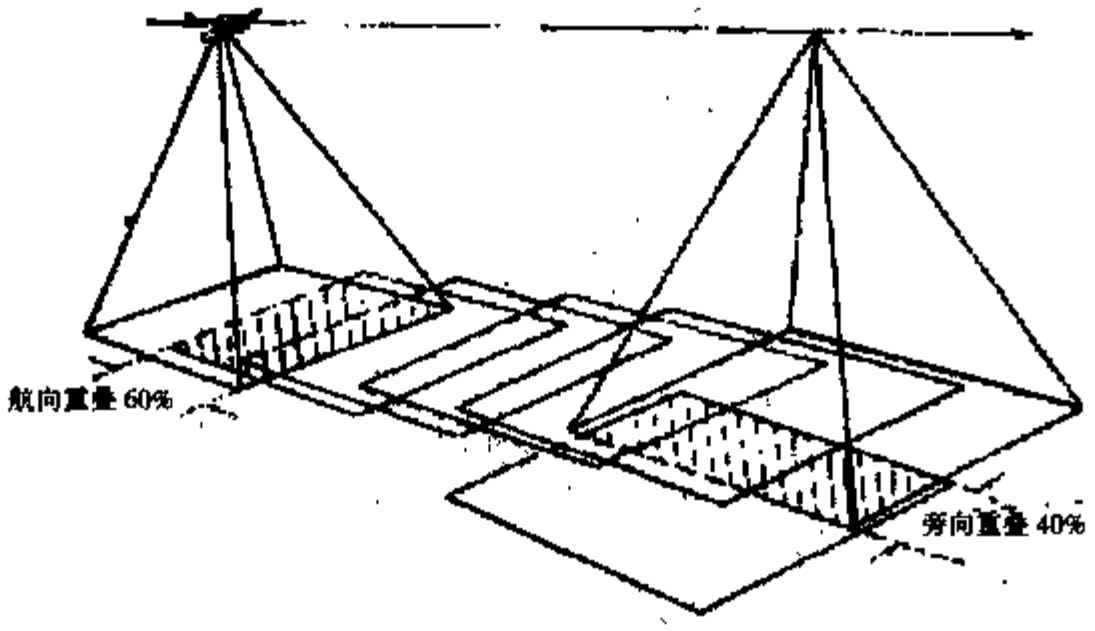


图 4－18　航向重叠和旁向重叠示意图

式中：p 为航向重叠，q 为旁向重叠，△h 为地形高差（最大高度与平均高度之差），H 为航高。

例如：当 H＝2 000m、△h＝1 000m 时，像片的航向重叠和旁向重叠应为：

$$p=60\%+40\%\times\frac{1\,000}{2\,000}=80\%;$$

$$q=30\%+70\%\times\frac{1\,000}{2\,000}=65\%.$$

四、航空像片的像点位移

航空摄影时，由于像片倾斜和地形起伏，都会引起像片影像的像点位移。像点位移会使影像发生扭曲变形，从而使人对所摄目标产生错误的判断。因此，在利用航空像片进行解译时，必须了解和掌握由像点位移所造成的变形大小和规律，以免由此产生错觉。

1. 地形起伏所引起的像点位移

不论是在垂直摄影还是倾斜摄影的航空像片上，由于地形起伏所引起的像点位移，都是很严重的，其位移量就是正射投影相对于中心投影在同一水平面上的“投影误差”。

如图 4－19 所示，T_0 为选定的起始面；A 为高于起始面的任一地面点，其高差为 h_a；B 为低于起始面的地面任一点，高差为 h_b；A_0、B_0 是 A、B 两点在起始面上的垂直投影；a、b 为对应于 A、B 两点在像片上的投影；a_0、b_0 是对应于 A_0、B_0 两点在像片上的投影；aa_0 和 bb_0 就是因地形起伏所产生的像点位移。其位移量为：

$$aa_0=\frac{h_a}{H}\cdot a_0 \qquad (4-11)$$

$$bb_0=\frac{h_b}{H}\cdot h_0 \qquad (4-12)$$

若将以上两式中像点与像主点间的距离 a_0、b_0 以 r 表示，高差 h_a、h_b 以 h 表示；由地形起伏引起的像点位移 aa_0、bb_0 以 δ_h 表示，则投影误差的一般公式可写为：

$$\delta_h=\frac{h}{H}r \qquad (4-13)$$

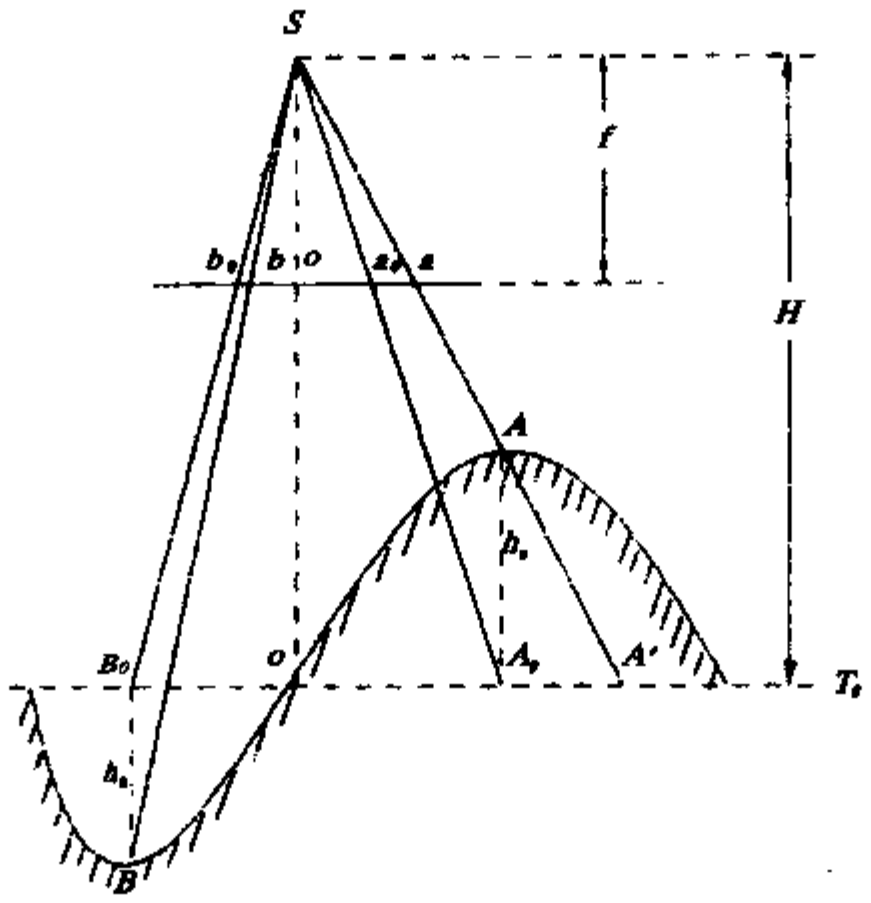


图 4－19　由地形起伏引起的像点位移

据此分析，可总结出因地形起伏所产生的像点位移有如下规律：

(1)像点位移量与像点至像主点的距离 r 成正比　即距像主点或像底点越远的像点，位移量越大，像片中心部分的投影误差最小，当 $r=0$ 时，$\delta_h=0$。这就是说，像主点或像底点是唯一不会因高差而引起像点位移的点。

(2)像点位移量与高差 h 成正比　即高差越大，引起的像点位移量越大。δ_h 的符号依高差符号而定，当地面点的高差为正时，δ_h 为正号，像点位移的方向是离中心向外移动；地面点的高差为负时，δ_h 为负号，像点位移的方向朝向中心点(像主点)移动。

(3)像点位移量与航高 H 成反比　即航离越大，因高差引起的位移量越小。卫星像片的航高在 900km 以上，所以当高差为 1 000m 时，在 18×18cm 像片范围内的最大位移量只有 0.1mm，符合制图精度要求，可认为无投影误差。

2. 像片倾斜引起的像点位移

当航摄仪主光轴与地面不垂直，具有倾斜角 α 时，因像片倾斜所引起的像点位移称为“倾斜误差”。

如图(4－20)所示，S 为投影中心；P_0 为水平像片；P 为倾斜像片；α 为倾斜像片 P 的倾角；o、n 分别为倾斜像片上的像主点和像底点；c 为等角点；VV 为倾斜像片上的主纵线；i 为主合点(过投影中心与地面平行的水平面与主纵线的交点)；h_ch_c 为等比线；a_0、b_0 是地面点 A、B 的水平像片 P_0 上的像点；a、b 是 A、B 在倾斜像片 P 上的像点；a_0'、b_0' 是水平像片 P_0 以等比线为轴旋转与倾斜像片 P 重合后 a_0、b_0 的位置，且 a_0'、b_0' 必在 ca、cb 的延长线上；φ、φ_0 分别是倾斜像片和水平像片 ca、ca_0 与等比线 h_ch_c 之间的夹角，且 φ、φ_0 相等；aa_0'、bb_0' 是倾斜像片上的像点位移量，即倾斜误差；通常以 δ_α 表示，其计算公式如下：

$$\delta_\alpha=\pm\frac{r_c^2}{f}\sin\varphi\sin\alpha \qquad (4-14)$$

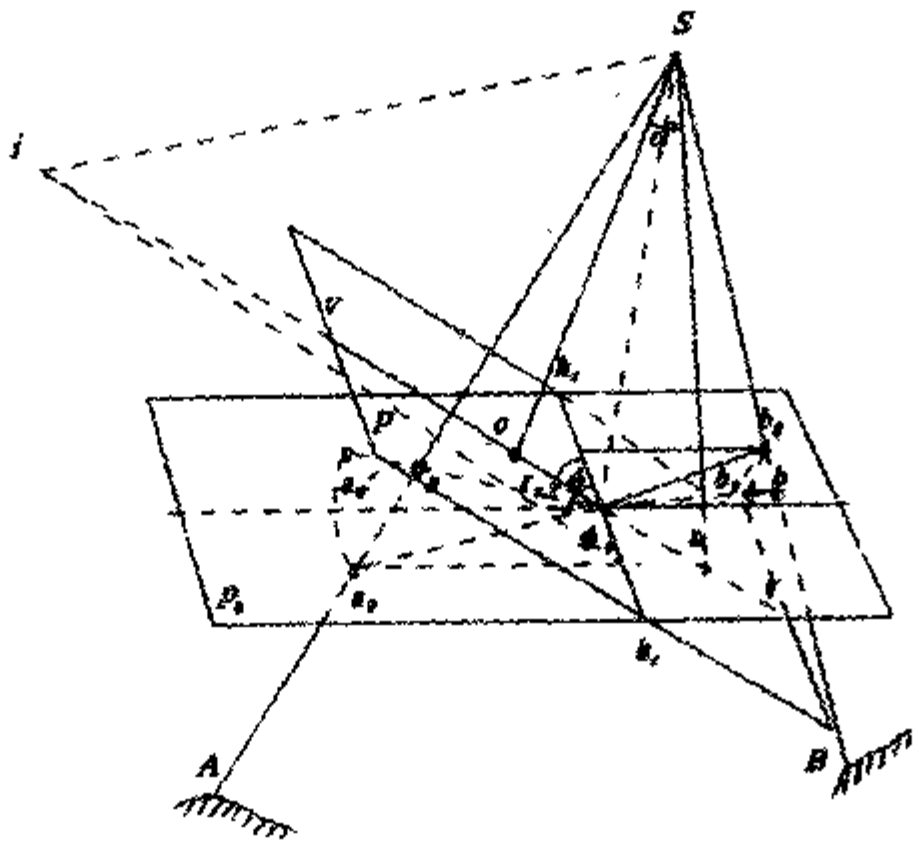


图 4—20　由像片倾斜引起的像点位移

式中 r_c 为向径，即倾斜像片上由像点到等角点的距离；f 为航摄仪镜头焦距；φ 为等比线与向径间的夹角；α 为像片倾斜角。

由式 4—14 可以看出，倾斜误差有如下规律：

(1)倾斜误差的大小与 r_c、φ、α 等三个参数有关，当 $\varphi=0°$ 或 180°时，$\delta_o=0$，也就是说，在等比线上所有像点都不会因像片倾斜而产生像点位移；当 $\varphi=90°$ 或 270°时，$|\sin\varphi|=1$，则 δ_o(最大)$=\pm\frac{r_c^2}{f}\sin\alpha$，即在主纵线上像点的倾斜误差最大。

(2)因像片倾斜，像点位移量与像点离等角点距离 r 的平方成正比，与航摄仪的镜头焦距 f 成反比。

(3)倾斜像片上的像点位移，产生在以等角点 c 为中心的辐射方向线(即像点与等角点的连线)上。由于 α 角总为正值，所以 δ_o 的符号视 $\sin\varphi$ 的符号而变(图 4—21)。当其正弦值为正($\varphi=0°\sim180°$)时，δ_o 值为负，这时像点位移的方向是沿向径向内，即向等角点方向移动；当正弦值为负($\varphi=180°\sim360°$)时，δ_o 为正，则像点移动的方向是沿向径向外，即朝背离等角点方向移动。结果，使水平像片上的矩形图像，在倾斜像片上却变成梯形。它以等比线为界，包含像主点部分的图像变小；包含像底点部分的图像变大。

(4)因 $\sin(180°+\varphi)=-\sin\varphi$，若 r_c 为定值，则对于等角点像点的倾斜误差大小相等且方向相反。这点对计算像片比例尺及其航高具有重要意义。

以上分析，说明了在通常使用的航空像片上，不论是投影误差还是倾斜误差，其像片边缘部分的像点位移都是相当大的。因此，在实际工作中，只有航空像片的中间部分才能使用，这部分是由航向重叠和旁向重叠部分的中线(或距中线不超过 1cm 的线)围成的(图 4—22)，被称为航空像片的使用面积。

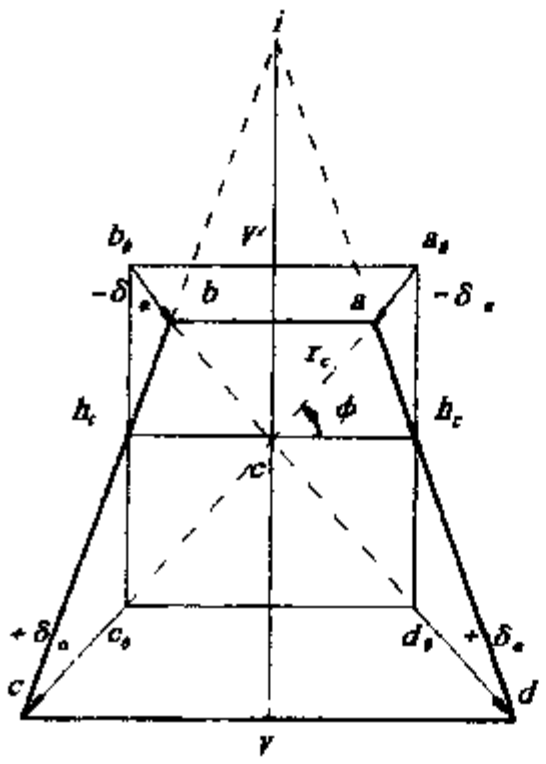


图 4　21　像片倾斜误差规律

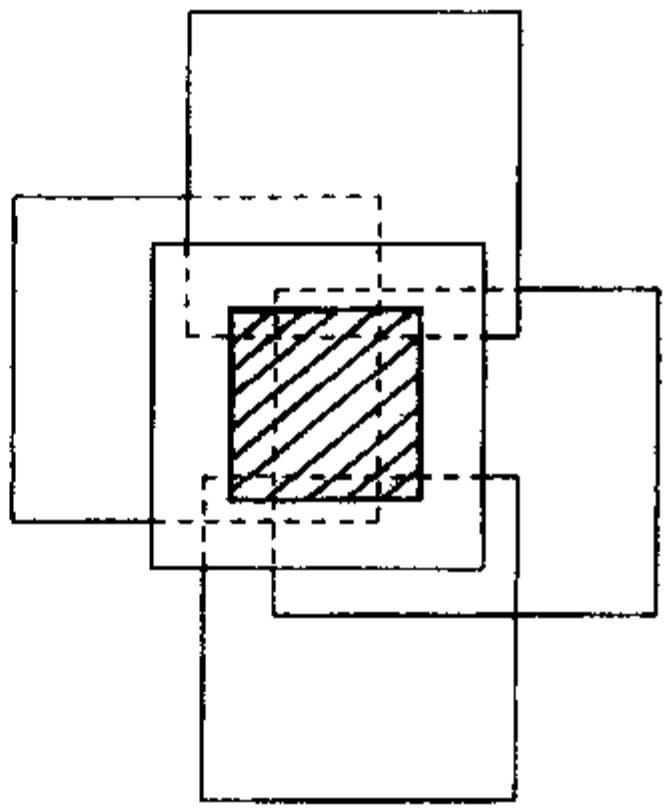


图 4—22　航空像片的使用面积

第四节　航空像片的立体观察和量测

对遥感图像的观察，一般可分为肉眼观察、放大观察和立体观察。肉眼观察是单纯依靠人的视觉能力分辨图像上的被摄目标。然而，由于人的视觉能力具有一定的局限性，因此，对遥感图像上的一些细微目标信息，人眼就难以分辨了。所以，这就要借助于放大镜、显微镜、投影仪等光学仪器来进行放大观察。但这也只能对被摄目标取得观察数量上的增多，而不能获得地形、地物的立体观念。为了获得被摄物体三维空间的立体效应，就需利用立体观察仪器，对两张不同角度拍摄的同一地区像片（立体像对）进行立体观察，以便判断物体的高度、位置，估计地面坡度的起伏，获得更多的遥感信息。可见，立体观察是遥感影像解译工作中必须掌握的一种方法和技巧。

一、立体观察的原理

1. 人眼的构造及其特性

人眼恰似一部能自动调节焦距和光圈的精巧完善的摄影机，从光学的角度来看，它是由水晶体、视网膜两部分构成的（图 4—23）。水晶体相当于摄影机的物镜，它受四周韧带的伸缩作用能改变其表面曲率，自动调节焦距以获得视网膜上的清晰影像。瞳孔类似光圈，可自动调节光量。视网膜能像照相底片一样感光感色，从而产生视觉。在视网膜中部，正对水晶体光心的是黄斑，黄斑中有直径为 0.4mm 的网膜窝，它有密集的锥体感光细胞，是视网膜中感光最强、最敏锐

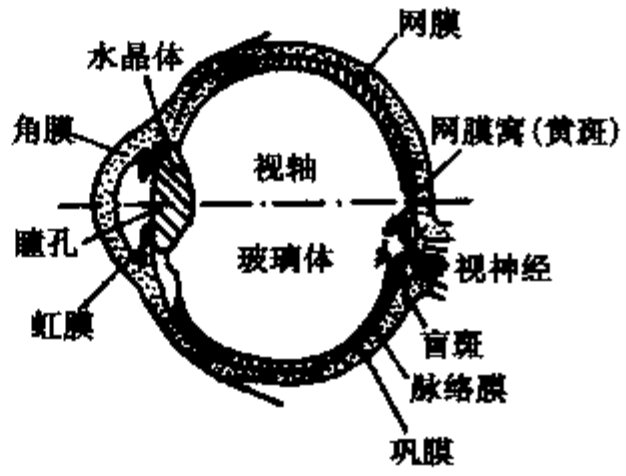


图 4—23　眼睛的构造

的部分，在明视条件下，能精细地分辨出物体的细节和颜色。过网膜窝中心和水晶体光心的连线，称为视轴，它能自动转向人们所注视的视点。

水晶体到视网膜的距离是不变的，在观察物体时，能看清物体细节且又无紧张疲劳之感的情况下，水晶体的焦距为 22.79mm，与之相对应的物距是 250mm。所以，把 250mm 称之为正常视力的明视距离。

眼的视力(分辨率)，是眼睛能够辨认最小物体的能力，通常是用所能判别的最小物体对眼睛张开的角度表示。人眼的分辨率一般是 1′。也就是说，若有两个测点，它们之间的距离在人眼中所形成的夹角小于 1′时，就只能将其看成是一个点而无法区分。

人眼除具有观察物体远近及其大小的几何分辨力外，还有对各种色光的方向、能量、光谱成分和偏振性能等的光谱分辨力。

如前所述，人眼只能感受到太阳辐射光谱中的可见光部分，这种选择性并非视觉器官的缺陷，而是长期对太阳光的适应性所致。假如人眼对太阳辐射波谱的感受范围扩大到红外波段，则其热辐射将会破坏眼睛的组织，妨碍视觉。人眼对红、紫光的感受绝不像对黄、绿光的感受那样敏锐(图 4—24)。假如对黄、绿光的感觉亮度是 1，那末对红、紫光的感觉亮度只有 0.2。所以，人眼看不见红外和紫外光。

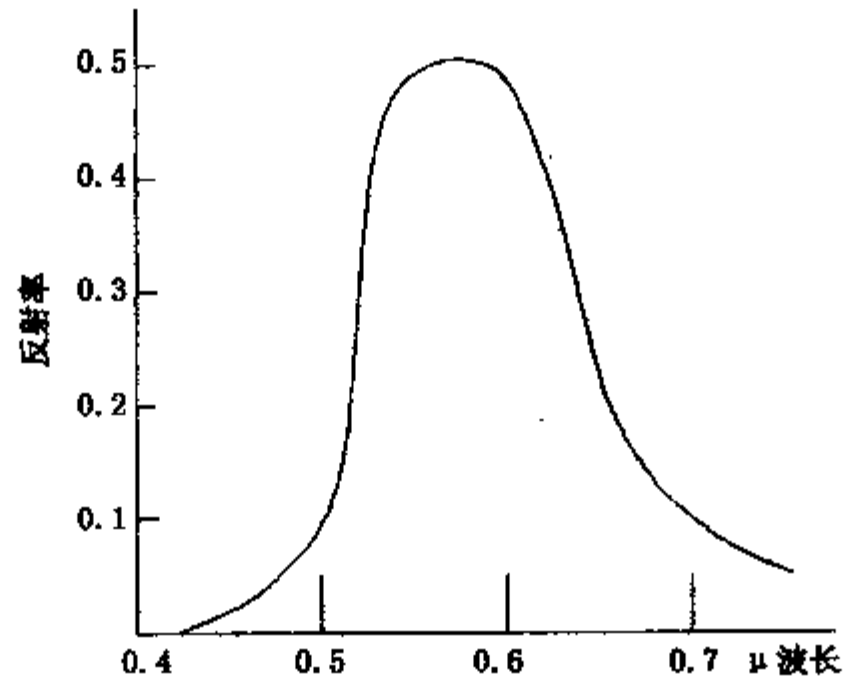


图 4—24 眼视觉的光谱灵敏度曲线

2. 单眼观察和双眼观察

单眼观察和双眼观察物体的区别，在于由单一视轴和双视轴交会所形成的视觉效应不同。

(1)单眼观察　用单眼观察物体时，只有一个眼睛的视轴指向被观察的物体，这时只能分辨出物体的平面形状，而不能分辨物体的远近及其立体形象。如图 4—25，当视轴由 A_1 移动到 A_2 时，物体在视网膜上形成的像点 a_1 移到 a_2，这时只表现为视网膜上的像点 a_3 与 a_2 重合。所以，只能引起眼睛的调节现象，不会产生其平面位置的变化。因此，用单眼观察物体，既不能分辨物体的远近也不能产生立体效应，只能间接地给大脑一个信息，令其凭经验判断物体远近及其立体形象。

(2)双眼观察　用双眼观察空间物体时，既能判断出物体的远近，也能产生立体视觉，

这种现象称之为天然立体观察。双眼观察之所以有这种视觉效应，是因为双眼能自动调节转动，使两视轴交汇于观察点上。两视轴所形成的交会角(视差角)γ 的大小，随物体的远近而变。物体越远，交会角越小；物体越近，交会角越大。之所以双眼观察能区分物体的远近和产生立体形象，主要是由于交会角的改变使视网膜上产生的生理视差所致。

图 4－25　单眼观察

3. 生理视差和立体视觉

双眼间的距离称为眼基线，成人的眼基线一般平均为 65mm，人眼是从眼基线两端点观察物体的。当人的左、右眼分别从眼基线左、右两端点观察同一物体时，因双眼观察角度不同，视网膜上形成的图像也就有所差别，这种差别就称之为生理视差。双眼交会角不同是形成生理视差的基础，所以，交会角又称视差角。图 4－26 说明双眼观察时所产生的生理视差。当双眼观察 A、O、B 三点时，两视轴的交会角分别为 γ_a、γ_o、γ_b。当水晶体将视轴调节在 O 点时，网膜窝中央所获得的像点分别为 o_1、o_2。远点 B 和近点 A 在视两膜上的像点分别为 b_1、b_2 和 a_1、a_2，它们对中心点 o_1、o_2 的弧长为 o_1b_1 和 o_2b_2 或 o_1a_1 和 o_2a_2。图中 o_1b_1--o_2b_2 或 o_1a_1—o_2a_2 就是生理视差。可见，生理视差就是远近不同的物体在两眼视网膜上成像位置的差别。像点位于两膜窝中心左方时，弧长为正；在其右方时为负；恰在网膜窝中心时为零。由图可见，B 点远于 O 点，生理视差小于零；A 点比 O 点近，生理视差大于零。据证实，物体远近不同引起生理视差的变化，不同的生理视差汇集于大脑中就能产生物体形状、大小和空间位置的立体印象。所以，生理视差是产生立体视觉的基础。

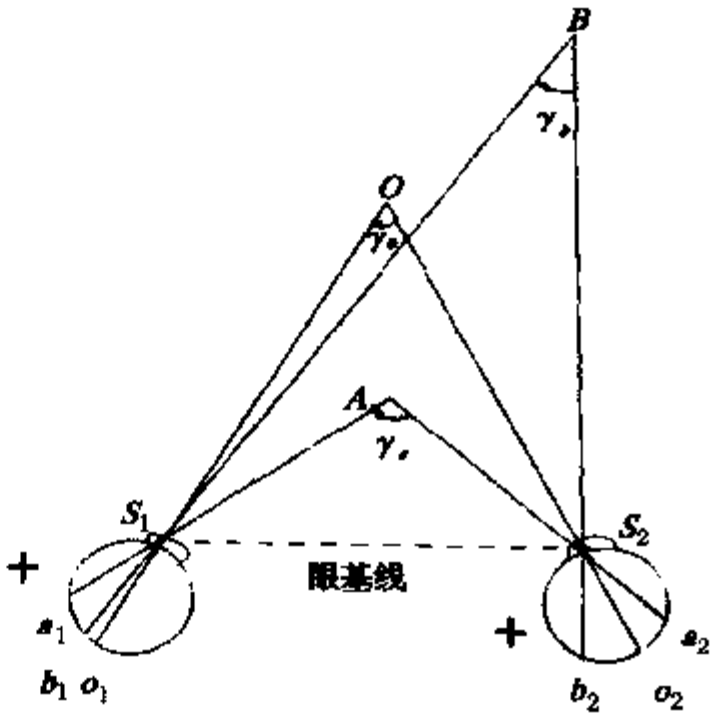


图 4－26　交会角与生理视差

然而，立体视觉是有一定局限性的。实验证明，当交会角小于 30″时，物体在两眼中就会产生完全相同的感觉，这时，人的视觉就无法分辨物体的远近及其立体形象。如图 4－27 所示，b 为眼基线，γ 是交会角，物体 A 与眼的距离是 L，则：

$$tg\frac{\gamma}{2}=\frac{b}{2L} \qquad (4-15)$$

由于 γ 很小，可视为 $\gamma=b/L$，则式 4－15 可改写为：

$$L=\frac{b}{\gamma} \qquad (4-16)$$

设 $b=65\text{mm}$，$\gamma=30''$，将其代入式 4－16 即得：

$$L=\frac{b}{\gamma}=\frac{65\text{mm}}{30''}\approx 450(\text{m})$$

所以，450m 就是人眼能分辨物体远近的极限距离。这就是说，当双眼交会角小于 30″时，就无法分辨两物体的远近。天上的星星尽管远近不同，但在我们看来，其远近都是一样，这正是由于它们的视轴交会角很小所导致的结果。

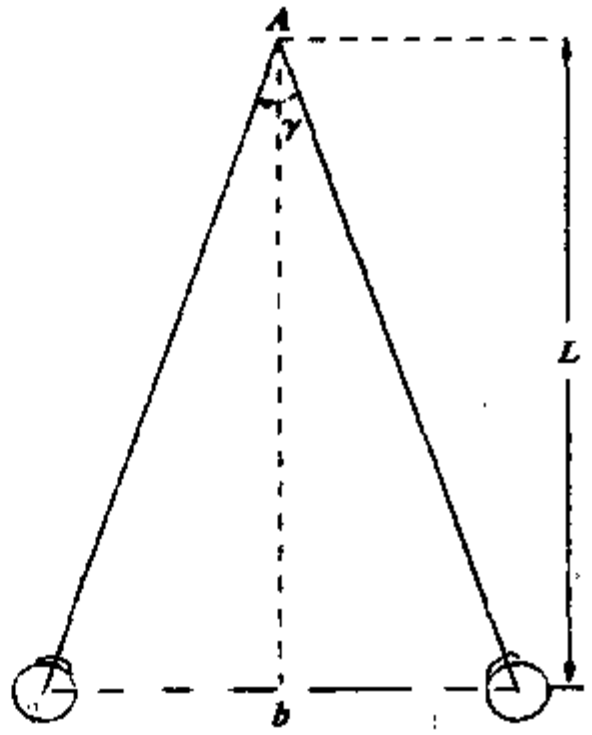


图 4—27　立体观察的局限

4. 立体观察的模拟和必要条件

立体观察是根据眼睛的立体视觉进行模拟的，从遥感工作平台上摄取图像，必须模拟人的双眼从不同角度观察同一物体或地区，才能获得立体视觉。因此，在利用图像进行立体观察时，要求观察的图像必须是立体像对。用以观察的立体像对，还必须符合以下要求：

(1)必须是连续拍摄并具有一定重叠部分的两张图像，而且，只有重叠部分才能进行立体观察。

(2)立体像对必须是在同一高度，且是从两个不同角度对同一地区进行拍摄的，只有这样，才符合立体观察中对生理视差的要求。

像对的立体观察，是用双眼把从相邻两个测站对同一地区所摄得的两张像片，看成是空间的立体光学模型。

如图 4—28 所示，S_1、S_2 为两摄影机的镜头中心，P_1、P_2 为两张像片，a_1'、b_1' 和 a_2'、b_2' 是物点 A、B 分别在两张像片上的像点。现用左、右两眼分别于 S_1、S_2 的位置来看左、右两张像片，各像点在视网膜上的成像为 a_1、b_1 和 a_2、b_2，其相应视线 S_1a_1、S_2a_2 和 S_1b_1、S_2b_2 必然相交，交点就是物点的原位置。且 B 点浮于 A 点之上，产生立体效应，构成了立体模型。

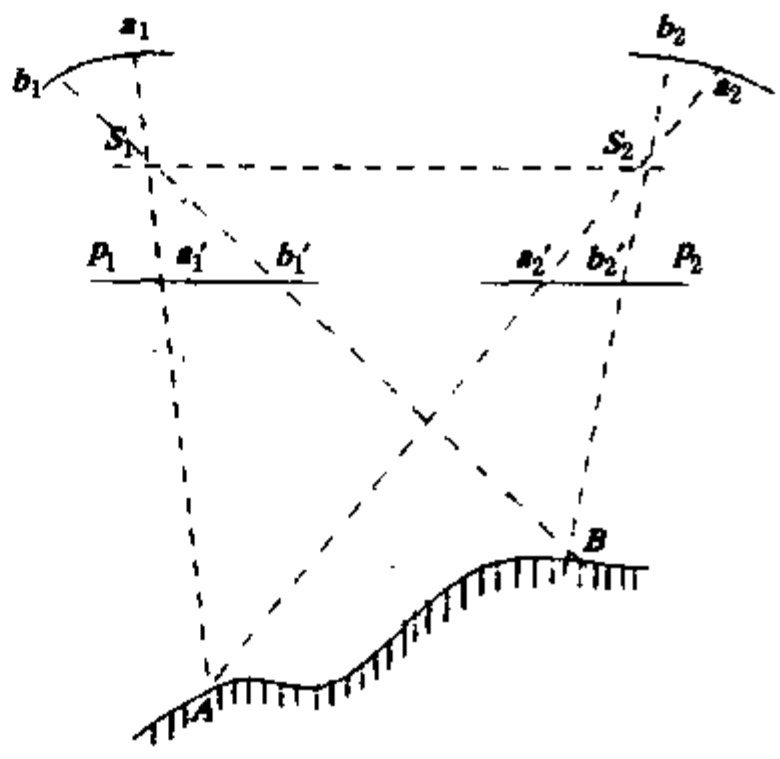


图 4—28　像对的立体观察

为了获得立体效应，在进行立体观察时，必须满足以下条件：

(1)两张图像必须是同一高度，从两个不同的摄影站对同一物体或地区所摄得之像。

(2)两张图像比例尺的差别不应超过 16%，否则两张像片上的同一物体一大一小，会影响其立体效应。

(3)在进行立体观察时，应按成像时的相对位置安放两张图像，且两眼分别看其相应的图像，即左眼看左边的图像，右眼看右边的图像。

(4)眼基线应与图像上的摄影基线相互平行,且使同名地物点的相应视线能成对相交,否则会产生上下视差。上下视差过大,能破坏立体感受。

二、立体观察的仪器及其应用

1. 立体观察仪器

人们已经习惯于用双眼同时观察同一物体,而立体观察却要求同时用左、右眼分别看与之相对应的两张图像,以取得良好的立体效应。这就必须借助于立体镜才能达到这个要求。目前常用的立体镜有两种:

(1)桥式立体镜(透镜式立体镜) 桥式立体镜是将两片透镜安装在镜架上构成的(图 4-29),所以又称透镜式立体镜。透镜具有放大作用(2 倍左右),可使影像更加清晰。通过镜框可以调节两透镜间的距离,使眼基线与透镜基线相等,以适应各人的眼基线使眼睛感觉舒适,不易疲劳。仪器的支架使像片正好在焦平面上,影像的光线经透镜后平行进入眼中,被观察的物体好像位于无穷远处。这种立体镜适用于像幅不大的图像,便于携带,适合野外观察使用。其缺点是视场较小,不能观察沿航线的全部立体面积。一般只能观察像片重叠部分的一半,有时还须将像片的一边卷起来才能进行观察。透镜的放大倍率越大,所能看到的范围越小。

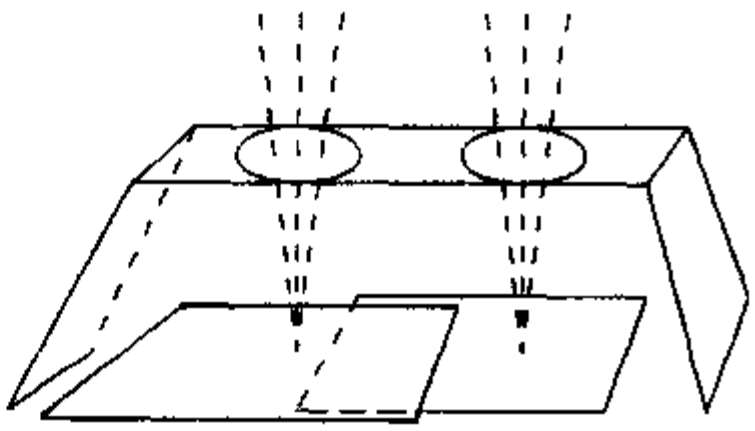


图 4-29 桥式立体镜结构示意图

(2)反光立体镜 反光立体镜是由两片透镜和 4 片两两相互平行而又成 45°角的反光镜组成的。如图 4-30,1 为大反光镜,2 是透镜,3 是小反光镜。透镜具有放大作用;是使

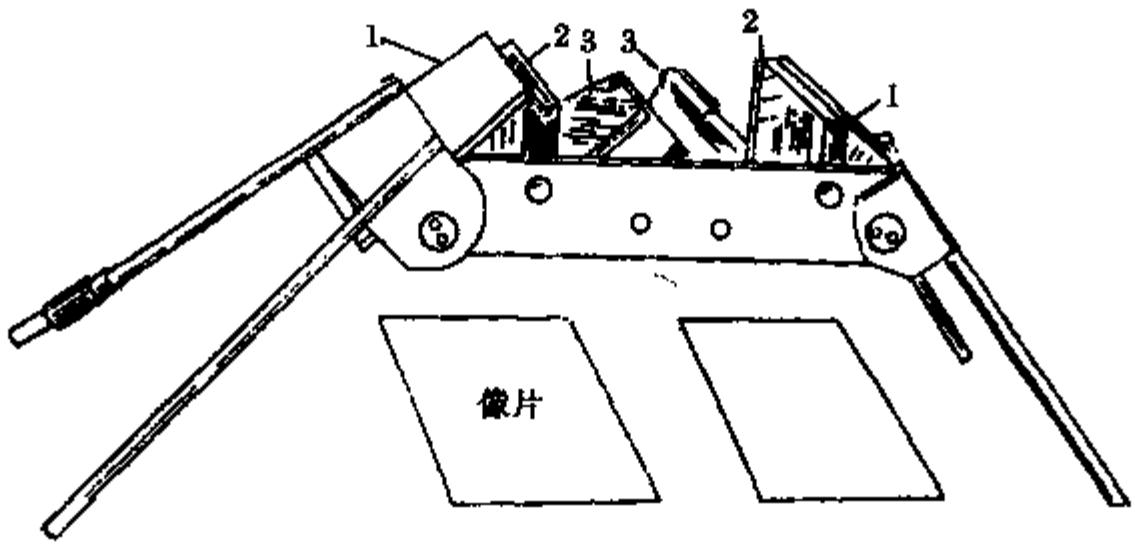


图 4-30 反光立体镜结构示意图

两眼视线分开,分别只看与之相对应的一张像片。具有放大作用的透镜,安装在两片反光镜之间,但也有将其水平装在小反光镜之上的。图 4-31 中,E、E′ 为眼睛,b 为眼基线,B 是两张像片的间距,1 是大反光镜,2 是透镜,3 是小反光镜。其反光的焦距,等于透镜沿光路至像片平面的距离。这样就能观察 20~30cm 的大幅立体像对。如果在上面装上一对显

微镜，还可以调节放大倍率。但装有显微镜的反光立体镜，观察的视野较小。另外，反光立体镜还配有视差杆，可用以测定像点间的高差。

反光立体镜的视野较大，可以观察立体像对图像的绝大部分重叠地段，使用比较方便，尚能在仪器下面进行绘图和使用测量仪器，但携带不方便，不适用于野外工作。

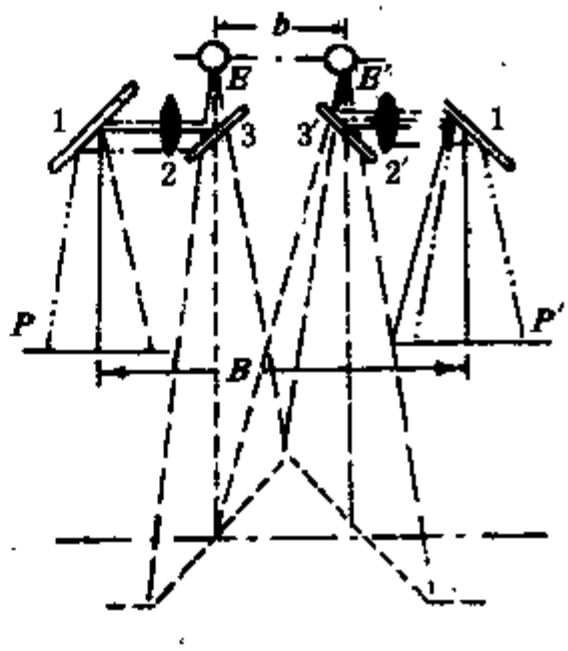


图 4－31　反光立体镜工作示意图

2. 立体观察方法

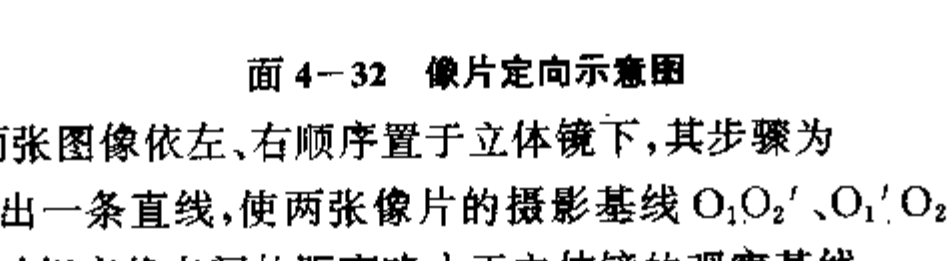
用立体镜进行观察时，可按以下步骤进行：

(1)将像片定向　像片定向，就是确定每张像片上的像主点，并在像片上划出摄影基线。其步骤如下：

①确定每张像片上的像主点 O_1、O_2(图 4－32)。

②转刺像主点 O_1'、O_2' 于相邻像片上。

③划出两相邻像主点的连线 O_1O_2'、$O_1'O_2$，即摄影基线。



面 4－32　像片定向示意图

(2)按要求将两张图像依左、右顺序置于立体镜下，其步骤为

①在图纸上划出一条直线，使两张像片的摄影基线 O_1O_2'、$O_1'O_2$ 与直线重合，并使摄影基线上任意一对相应像点间的距离略小于立体镜的观察基线。

②将立体镜置于像对上，并使立体镜的观察基线与摄影基线平行。

(3)进行观察　用双眼分别观察与之相对应的图像，即用左眼看左像、右眼看右像。观察时，先将一张图像固定，使另一张图像沿基线左右移动，以调整图像间的距离。当两眼感觉到两相同物像在空中完全重合时，凝视片刻，使眼睛调节好观察焦距，就会产生立体效应。

3. 立体观察中的几个问题

在进行立体观察时，能否取得良好的观察效果，不仅和立体观察应具备的基本条件有关，面且还受观察者的观察经验和使用仪器技巧等因素的影响。

(1)反立体效应　在立体观察时，所视物体的立体形象与实地相反，即高山视为谷地，河流看成山脊，原来凸起的部分，却变成凹地，面凹下的部分，又变成凸起，这就是所谓的反立体效应。

出现反立体效应的原因，是没按摄影时的像片位置放置像片，即把左右像片的位置互换，使像点左右视差发生了变化。如图 4－33 所示，当正确放置左右像片的位置时，像点 b_1、b_2 的左右视差值最大，因此，在产生的立体效应中 B 点的位置最高，和实地情况相符(图 4－33A)。但若置放像片不当，使其左右位置互换，则像点 b 的左右视差值变小，使产

生的立体效应中B点的位置最低，就出现如图4－33B的反立体现象。为了避免出现反立体效应，可先将两张图像的重叠部分重叠好后，再将图像左右分开置放。

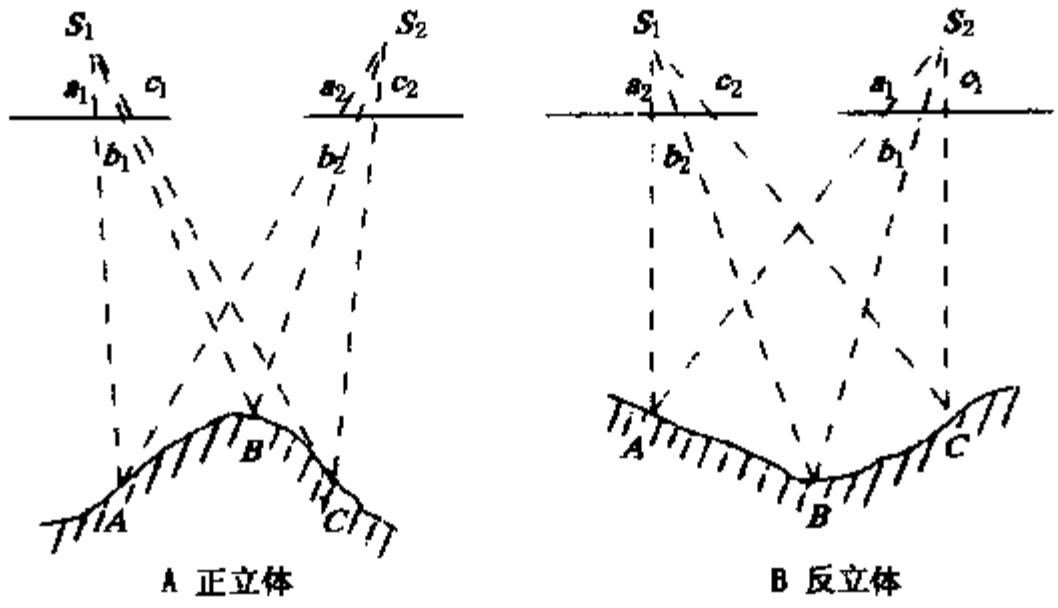


图4－33　正立体和反立体效应示意图

(2)零立体　所谓零立体，是指在立体观察时看到的物体没有高低差别，也就是说没有立体感觉。出现这种情况是由于在放置像片时将图像按成像时的像片位置旋转了90°造成的。在这种情况下，图像上像点的左右视差被消除为零，所以得不到立体感，出现零立体效应。

(3)双影　在立体观察时，两张图像上的影像不能完全重合，产生双影感觉。之所以出现双影，有以下两种情况：

①由于两张图像上相同地物影像的距离大于眼基线，造成同名地物影像的视线不能成对相交，而产生双影。

②由于图像比例尺过大或摄影基线太长，使一些较高物体的顶点因交会角太大，超过了人眼正常立体视觉的限度，因此出现双影。

(4)超高感和立体效应的变形　当使用不同倍数的立体镜对同一目标进行观察，或在观察时改变立体镜左右两镜片的间距，或改变了两张像片间的距离时，都会出现立体镜下所见物体的光学立体模型起伏变化很大，与实际情况完全不符，这种现象称之为超高感或叫立体效应的变形。

产生立体效应变形的主要原因，是图像垂直比例尺和水平比例尺的不一致。衡量立体效应变形的程度，常用超高系数或垂直夸大系数表示。所谓超高系数，就是影像垂直比例尺和水平比例尺的比值。如果比值等于1，则其立体效应和实地相似，立体模型只是实地情况的缩小，不会产生变形，也没有超高感。当垂直比例尺大于水平比例尺时，则立体效应会有超高感，或称之为垂直夸大。如垂直比例尺小于水平比例尺时，立体效应变缓，即看到的起伏比实地地形的起伏要小。

立体效应的垂直比例尺是立体效应高度与实际物体高度之比，其计算公式为：

$$\frac{1}{M_{垂直}}=\frac{S}{H}\times\frac{b}{b_{眼}} \qquad (40-17)$$

式中S为观察距离，即眼基线到像片的距离；在不使用立体镜时，S等于明视距离(25cm)，在进行立体观察时，S为立体镜的焦距，H为航高，b为像片上的摄影基线长，$b_{眼}$

是眼基线的长度。

则超高系数 K 的计算公式为：

$$K=\frac{1}{M_{垂直}}:\frac{1}{M_{水平}}=\frac{S}{H}\times\frac{b}{b_{眼}}:\frac{f}{H}=\frac{S}{f}\times\frac{b}{b_{眼}} \qquad (4-18)$$

式 4—18 说明，立体效应的变形，取决于眼基线、像片上的摄影基线长、观察距离以及航摄仪的焦距。若摄影基线与眼基线相等，其比值为 1，则：

$$K=\frac{S}{f} \qquad (4-19)$$

设航摄仪的焦距为 100mm、立体镜的焦距为 250mm 时，代入式 4—19 即得：

$K=\frac{250\text{mm}}{100\text{mm}}=2.5$ 倍。

这就是说，在立体镜下所观察到的地面起伏与实地情况不符，立体模型被夸大了 2.5 倍。若航摄仪的焦距 $f>250$mm 时，则 K 值变为 $1/n$，也就是由立体效应产生的立体模型地形高度比实际情况要低，坡度变缓为原坡度的 $1/n$ 倍(图 4—34)。

同理，如果航摄仪的焦距 f 和观察距离相等，其比值为 1 时，则立体效应的变形取决于像片摄影基线的长短。亦即当眼基线与摄影基线之比为 $1/n$ 时，立体效应的高度缩小，为原高度的 $1/n$ 倍，反之则夸大。

可见，在进行立体观察时，变动两像片的间距或变动立体镜两镜片的间距，都会引起立体效应的变形。因此，在使用立体镜对遥感图像的观察实践中，必须考虑上述产生立体效应变形的诸多因素之影响，才能得到正确的观察效果和有效资料。

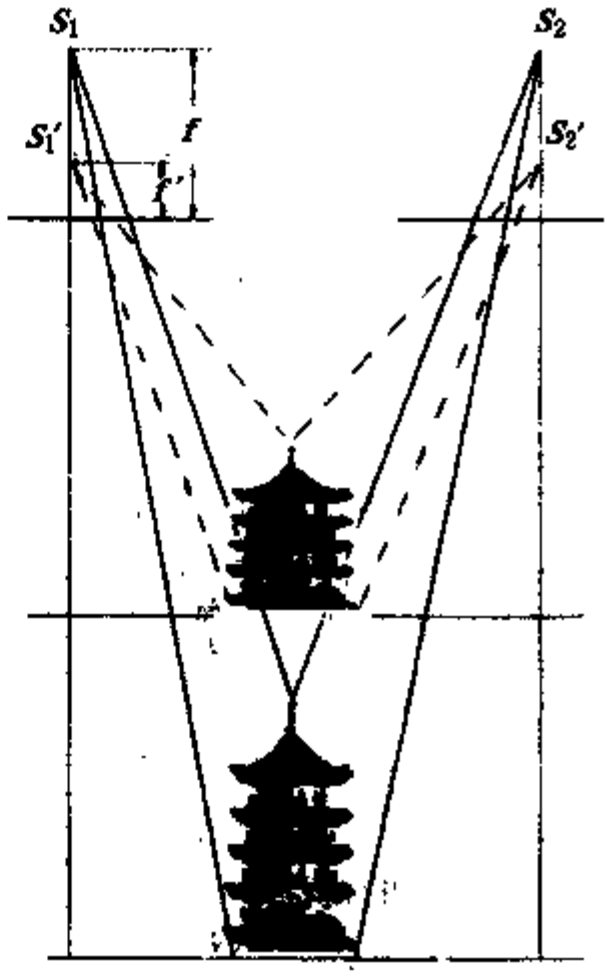


图 4—34　由不同焦距和不同观察距离所引起的立体效应变形

三、航空像片的量测

所有的遥感图像，只要具备了前面所述立体观察和量测的必要条件，都能产生立体效应和进行立体量测。然而，对卫星遥感图像来说，由于其比例尺较小，重叠度较低，虽然也能进行立体观察，但在实际工作中，还很少作立体量测之用；目前，多以航空像片来进行立体量测。有关立体量测的理论和技术，在航空摄影测量学中有专题章节进行讨论，航测部门更有精密的仪器专门用以进行立体量测工作。在此，仅就简易量测像点高差方法的有关问题略作说明，以备简测之需。

1. 像点的坐标及其左右视差

在观察立体像对上同名地物的影像时，可以发现，由于摄影角度不同，同名像点在两张像片上的位置也不同。然面，像片上任意一个像点的位置，都是根据预先规定的直角坐标系确定的。

航空像片上的直角坐标系，是以像主点作为坐标原点的。两张像片上像主点的连线为X轴；过像主点且垂直于X轴的直线为Y轴。所以，在每个立体像对中，具有一个横坐标轴X和两个纵坐标轴Y与Y′（图4－35）。应注意的是，当连续观察第二个立体像对时，其坐标轴又有所变动。因为这时的X轴，是第二张像片和第三张像片上像主点的连线，而不再是第一张和第二张像片上像主点的连线了。因此，在第二张像片上可以有两个不同的坐标轴线。

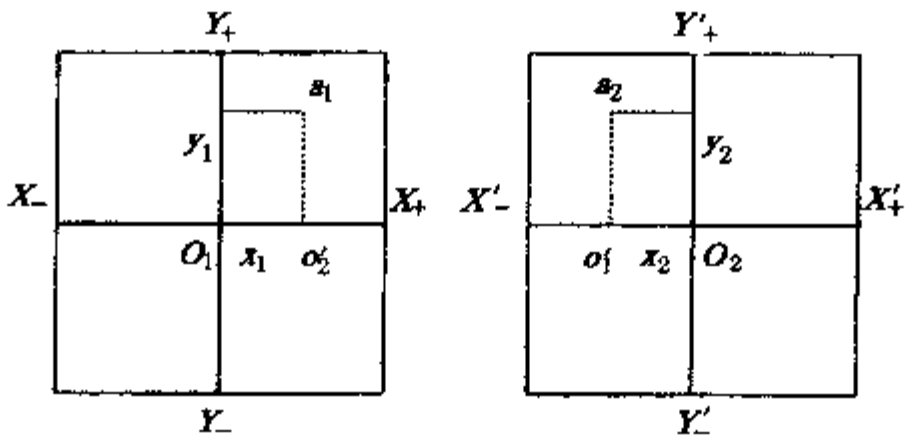


图4－35　同名像点的直角坐标

在一个立体像对中，任意一个像点在两张像片上都能找到X坐标，其值经常是一正一负，在像主点右边的为正，左边的为负；Y值是在像主点上边的为正，下边的为负。所以，一个像点的直角坐标，在一个立体像对中为 x_1、x_2 和 y_1、y_2；其中，x_1、y_1 表示左边像片上像点 a_1 的位置，而 x_2、y_2 是右边像片上同名像点 a_2 的位置。同名像点 a_1、a_2 和X坐标之差称为左右视差（或叫横视差）；而Y坐标之差，称为上下视差。在图4－35中，若 a_1、a_2 分别为地面 A 点在左右两张像片上的像点，那末 X_{a1} 就是A点在左像片上的横坐标；X_{a2} 即其在右像片上的横坐标。像点a的左右视差 P_a 即：

$$P_a = X_{a1} - X_{a2} \qquad (4-20)$$

2. 像点的高差和左右视差的关系

借以进行立体观察和量测的立体像对，是航空摄影模拟人的双眼观察拍摄的。远近不同的物体，在视网膜上会产生不同的物像和生理视差。视网膜窝中心（O），相当于像片上的像主点；像点在视网膜上对中心（O）的一段弧长，相当于像片上的横坐标；同名像点在双眼网膜上所产生的两段弧长之差，相当于两张像片上X坐标之差。因此，如果要测定两个地面点的高差，只要量得左右视差之差，即可求出。左右视差之差称为左右视差较，以ΔP表示，则a、b两个像点的左右视差较，即：

$$\Delta P_{ab} = P_a - P_b \qquad (4-21)$$

式中 P_a、P_b 分别为a、b两点的左右视差。可见，只要从像片上量出a、b两点的左右视差，求出其视差较，再代入高差公式就能算出两点的高差了。

3. 求算像点间的高差公式

在图4－36中，S_1、S_2 为两个空中摄影站，a_1、a_2 和 c_1、c_2 分别是地面A、C两点在同一立体像对两张像片上的影像，$B = S_1S_2$ 为摄影基线，f为航摄仪的焦距，H_A、H_C 分别是A、C两地面点的航高，$h = H_A - H_C$ 是A、C两点的高差。作：S_1a_2' 和 S_1c_2'，并令 $S_1a_2' \parallel S_2a_2$；$S_1c_2' \parallel S_2c_2$；

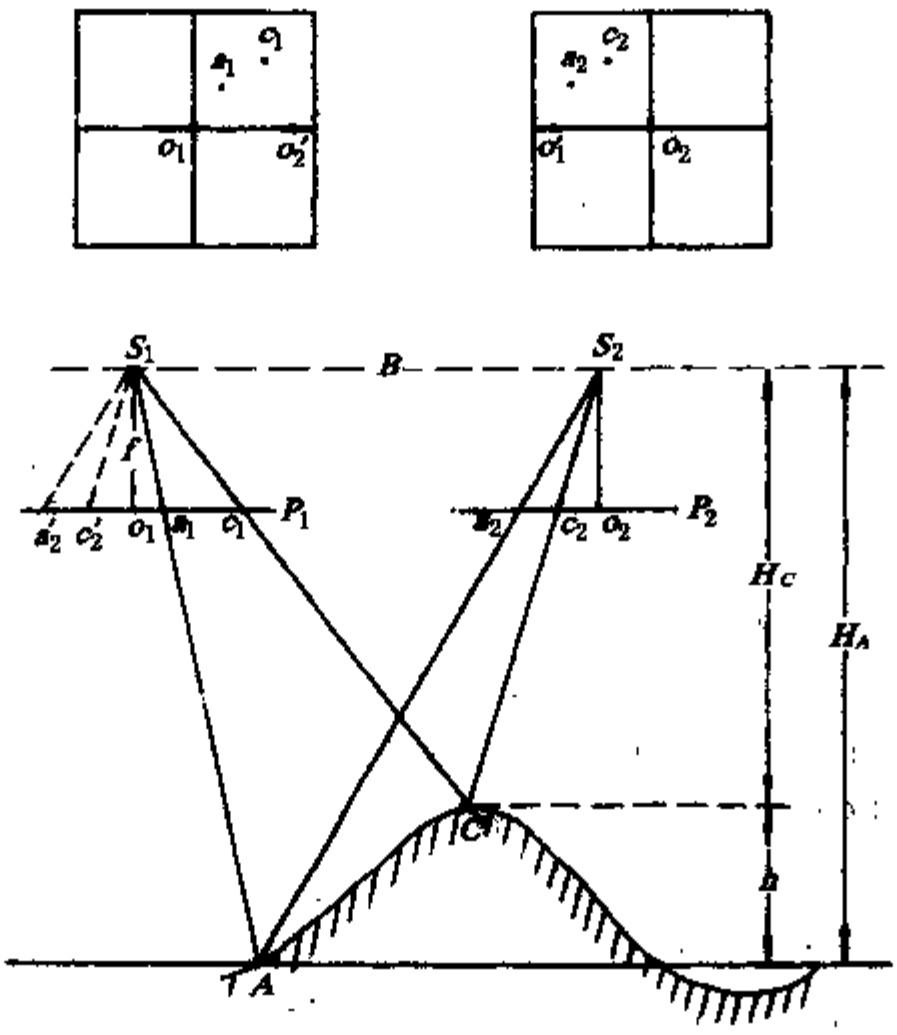


图 4—36　左右视差与高差的关系

则因：　$\Delta S_1 a_1 a_2' \backsim \Delta S_1 A S_2$

$\Delta S_1 c_1 c_2' \backsim \Delta S_1 C S_2$

故：　$a_2' a_1 = \dfrac{Bf}{H_A}$　　(4—22)

$c_2' c_1 = \dfrac{Bf}{H_c}$

又因：　$H_C = H_A - h$

则：　$c_2' c_1 = \dfrac{Bf}{H_A - h}$　　(4—23)

式 4—22 中：　$a_2' a_1 = a_2' o_1 + o_1 a_1$

上式中：$o_1 a_1$ 为像点 a 在左像片上的横坐标，以 X_{a1} 表示；$a_2' o_1 = -o_2 a_2$，$-o_2 a_2$ 是像点 a 在右像片上的横坐标，以 X_{a2} 表示。

则：　$a_2' a_1 = X_{a1} - X_{a2}$

式中 $X_{a1} - X_{a2}$ 是像对上相应像点 a 的横坐标之差，即左右视差，以 P_a 表示，将其代入式 4—22 得：

$$P_a = \frac{Bf}{H_A}$$　　(4—24)

同理，式 4—23 中的 $c_2' c_1 = c_2' o_1 + o_1 c_1$；$o_1 c_1$ 为像点 c 在左像片上的横坐标 X_{c1}，$c_2' o_1$ 为其在右像片上的横坐标 X_{c2}，$c_2' c_1$ 即 c 点的横坐标之差 P_c，故：

$$P_c = \frac{Bf}{H_A - h}$$　　(4—25)

两式相减，得：

$$P_c-P_a=\frac{Bfh}{H_A(H_A-h)} \qquad (4-26)$$

式 4－26 中 P_c-P_a 为 c、a 两像点在像对上的左右视差之差，即左右视差较，以 ΔP 表示。$B\times\frac{f}{H_A}=B\times\frac{1}{M}$ 为像片基线长，以 b 表示，则 4－26 式可写成：

$$\Delta P=\frac{bh}{H_A-h}$$

所以，两点的高差：　$h=\frac{\Delta P\cdot H_A}{b+\Delta P}$ 　　(4－27)

(4－27)式说明，只要知道航高、像片基线长和两点的左右视差较，就能计算出两点的高差。

4. 用视差杆量测左右视差较

视差杆是反光立体镜的主要附件，也叫视差测微尺。它是由视差杆、测标板、测微鼓和手轮等部件构成的(图 4－37)。视差杆是一条刻有以毫米为单位的金属杆；测标板是套合在金属杆上的两片刻有红色“＋”、“○”、“●”等符号的玻璃片。其中，左边的测标板可沿视差杆左右移动，当移至所需位置时，用固定螺旋固定；右侧的测标板，是固定在视差杆套筒上的，当转动手轮时，可使其左右移动改变两个测标板之间的距离。其改变的毫米级数值，可直接从视差杆上读出，小于毫米的数值能在测微鼓上读出。其精度可达 0.01mm，并能估读到 0.001mm。测微鼓的刻度分划有两种，一种是从 0 刻到 50 格，即手轮转动两圈相当于 1mm；另一种是从 0 刻到 100 格，为手轮每转一圈相当于 1mm。

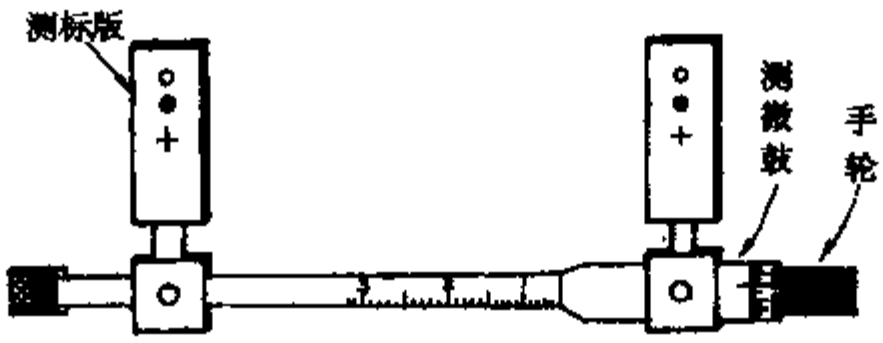


图 4－37　视差杆示意图

用视差杆量测左右视差较时，可按以下步骤进行：

(1)在立体镜下固定像对　首先把两张像片置于立体镜下进行观察，当其形成光学立体模型时，将像对固定。

(2)置放视差杆　在立体镜下，把视差杆置放在像片上。安放时，杆身应和基线平行并使左侧测标板对准相应地面 A 点的像点 a_1，再转动手轮，使右侧测标板对准同名地物的像点 a_2，让两测标板上测标的间距约等于像对上同名像点的间距。

(3)量测像点的左右视差较　使左测标对准像点 a_1，转动手轮调节右测标，使其对准 a_2。当在立体镜下看到两测标的标志相互重合，并与地面模型上相应的地面点相切时，读取数据 P_a；然后，移动视差杆至另一像点 b_1、b_2 上，同法读取数据 P_b。则这两次读数之差就是量求的左右视差较 ΔP 将其代入式 4－27，即可计算出地面 A、B 两点的高差。

应该指出的是，用视差杆量取的左右视差和据此计算出来的高差，精度都不高。因为除仪器本身的缺陷外，高差公式是根据航摄仪光轴垂直、像片水平、摄影基线位于同一水

平线上的理想条件下推算出来的。但在实际摄影过程中，要完全符合这种理想条件是很困难的。所以，根据视差所求取的高差只是其近似值。因此，航测部门一般是采用与视差杆原理相同的精密立体量测仪器（如地形立体量测仪、多倍仪等）来作测定的。然而，若对精度要求不高，又没有精密量测仪器甚至连视差杆都没有的情况下，还可用更简易的三棱尺等代替视差杆进行量测，这样虽不能保证应有的精度，但求其近似值还是可以的。

四、岩石产状的量测

对地质体内所包含的岩层层面、断裂面以及侵入体接触面等各种类型的面状要素，在遥感影像上都能较为清晰地反映出来。虽然这些面状要素的成因、规模、形态和产状等各不相同，但都可以将其作为一个几何平面，并以走向、倾向、倾角等产状三要素来表示这个平面在空间的产出状况和特征。在航空像片上，确定产状要素的方法很多，这里仅就常用的三点法说明用反光立体镜及其视差杆对岩层产状的确定和量测。

三点法，是在山谷中同一岩层露头（一个岩层三角面）上，选取两个高点一个低点（或两个低点一个高点），并根据其间的高差来确定岩层产状的方法，其工作步骤可按以下程序进行：

1. 确定航空像片的方位和比例尺。

2. 在立体镜下观察到的立体光学模型内，从露头良好的地段（如山谷中）选定一个岩层三角面（长约 1cm 为宜），并于其上选取 3 点，其中两点选在山谷的相对两坡同一岩层上，是相同高度的露头点 A、B（图 4－38），另一点，选在低于 A、B 两点“V”字形的尖端。

3. 作 A、B 两点的连线 AB 即岩层的走向线。根据像片的方位，量出岩层走向线的方位角，就确定了岩层的走向。

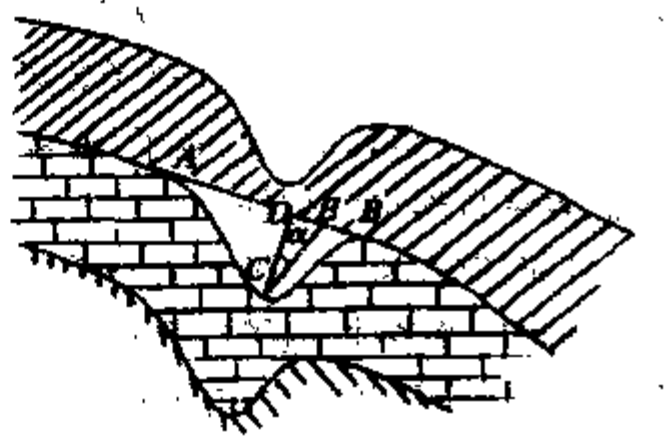


图 4－38　在像片上确定岩层产状要素示意图

4. 过 C 点作 AB 走向线的垂线 CD，则 CD 即岩层的倾向线，其方位可量取之。

5. 用视差杆量测 C 对 A（或 B）点的高差 h_{ca}（或 h_{cb}）。

6. 从岩层倾向线和走向线的交点 D，作 DE 线，并使 DE 等于按像片比例尺计算出的 CA 之间高差 h_{CA} 之长。

7. 连接 E、C，则 EC 与倾向线 CD 间的夹角∠ECD 就是该岩层的倾角，以 α 表示。倾角的大小可用量角器量出，也可按比例尺量算出 DC 之长后，代入下式求算：

$$tg\alpha=\frac{h_{ca}}{DC} \qquad (4-22)$$

由式 4－22 可知：　$\alpha=tg^{-1}\frac{h_{ca}}{DC}$ 　　(4－23)

上述产状量测的方法，原则上也适用于求遥感图像上其他几何面的产状要素。

第五章

航空像片的地理解译

航空像片，是地物以一定的色调和形态特征所表现出来的影像，是被摄区域地表景观现象的综合缩影，它真实、客观地记录了地理环境诸要素的综合信息。根据航空像片上所反映的地物影像来识别地物的性质、类别、数量特征，并进而研究其发生、发展与分布规律，是遥感地理学的中心任务。

然而，以俯视为主的航空像片影像和人们已习惯了的侧视物体形象差别太大，加之由投影误差和倾斜误差所造成的像点位移与变形特点，更增加了识别被摄物体的难度。所以，对航空像片的地理解译，就应当有一个训练和改变观察习惯的适应过程。

当然，航空像片的地理解译效果，除取决于航空像片的质量外，解译人员的专业水平和解译经验就是其决定因素了。通常，专业知识越丰富，解译经验越多，对影像的判别也越准确，效果自然也就越好。

目前，航空遥感图像虽有普通黑白像片、黑白红外像片、彩色红外像片、多光谱像片以及雷达像片等多种，但黑白像片仍是航空遥感中使用的基本图像资料。本章就以普通黑白像片的解译原理和方法作为介绍重点分述于后。

第一节　航空像片的地理解译方法

一、航空像片的方位及其注记

航空像片是航空摄影的最后成果。目前，我国第一代航空像片已基本摄制完成，其像幅多为 18×18cm、23×23cm 和 30×30cm 等 3 种。

通常，在航空像片的四边和四角，都附有一些摄影状态的记录，称之为注记。其格式如图 5－1 所示。

1. 框标

航空像片四边中部的黑色箭头或像片四角的“×”标志，称为框标。两个对称框标连线的交点为像片的中心点，该点称为像主点，它是一幅航空像片的坐标原点。

2. 压平线

用苏制 AΦA－37 型航摄仪所摄的我国第一代航空像片，在其四边都有 4 条井字形直线，称之为压平线。它是用来检查摄影时底片是否已被压平用的，其弯曲度说明摄影时

由于感光胶片未被压平而产生的影像变形情况。新式航摄仪，能保证底片处于压平状态，所以航片上不再有这 4 条压平线。

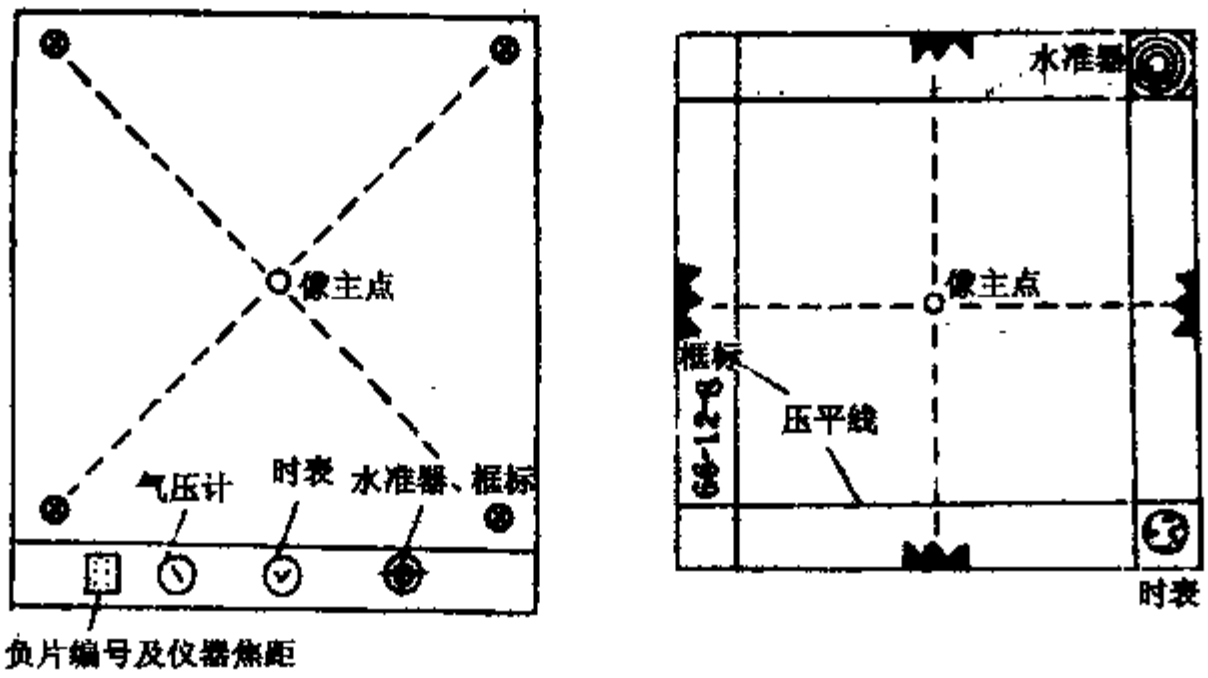


图 5—1　航空像片的注记示意图

3. 水准器

用于记录摄影瞬间像片的倾斜方向和倾斜角度。用间心圆表示度数，读数从中心算起，每圈为 1°(或 0.5°)，水准汽泡居中时为水平。一般垂直摄影要求倾斜角不超过±2°。由于汽泡总是偏向高的一侧，所以根据汽泡偏离方向就能判断摄影瞬间的倾斜方向。

4. 时表

用于记录本张像片的摄影时刻和据此判定像片的方位。

5. 气压表

用于记录摄影瞬间的气压或高程。据此可知像主(底)点的航高。

(6)像片编号　表示航摄区的位置、摄影时间、本张像片在整个图幅及本条航线内的顺序。像片编号是在航摄完毕整理资料时，以反体字形写在底片的药面上，晒印成像片后成为正体字形注记在像片周边的。

7. 其他

如航摄仪的类型、仪器出厂号和镜头焦距等，在像片周边都可找到。

航空像片的方位，是借助于时表记录的时刻和地物阴影倒向判定的。其方法如下：

1. 将航摄瞬间的时刻先换算成地方时。

2. 以时表短针(时针)对着阳光入射方向，即使时针与地物阴影成一直线。

3. 时针与表盘 12 点刻划间的夹角平分线，即南北方向线(图 5—2)。在北半球，锐角平分线所指为南方。

图 5—2　用时表和阴影倒向判求真北方向

二、航空像片的地理解译标志

航空像片的地理解译标志，是地理事物本身属性在像片上的表现，它反映了地理事物所固有的基本特征。根据这些特征，就能从像片上直接辨认出它所代表的地理要素。因此，航空像片上的影像特征也就成为对航空像片进行地理解译的标志。

地理解译标志，可分为直接解译标志和间接解译标志两类。直接解译标志，是地理事物本身属性在图像上的直接反映，如影像的形状、大小、色调和色彩、阴影、影像的结构及其图案花纹等等。间接解译标志，是通过与之有联系的某些地理事物在影像上反映出来的特征，来推断另一地理事物的本质属性。例如，通过地貌形态、水系格局、植被分布、土地利用以及人类活动等影像特征可间接地推断出被摄地区的岩性与构造状况等。

对航空像片的地理解译，正是根据这一系列的直接与间接解译标志经分析、判断后得出结论的。

1. 直接地理解译标志

(1)形态及其大小　任何地物都具有一定的几何形状和大小，这种形态和大小特征在航空像片上也必然有相应的反映。不过，航空像片上地物影像的形状和在一般风景照片上看到的有所不同。风景照片上的地物形状和我们日常生活中看到的一样，都是地物的侧面；而航空像片上所表现的却是从空中俯瞰地物顶部的形态。例如，居民点的房屋一般是规则的长方形、河流是弯曲的带状，树木却呈现出最大树冠形态的轮廓；公园中的楼台亭阁具圆形或多边形的特殊形态特征。有些地理事物本身所特有的形态，如火山堆、岩脉、岩层的层理、构造以及发育完好的溶岩地貌、阶地、洪积扇等，在航空像片上反映得非常明显，据此，可直接判定其属性类别。

实际上，地物影像的形态和大小受其所处地理环境、在像片上的位置以及中心投影规律的影响有所变形。平原地区，高差不大，地物基本处于同一平面上，其影像不会变形，与实际情况基本相似；但在高差较大的山区，物体的影像形状则随其高度和距像主点远近发生畸变。高差愈小，离像主点愈近，地物影像的形态变化愈小；反之，影像畸变愈大。例如，对称的山坡，在像片中心的影像是对称的，但在像片的边缘部分，却呈现出不对称形态(图 5—3)。又如，单株树木在像片中心的影像是最大树冠的形态，但在像片的边缘所反映出的却是其侧面形状。

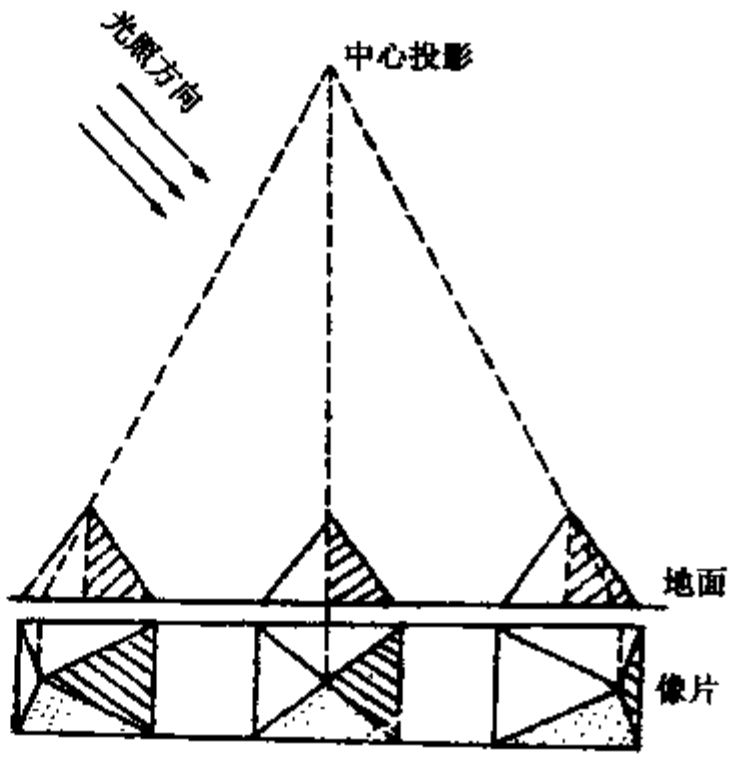


图 5—3　坡向对称的山体在像片边缘部分发生变形示意图

地物影像形状的这种变化，给初学者进行航片解译带来许多不便，但同时也带来了一些有用信息。一旦掌握了中心投影的特点和规律，就能使解译者从影像形态的变化更全面地判别地物的本质属性及其类别，顺利完成解译任务。

从另一角度出发，一幅航空像片所反映的具有不同形状和大小的地理事物，又不外是由不同的点、线、面、体等几何要素所组成的。所以，在航空像片上所呈现出来的不论是地质上的形、地貌上的形还是地物上的形，都和抽象概括出来的几何要素上的体形、面形、线形之间有密不可分的内在联系。因此，通过识别这些形状、大小的差异，区分其高低、曲直、陡缓、宽窄，加之色调及其组合特征，判别影像所反映的千差万别的地理事物以区分其类别，是地理解译的一种重要手段。

根据地物影像的大小，既能求得地物的数量特征，又有助于判定其属性。例如，单轨铁路和双轨铁路，单从影像形状上是分辨不出来的，但若量算其宽度，就易于区别了。

判定地物大小，取决于像片比例尺。只要知道了像片比例尺，按下式计算即可：

$$L=1\times M \qquad (5-1)$$

式中 L 为地物的实际大小；1 是相应地物在航片上的大小；M 为航片比例尺的分母。

在航空像片上能够辨识地物的最小尺寸，与航片比例尺和人眼的分辨率有关。人眼分辨率一般是 0.1mm，若在 1∶25 000 的航片上，用肉眼观察时，其理论上的最小判读尺寸是 2.5m。若用放大镜或立体镜观察，其最小判读尺寸可相应放大。通常，对形状、大小标志的判读，多借助立体镜进行观察，这样可取得三度空间的概念。

(2)色调和色彩　色调是地物亮度在黑白航空像片上所表现出来的黑白深浅程度。航片上的色调从白到黑是逐渐变化的，其深浅以灰阶(灰标、灰度)表示，在目视解译中，一般将其划分为 10 级，即白、灰白、淡灰、浅灰、灰、暗灰、深灰、淡黑、浅黑和黑。

通过地物与其周围环境的色调差异，不仅能辨识不同形状的有形地物，面且，对解译类似土壤干湿程度、沙土分布范围、物体的温度差别以及地物对电磁波反射能量的大小等一些没有外部形态的地理事物和现象，更有特别重要的作用。当然，根据航空像片上的色调进行目视解译，对地面绚丽多彩自然界的细微部分，是很难清晰区别的；然而，如果有色彩的话就能较为容易地将其区分开来。故而，彩色照片在地理解译中越来越多地显示出了它的重要意义。所以，色调和色彩也就成了重要的地理解译标志。

航空像片影像所反映的是地表自然综合景观，因而，彩像上的色调也必然是地物光谱的综合反映。所以，影像色调的深浅，往往与解译物的地面实测结果不符，其原因在于地物影像色调受下列因素的影响。

①地物本身的颜色：航空摄影所使用的普通黑白底片是全色片，它对各种天然色彩都能感光，但感光程度不同，所以像片上的色调也就不同。不论是彩色体还是消色体，在全色像片上都是以灰阶表示的。表 5－1 列出了各种彩色体和消色体在航空像片上的色调。

表 5－1　物体本身颜色与像片上影像色调的对比

彩色体的原生色调	消色体的电磁波特征及其原生色调			像片影像的色调			
	吸收率%	反射率%	原生色调	灰阶	标准色调	变色色调*	
						Ⅰ	Ⅱ
白	0～10	90～100	白	1	白	灰白	白
淡　黄	10～20	80～90	灰白	2	灰白	淡灰	
黄、褐黄、深黄	20～30	70～80	淡灰	3	淡灰	浅灰	灰

橙黄、浅红、浅蓝	30～40	60～70	浅灰	4	浅灰	灰	
红、蓝	40～50	50～60	灰	5	灰	暗灰	
深红、紫红、深蓝	50～60	40～50	暗灰	6	暗灰	深灰	深灰
淡绿、绿、紫	60～70	30～40	深灰	7	深灰	淡黑	
深　绿	70～80	20～30	淡黑	8	淡黑	浅黑	浅黑
墨　绿	80～90	10～20	浅黑	9	浅黑	黑	
黑	90～100	0～10	黑	10	黑	黑	黑

*变色色调Ⅰ、Ⅱ是指洗印过程中的曝光时间过长、过短和其他原因所引起的色调变异。

②物体的反光能力：地物本身的反光能力越强，在影像上的亮度也就越大，色调则越浅。例如新鲜白雪和干沙的反光能力都强，所以其影像色调为白色或浅灰色；湿粘壤土和森林的反光能力弱，其影像则呈现出暗色调。

③地物的表面结构：同样颜色的物体，由于其表面结构（糙度）不同，对光的反射能力则有所差别，所以在像片上反映出的色调也不相同。平滑表面比粗糙表面反射光的能力强，在像片上的色调就浅。例如，耕地间的小路，其表面较耕地平滑，色调就比耕地浅。

自然界中各种地物的表面结构，一般可归纳为3类：

平滑表面：平滑表面具有镜面反射性质。投射其上的光，按一定方向反射出去，入射角等于反射角。例如，平静的水面就是平滑表面。在一般情况下，影像上的水体呈现黑色，但当反射光线恰好射入镜头时，则像片上的水体影像就呈现出白色了。

粗糙表面：无光泽的粗糙表面，对入射光具有漫反射性质。投射其上的光线，能被均匀地散射到各个方向。所以，不管从哪个方向射入镜头的光线，其表面亮度都相同，故在影像上反映出的色调也较均匀。例如，耕地、割草地等，在航空像片上总是呈现出均匀的灰色色调。

起伏不平的表面：自然界中绝大多数的地物都具有起伏不平的表面。它们在航空像片上的影像色调，是随光照方向和摄影方向的改变而变化的。当光照方向和摄影方向一致时，像片上所呈现的是地物受光面的影像，色调浅；当摄影方向与光照方向相反时，像片上所呈现的是地物背光面的影像，色调深；当摄影方向与地物顶部中轴线在一条直线（垂直）时，像片上所呈现的是地物的光亮部分和阴影部分各半的影像，色调明暗分明，界线清晰，影像的立体感较强。

④地物湿度的大小：形态、结构相同的同类地物，由于湿度不同，也会导致影像色调的明显差异。例如，田间土路在像片上一般呈现为浅色色调，但如雨后地面积水，其影像就成为暗色色调了。再如农田土壤，在未浇水前的影像色调浅；若经灌溉注水后，湿度加大，色调变深（暗）。所以，色调变化是解译土壤湿度的一个有效标志。

⑤风化作用：在一般情况下，类似易于风化的超基性岩等地质体，经风化作用后其影像色调变浅；但也有一些岩石经风化作用后其影像色调变深。例如，石灰岩经风化后由于淋溶作用使其空隙、裂隙增多，地表粗糙度加大，造成影像色调变深。

⑥土壤植被：土壤颜色的深浅，是影响影像色调的直接因素。其颜色较深者，影像色调也深，反之，色调也浅；有植被覆盖地区，在可见光像片上的影像色调变深；植被稀少、透光较好地区的影像色调较浅。

⑦摄影季节：太阳高度角的季节变化，导致光照和物候条件的不同，由此也可引起影

像色调的很大变异。例如，在春季拍摄的像片上，因当时光照弱，植物刚刚萌发，故其影像色调较浅；而夏季拍摄的像片，则因当时光照较强、植被茂盛，其影像色调就深。所以，在进行像片的地理解译之前，应当先了解拍摄像片的时间。

此外，如像纸、洗印技术等，对影像色调都有一定的影响。所以说，影像色调是受多种因素制约、变化较大的一个不太稳定的解译标志。但在同一张（或同一批）像片上，其影像色调还是可以进行对比，有其解译价值的。

（3）阴影　阴影是大家所熟悉的现象。在日常生活中我们经常利用阴影判断物体的形状和大小；同样，对航空像片进行地理解译时，地物的阴影也是非常有用的标志。由于航空摄影大多为垂直摄影，不易观察到地物的侧面，但借助于地物的阴影就能弥补和克服这种缺陷。阴影除有助于识别被摄物体的侧面形状外，还能帮助我们测量地物的高度、判定地物的方位。

地物的阴影在像片上具有不同的形状、大小、色调和方向。它可分为本身阴影（本影）和投落阴影（落影）两部分。

本影是地物未被阳光直接照射到的阴暗部分。它有助于我们获得地物的立体感，对地质、地貌的解译特别有用。例如，由于地貌起伏不平，使山体出现阳坡和阴坡。阴坡是山体的背阴部分，即本影，色调暗；而阳坡是山体的向阳部分，色调就亮。地形起伏越大，明暗差别也越大。明暗色调的分界，就是山脊线、山谷线和冲沟边缘等地形的分界部位。

落影是地物投射在地面上的影于。它可体现地物的真实形状，帮助我们判别地物的性质和度量物体的高度。例如，圆形的水塔、树冠、烟囱等，在像片上都呈圆点状，仅凭此据是很难区分它们的，但利用落影就能比较容易地把它们区别开来（图 5－4）。借助阴影还可以判别楼房的层数、桥梁的结构、孔数、性质等。尤其是在太阳高度角为 45°时，航片上地物落影的长度恰好等于物体自身的高度（图 5－5）。地物高度与其影长、太阳高度角的关系可用下式表示：

$$h=T\mathrm{tg}\alpha \qquad (5-2)$$

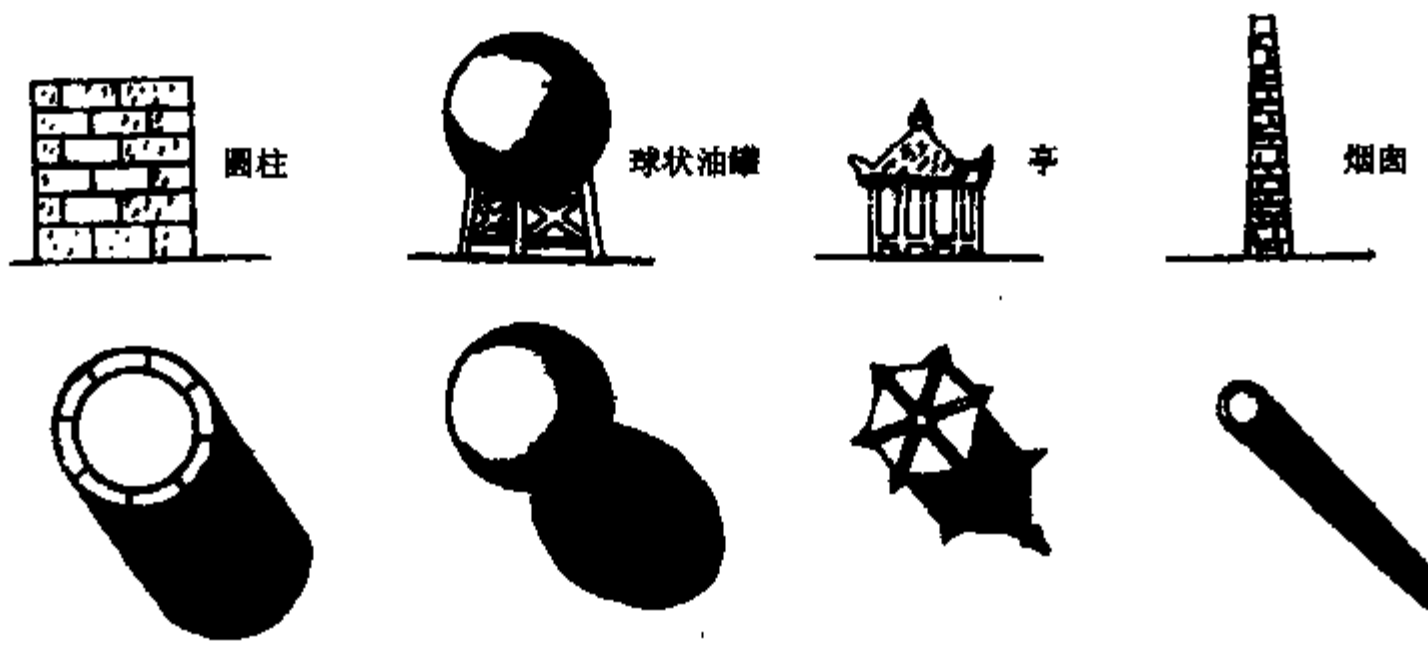


图 5－4　顶部投影形状相似侧面影状不同的地物影像特征

式中 h 为物体的高度，T 为影长，α 为太阳高度角。阴影的长度和方向，随摄影日期、时间和摄影地区的地理纬度而变，其值可直接从航片影像上量出，它受太阳赤纬、地理纬

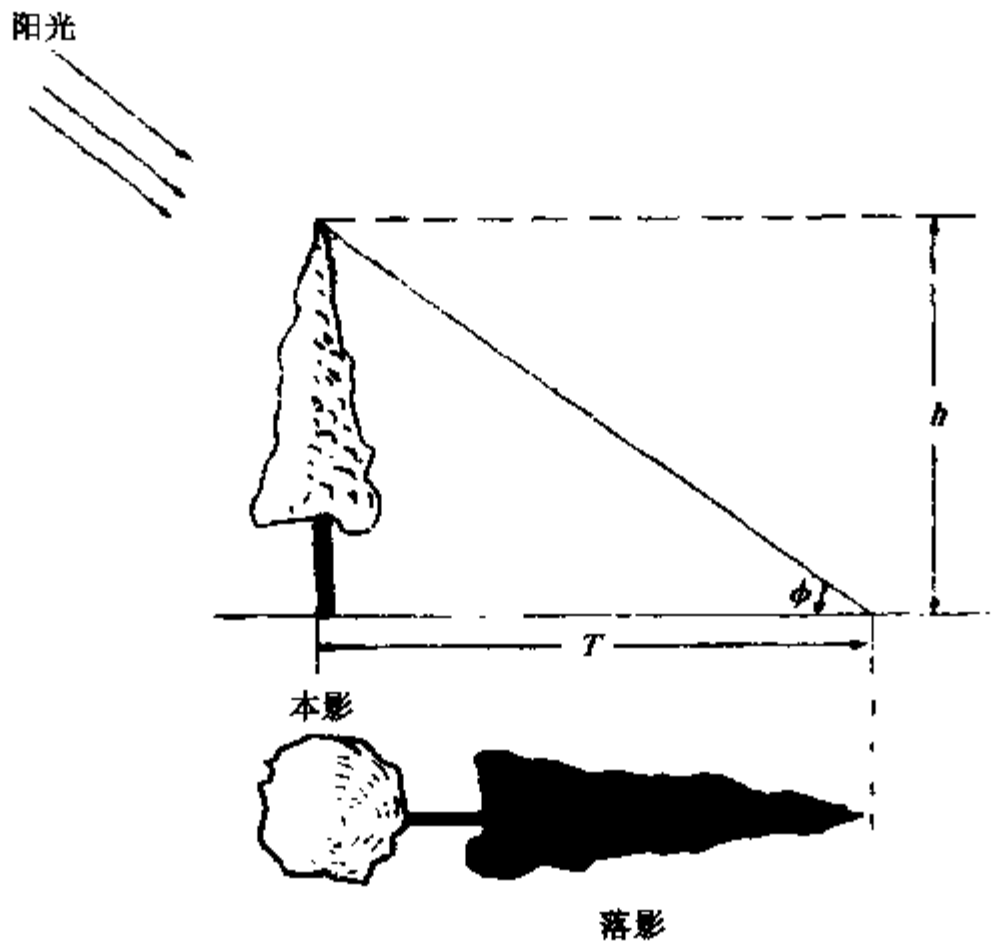


图 5—5　根据落影长求算物体高

度和太阳时角 3 个因素的影响。若已知摄影地区的地理纬度、太阳赤纬和太阳高度角，就可根据下式推算出当时、当地的太阳高度角：

$$\sin\alpha=\sin\delta\sin\varphi\pm\cos\delta\cos\varphi\cos t \qquad (5-3)$$

式中 α 为太阳高度角；δ 为太阳赤纬，可根据摄影日期从太阳赤纬表中查出；φ 为摄影地区的地理纬度；t 为太阳时角，即摄影时太阳直射经度和摄影地区经度之差。当太阳赤纬和摄影区的地理纬度南北相同时，取公式中“＋”号，南北相反时用“－”号。

应当注意的是，地形起伏不大的地区，在低太阳高度角的航片上能较好地分辨出微地形。但在地形切割很大的高山峡谷区，低太阳高度角航片上的沟谷全部被阴影覆盖无法解译。一般太阳高度角在 30°～40°之间对解译工作最为有利。所以，在选择航片时必须充分考虑工作区的地理纬度、太阳高度和摄影日期以应解译之需。

另外，在红外和雷达像片上也有阴影，但与可见光的阴影性质不同。它们所代表的分别是温度较低和微波因受阻挡无法直射抵达的地段。

(4)图案纹形　当地物较小或航片比例尺较小时，有很多细小的地物难以直接将其个体识别出来，但从性质不同地物所组成的图案纹形特征上却可判别出不同的地物群体。例如，在中小比例尺的航片上对阔叶树和针叶树的树冠形态很难区分，但若借助于森林图案纹形的组合特征，就能分辨出阔叶林、针叶林或杂木林来。图案纹形一般可用点状、条状、链状、格状、栅状、环状等来描述(表 5—2)，并可进一步以粗疏、中等、细密、宽窄等加以细分。

表 5—2　图案纹形分类

纹形类型	类　　别
点	粗点、细点、稀点、密点、显点、隐点、圆点、星点、白点、黑点。
斑	粗斑、细斑、稀斑、密斑、显斑、隐斑、圆斑、方斑、不规则斑点、白斑、黑斑、斑块。

条、线	粗条(线)、细条(线)、疏条(线)、密条(线)、宽条、窄条、长条(线)、短条(线)、弧线、放射线、平行线(条)、斜交线、环状线、指纹线。
格	粗格、细格、宽格、密格、方格、菱形格、网格、鳞格、条格、格块、不规则格状。
纹	粗纹、细纹、疏纹、密纹、显纹、隐纹、粗点纹、细点纹、粗斑纹、细斑纹、指状纹、平行纹、羽状纹、梳状纹、树枝纹、放射纹、环状纹、波状纹、曲线纹、断线纹、紊乱纹。
垅	粗垅状、细垅状、蠕虫状、垅条、整齐垅状、不整齐垅状、似垅状。
链	粗链状、细链状、折链状、网链状、垅链。
栅	粗栅状、细栅状、格栅状、显栅状、隐栅状、断续栅、栅垅、平行栅、洇染栅状。

图案纹形是地物形状、大小、色调、阴影等差异的组合，更广泛来说，它是包括水系格局、地貌、土壤、植被等在影像上的综合表现。图 5－6 是贵州峨眉玄武岩的“蠕虫状”花纹特征。从影像上可以看出，这些花纹特征是地貌形态和沟谷水系沿一定方向发育时，由于其特殊植被和岩性的均一，使其切割深度甚微。影像上这种花纹的重复出现，组成了能作为峨眉玄武岩岩性解译标志的特殊图案纹形。

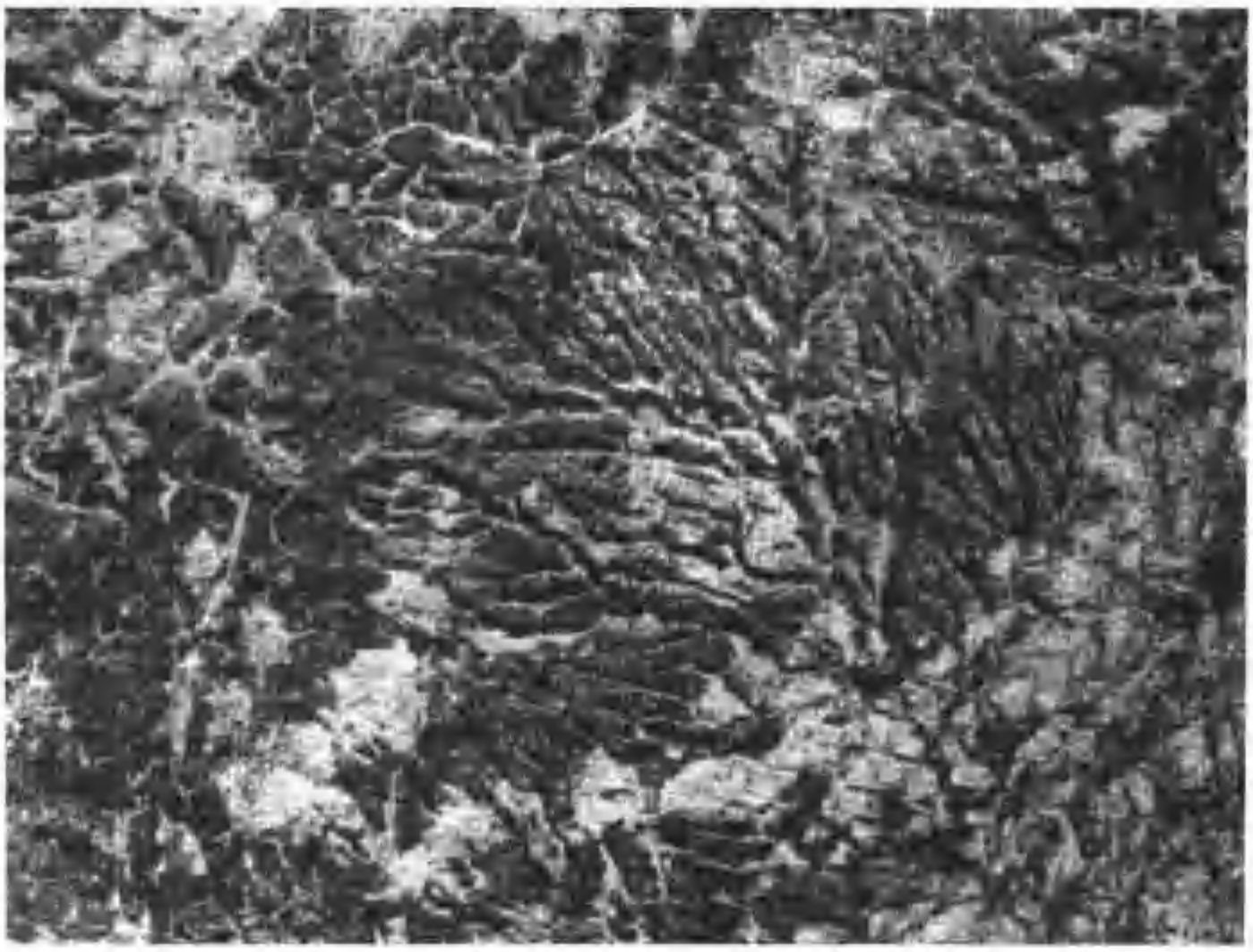


图 5－6　贵州峨眉玄武岩的花纹特征(1∶5 万　航片)

若将图案纹形加以典型化、模式化后输入计算机，就可作为图像自动识别的参数。

(5)影像结构　航空像片的影像是地表环境结构的综合反映。不同地物及其群体，都有各自的形态大小、色调色彩、表面结构等特点，而航片的影像结构，又是由不同地物及其群体与周围环境所形成的综合组合。因此，根据影像结构的差异就可以将它们区分开来。从图 5－7 影像结构中，能非常容易地把耕地和居民点区分开来。

以上 5 种解译标志，是一般地物在航空像片上构成影像的基本因素，它反映了地物本

身所固有的特征。根据这些特征可以直接把物体辨认出来，所以，把这些标志称之为直接解译标志。

图 5—7　耕地和居民点的影像结构

2. 间接地理解译标志

有些地物由于物体太小或被覆盖，在影像上看不见，不能直接识别。例如，在 1∶50 000 像片上，是看不见水井影像的，但可通过人类活动标志将其判别出来，尤其是在干旱地区，若有很多小路汇聚于一点，说明那里有井或泉水出现，所以，小路就成为井或泉水的间接解译标志。又如隐伏断层，在像片上也看不见，但若见到泉水呈线状排列的影像，其下面可能就有隐伏断层的存在，因此，呈线状排列的泉水就是解译隐伏断层的间接标志。再如河流的流向，直接从影像上是看不出来的，但可以通过图 5—8 中的各种标志判别出来。

在利用间接解译标志时，首先应当注意的是，间接解译标志的影像特征与解译物体两者排列格式的一致性。例如：泉水露头的线状排列与断层线的一致性；在洪积扇前沿分布的居民点与地下水溢出带分布的一致性；水系格局与岩性、构造线方向的一致性等。其次，还应注意地物在空间分布上的相互联系性。譬如，有一条道路终止于河边，而在另一岸又有道路开始，说明这里的河水可能不深，能"徙涉"而过或为渡口。这种空间分布的相互联系性又称之为地理事物存在的位置特征。由此可见，地物的排列格式及其存在的位置特征，组成了各种不同类型的区域性"模式"，这些区域性模式，在遥感图像上很容易被发现，是重要的间接解译标志。

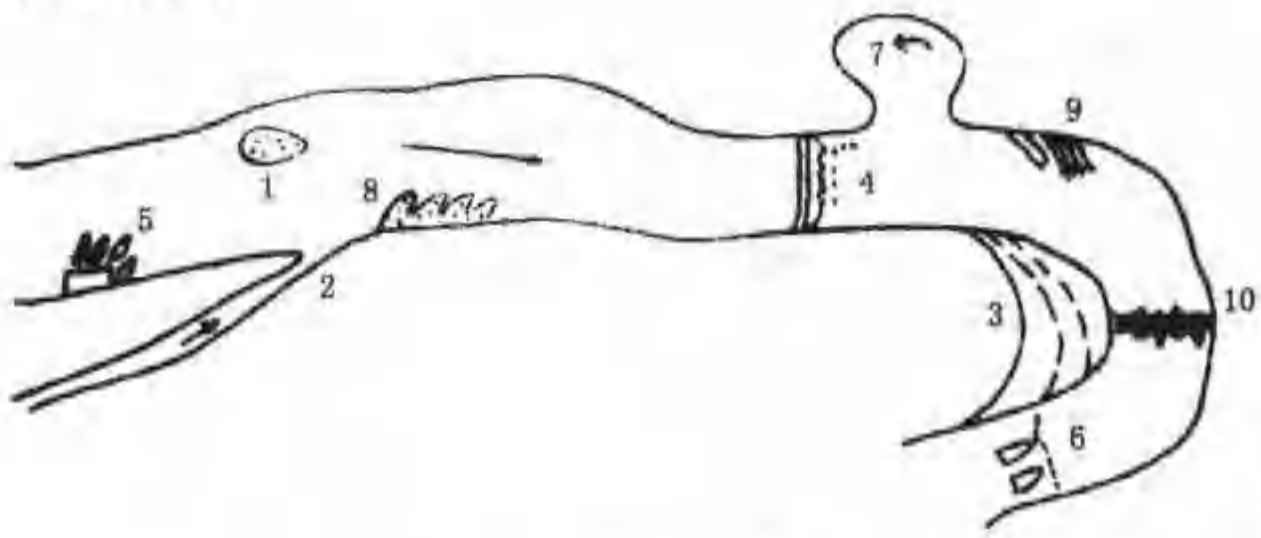


图 5—8　河流流向解译标志

1—河中沙洲：呈水滴状，其尖端指向下游；

2—干支流交汇点：干支流成锐角相交，其锐角指向下游；

3—迂回扇：河曲段迂回扇的收敛一端指向上游；

4—水花旋涡：堤坝、桥墩后出现的水花和旋涡在下游一侧呈浅色舌状，其尖端指向下游；

5—停泊于河中的船舶：其船尾指向下游；

6—破冰船：其方向与水流方向相反；

7—岸边形成的小水湾：其方向与流向相反，湾口朝向下游；

8—岸边淤积沙滩：边滩呈锯齿状，锯齿指向下游；

9—散木：放木的河流，木材散失后受阻于河边，与河岸成锐角相靠，其锐角指向上游；

10—浮桥：受水流冲击的浮桥向下游弯曲。

地理解译工作中经常利用的间接解译标志有水系特征、地貌形态、植被分布、土壤差异、人类经济与文化活动特点以及其他综合标志等。

(1)水系特征　水系是航空像片上十分醒目的影像特征，其发育与地表形态、岩性以及构造之间有着密切关系，它往往能够很好地反映出区域地貌、岩性和构造特征，因此，也就成为地理解译工作中的重要间接解译标志。根据水系判读航片，通常要从以下几个方面进行分析：

水系密度：水系或水文网是由大小冲沟、各级支流与干流组合而成的。其密度，通常是指大小冲沟及其各级支流的间隔距离。若其间隔小于100m，则视为密度大(紧密)；如其间隔在100～500m之间，谓之密度中等；间隔大于500m者，是为密度小(粗疏)。

水系密度的大小，反映了地表径流的发育状况，表征出流经地区的地势起伏和土壤岩石的结构及其物理、化学特征。例如，密度大反映该区支沟众多，地表径流发育，地势低洼平坦，土壤岩石透水性不良，多为粘土、泥岩、板岩、易碎片岩等一些松散、软弱且易被流水侵蚀的岩性；密度中等，说明岩石透水性较差，地面有一定坡度和相对高差；面密度小，则表现了地表径流不发育，地面坡度均一或相对高差根小，岩石坚硬，裂隙发育，透水性较好，水系长而疏，细小支流不易形成。

水系发育特性：对水系发育特性的分析，往往可以得到十分丰富的地理信息。例如，水系分布均匀，表示岩性均一少变化，反之，说明区内构造复杂，岩性变化大；在冰碛物堆积地区的水系方向是杂乱无章的；若地面坡度和岩层产状平缓、岩性简单，则水系的方向性不太明显，但在岩性均一，某组构造线占优势时，水系方向明显地受构造控制。又如，水系两侧的支流发育极不对称，这常常反映了河段的局部构造抬升或沿大破碎带发育成深谷。再如，沟谷形态与被切割地区的岩性物质成分有关，粘土、粉沙质粘土地区的冲沟横断面多呈U形，而纵剖面为均匀缓坡；中等粘性土(包括黄土、冲积粉沙土、细火山灰)区的冲沟，其横断面多呈箱形，纵剖面是有陡有缓的复合坡；而非粘性的粉砂岩、砂岩、砂砾岩地区冲沟的横断面多呈V形，纵剖面却多为陡坡。

对沟谷形态的分析，不仅要注意其纵横剖面形态，而且还应注意其平面形态和长度、宽度与深度等。因为它们都与其所在地区地表物资的透水性、地貌发育年龄、水文特征有关。如颗粒较大、透水性较强的未胶结物质区的冲沟多为长度短、深度大、宽度窄的形态；而在细粒、低孔隙度、已胶结的物质区，却多呈长度长、深度小、宽度宽的形态特征。

水系格局：水系格局主要是指水文网的平面形态(图形轮廓)，如树枝状、格状、扇状、放射状、平行状、向心状、星状等(图5—9、图5—10)。这些形态轮廓取决于地貌特点、岩石成分、构造特征和岩石产状等因素，与区域环境有密切联系。所以，对水系格局尤其是对最低一级支流组成的水系形态类型进行分析，是地理解译的重要手段。下面仅以常见的典型水系格局为例作简要说明。

①树枝状水系：这是最常见的一种水系，其各级支流无明显的面定方向，向四面八方自由发展，支流与次级支流都以近似的锐角相交，一般没有急弯的河道或直角交汇现象。

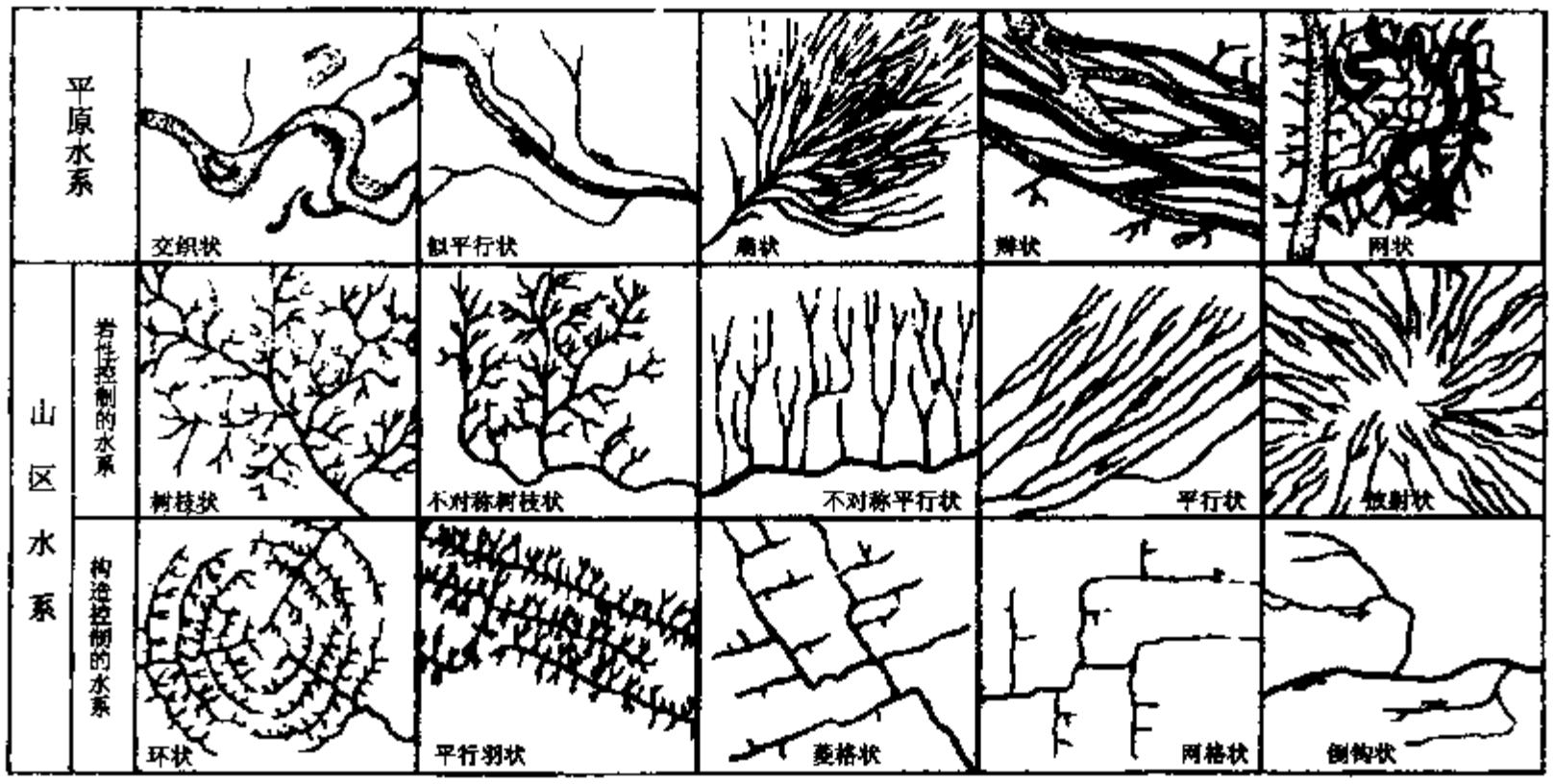


图 5—9　水系格局类型示意图

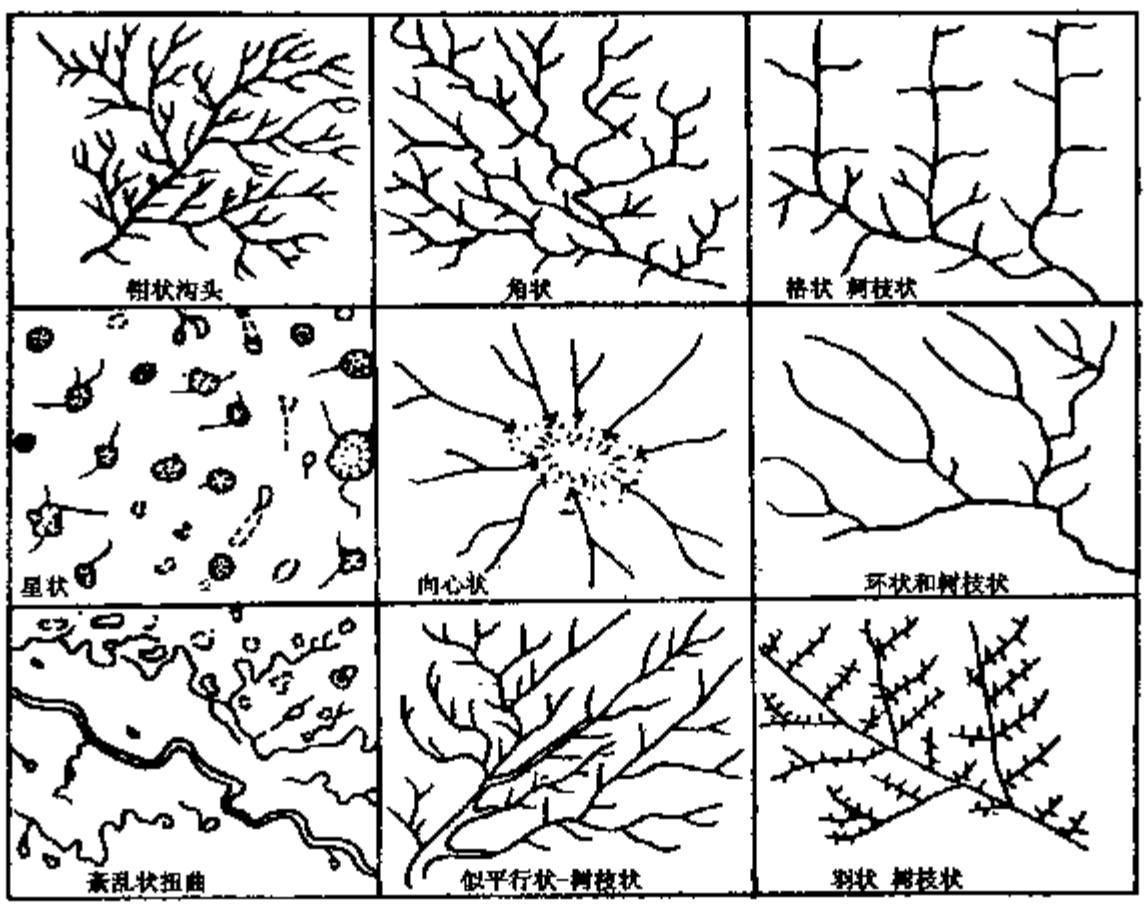


图 5—10　组合水系和水系的变种示意图

树枝状水系的发育，与岩性、岩石产状、区域构造、地面坡度以及相对高差等因素有关。它多出现在产状平缓、坡度不大、岩性均一、物质差异不明显、构造简单的地区。例如，在薄层页岩、厚层砂岩、花岗岩、大面积玄武岩、粘土岩、凝灰岩以及黄土地区都能见到。其密度除和岩性有关外，还受侵蚀基准面、相对高差和地貌发育阶段的影响。通常在页岩、粘土、黄土和细粒粉砂岩区的水系密度较大，透水砂岩区的密度中等，均质抗蚀的坚硬岩石（如花岗岩、玄武岩、块状变质的蛇纹岩等）区水系密度稀疏。

另外，像羽状、角状、钳状沟头等，均属树枝状水系的变态，其发育环境不同，格局亦有所差异。例如，侵入岩之类的块状岩石，因其原生裂隙发育，经球状风化和剥蚀后，常形成圆丘状地貌，使水系的沟头成为钳状，在我国南方花岗岩区最为常见。广西的砾岩地区亦具有钳状沟头特征。又如在黄土地区有红色土出露的地段，其主流流经粉砂含量较高的岩层，而支流尚在亚粘土地层中切割，因而形成主流与支流水系密度截然不同、交角互异的羽状水系。羽状水系最大的特点是一级支流紧密而平行，与二级支流成直角交汇，而二级与三级支流却仍成锐角交汇，保持了树枝状特征。至于角状水系，乃树枝状与格状水系的变种，因其主流受断裂和裂隙的控制，故呈尖锐的角状弯曲。它弯曲角度的大小和方向，往往能指明特殊岩石的类型。例如，砂岩区发育为相互平行的节理，而灰岩区则发育成彼此似尖角相交的节理，所以它们各自形成一定形态的角状水系。其他如花岗岩、板岩、大理岩和燧石灰岩中也常发育成一定形态的角状水系。

②格状水系：在共轭相交的裂隙发育地区，水系严格受断裂构造控制，使其主要支流和更小支流彼此平行而直角交汇，呈现出形似窗格的格状水系。像干旱、半干旱区裂隙发育的砂岩，大面积的结晶岩体，水平或缓倾斜产状的沉积岩地区，水系沿强烈发育的节理、裂隙面发育，都能形成格状水系。格状水系的变种有菱形格状水系、矩形格状水系和“丰”字形水系等。例如，广西东凌地区的灰岩，受北西—南东和北东—南西两组同等发育的共轭节理及断层所控制，形成菱形格状水系；在沉积岩褶皱构造地区，若主流顺软弱的层而发育，长而直，相互平行，较为稀疏，而支流受节理、劈理控制，短面密，并与主流成直角交汇，形成矩形格状水系。矩形格状水系的规模有大有小，大的可大到一个山系，小的则小到褶皱的一翼。主干为顺向河，支流却有顺向或逆向河。另外，在变质岩地层区还可见到一种具有格状水系特征的“丰”字形水系，如黑龙江省森林覆盖区的古老结晶片岩上，因受断裂控制而发育成“丰”字形水系。

③星状水系：在广大石灰岩或白云岩地区，特别是在气候湿润的石灰岩地区，由于垂直漏斗状的溶洞、溶蚀洼地和溶蚀谷遍布地表，河流时而潜入地下为伏流，又时而以泉水形式出露于地表，使其没有一个完整格局，形成许多彼此孤立、大小呈星点状的水系，故名星状水系。此外，在风蚀基岩区、近期火山活动区和冻土区都可能发现这种由多个积水盆地组成的星状水系。

④其他水系格局：水系格局视环境而变的多变性是其重要特征。例如，在滨海平原、单斜山的一侧、巨大玄武岩流的倾斜地表、页岩或粘土地区，都能发育为大致平行的主流和支流，呈平行状水系；于火山堆、上升穹窿或侵蚀残山地区，水系由中心向外流，发育成放射状水系；在花岗岩穹丘、沉积岩穹窿构造上的小支流，沿层理、节理发育，使主流连接各支流环高地而流，形成环状水系；处盆地与局部沉降区、已被侵蚀的向斜转折端、干旱区的湖盆洼地或岩溶区的坡立谷等处，水系向盆地中心汇集，形成向心水系；发育于河流三角洲、洪积扇或洪积裙上的水系均呈扇状水系；因构造影响或河流袭夺的结果，使其支流以反方向即呈钝角与主流汇合而成倒钩状水系等等。再者，在一些局部地段往往还可见到诸如网状水系、交织状水系以及扭曲水系等格局类型，不再赘述。

对航空像片的地理解译，往往从勾画河道和水系开始，因此，正确理解和深入分析水系格局的形态类型有助于对当地地理事物和现象的解译工作。然而，影响水系格局的因素

多、可变性大、环境结构复杂，所以，在进行水系分析时必须结合其他解译标志综合考虑，才能获得正确的结论。还有，水系还是一种能敏锐反映最新地质年代地质变动的解译标志，它对揭示现代地壳运动也有重要意义。

不论在航空像片还是卫星图像上，对水系特征的反映都是十分明显的。尤其是使用红外或近红外波段图像时，最有利于对水系及冲沟的解译，所以，水系是最易进行解译的标志。

(2)地貌形态　在航空像片上，借助于影像的形状、大小、阴影、色调等特征，很容易地能判认出山脊、山谷、盆地、丘陵等的形态特征来。而地貌的形态特征，是地球内外动力共同作用的结果，它取决于一定的岩性、构造等地质基础和气候、水文等自然地理条件。通常，可在立体镜和放大镜的帮助下从宏观和微观两个角度对地貌的形态特征进行观察分析：

①宏观地貌形态特征：宏观地貌形态特征，可从山的形态和组合格局、地形的相对高差以及山体规模的大小等方面进行分析解译，其中：

山地的形态和组合格局：山地形态一般可分为长条状和块状，其组合格局则较为复杂多变，常见的有平行的、羽状的、格状的、放射状的、不规则(姜状)的、圆形的、椭圆形的、三角的、肾状的、马蹄状的等等。

单个山的形态特征多与组成山体的岩性及其所受外动力的特点有关；而山的组合格局则更多地受区域构造特点的影响。例如，大型的块状山，多是在断块构造的基础上发育起来的，而山脉的展布却反映了区域构造的轮廓。

地形的相对高差：地形的相对高差，是多种多样地理因素综合作用的结果，一般尚难以找出普遍的相应规律。但若从小比例尺遥感图像上来看，一般宏观、大区域的地形相对高差却主要是受大地构造所控制。如我国西北、西南地区的几个大型高原、盆地等就是典型例证。

对遥感图象的地理解译，多半是以局部地区为主。通常，在相同的地理条件下，局部地形的相对高差，多受岩性、区域构造和地貌发育阶段的影响，而微型地貌所表现出来的地形相对高差，却多半决定于岩石自身抗御风化的能力。

山体规模的大小：山体规模的大小是指其底部的大小，它与其岩性、构造和地貌发育年龄等因素有密切关系，因此，可作为辨别图像的间接解译标志。

②微观地貌形态特征：微观地貌形态特征，可从山顶形态、山坡形态和冲沟形态特征等方面进行观察、分析和识别，其中：

山顶形态：对单个山体分析，可将其山顶分为圆浑、半圆浑、尖棱、平顶等不同形态。单个山体的重复出现连续组合，又构成了波状起伏山脊、锯齿状山脊、梳状山脊、平整连续山脊等形态。在黄土地区，则分为塬、梁、峁、连续梁、峁梁、连续峁、孤立峁等形态特征。

山坡形态：山坡的形态特征，当然也受岩性、地质构造和地貌等因素的制约，其形态可分为直线性平直山坡、凸形山坡、凹形山坡、阶梯形层状山坡、不对称形单面山山坡等。直线性平直山坡可能是岩层层面的反映；阶梯形层状山坡，可能是不同抗风化能力的软、硬岩层的反映；而不对称山坡则可能反映的是向斜或背斜的一翼所构成的单面山。

沟谷形态：沟谷形态能反映出岩性、构造和地貌等特征，在前面水系的分析中已有说明，不再赘述。

综上所述，在对地貌形态进行分析时，既要注意对地貌现象的综合观察，又要充分考虑地形、岩性、构造间的相互关系，同时，还应看到一些遥感影像本身就直接指明了地面松散沉积物的成因类型。它们既反映出地貌形态特征，又说明了一种地理现象。总之，对地貌形态特征的分析，尤其是对微地貌的分析与山坡形态的研究为地理解译提供了十分可贵的线索。

(3)植物状况　植物的类型、分布与气候的地带性、由地形引起的垂直分带性以及小气候环境特点有关。在不同的地貌部位上，由于小气候、基岩和第四纪沉积物的岩性、土壤性质、水文特征以及人类活动的影响，引起了植物群落外貌、种属成分、层级、密度、长势、单株与群落生态的畸形和宏观生态特征的改变。所以，在某些特定条件下，能作为有关地理要素特征的间接解译标志。兹以例说明地理要素与植被状况的密切联系。

①植被分布对地质构造的揭示：植物的地理分布，能反映出地质构造的特征。例如，在断层崖两侧，因地势高低和土壤湿度的差异植被有所不同；又如，断裂破碎地段的凹地内，由于土壤风化和水分保存条件有利、地下水埋藏较浅，植被常沿断裂呈线状分布；再如，向斜区比背斜区地下水的补给条件有利，故其植被也较背斜区生长茂密；还有，埋藏的盐丘构造与盐生植物群落(猪毛菜群落)的出现有关，在地区排水良好的条件下，猪毛菜群落呈环状分布在盐丘隆起的边缘。

②植被与岩性、矿产密切相关：在同一地理环境中，植物的选择性生长及其密度变化，尚与其岩性和矿物成分密切相关。我国热带、亚热带地区，马尾松和茶树多生长在酸性土的花岗岩和沙岩地区，而棕榈、竹却生长在钙质土的石灰岩地区。柿子喜欢长在含钙的土壤上，而板栗却喜欢生长在花岗岩、混合岩生成的酸性土地区。由于超基性、基性岩、蛇纹岩含铬、镍、铁、镁等元素，不利于植物的生长，故在其分布区内显得植被稀少或缺失；而在金伯利岩筒上的土壤，因富含氮、磷、钾故其植被茂密，农作物高产。可见，利用马尾松、茶树、棕榈、竹、柿子树、板栗树等植物的不同种属及其疏密长势，对判别其岩性、矿产是有所助益的。

③植被差异对土壤的指示：被植物覆盖的土壤，不能直接反映在遥感影像上，但通过土壤和植被间的依存关系，可从判读植被来推断土壤的类型和性状。例如，从影像上能很容易地分辨出林区和非林区，从而就能区别开森林土壤和非森林土壤。在此基础上，根据判读植被的知识可进一步区分出针叶林、阔叶林及其他混合林型，再根据不同林型又能推断出相应的土壤类型来。对草本植物种类的识别虽然较难，但可通过不同植物群落来判定植物类型。例如，只要从影像上区分出草原、草甸和沼泽 3 种群落，就能判定在其下发育的分别是草原土、草甸土和沼泽土三大土壤类型等等。

(4)土壤差异　土壤的类型和分布，往往根据其颜色、色调、结构、成分等，就能从影像上直接区分识别出来。由于土壤与成土母岩、矿物成分、生物-气候带、地形部位等有密切关系，所以，它对这些地理要素也就有一定的指示作用。例如，石灰岩、白云岩风化后，大部溶于水的物质被淋溶迁移，粘土等杂质聚积成较为脊薄的残积粘土层，在航片上色调浅灰；砂岩风化后成为砂土，页岩风化后成为粘土，酸性岩浆岩风化后形成亚粘土或粘土，基性岩风化后成为粘土或亚粘土，岩性不同残积物不同，在影像上的色调也就互有差异。土壤的颜色、结构还可作为某些金属矿产的解译标志，硅化、绢云母化、黄铁矿化等地段的土壤颜色，显然与其周围的颜色不同。

(5)人工遗迹　历史上和现代人类的社会经济活动，遗留下不少的人工痕迹，如古代的矿井遗址、古代冶炼遗迹、废矿渣堆、地质勘探工作中的探槽探坑遗迹、地下采水工程、地热工程、大型塌陷、道路、建筑、农垦活动、考古迹象等，都能作为地理解译的间接标志。

(6)"透视"信息　地表的松散堆积、土壤、植被、水文特征等与其下伏岩体、构造、矿体之间存在着一定的内在联系，表现出了各种"透视"信息。这些信息，在野外观察时由于受视域所限或其他因素的干扰而不易察觉，但在遥感图像上却能以不同形式的影像异常显现出来。例如，在现代火山口影像的周围，有时出现环状的云雾缭绕，它可能是火山热能扩散所造成的"透视"信息，据此，就能判定隐伏火山口或海底火山口的存在。

三、航空像片的地理解译方法

在进行航空像片的地理解译时，首先是观察像片上各种地理事物的影像特征，然后，再将所观察到的各种现象根据其解译标志进行综合分析研究，进而判别出诸地理事物的性质类别，达到对图像的解译目的。常用的解译方法有：

1. 直接解译法

不同的地理事物，在航空像片上有不同的影像特征，根据其影像的形状、大小、色调、色彩、结构等特征，无需再作间接的对比分析或逻辑推理就能清晰地判别出地理事物的性质和类型，这种方法称之为直接解译法。

2. 对比分析法

这种方法是将航片上待以判别的影像，和预先经过实验验证、已被证实了的某些地理事物之典型的标准影像样片进行对比分析，进而确定该影像所反映的被摄物体的属性和类型。这种方法，在对岩性、土壤、植被等许多地理要素的解译中经常使用。

3. 逻辑推理法

凡地理事物之间，都有密切的内在联系和相互依存关系。所以，在进行航片的地理解译时，就可根据这种关系，用逻辑推理的方法来判定某些地理事物和地理现象的存在。例如，前面间接地理解译标志中所列举的在泉水露头呈直线展布的地方，一般都有隐伏断层存在；又如，一条道路止于河流的一岸却又起于另一岸，说明该处可能有渡口存在；再如，河流若向一侧移动，说明另一侧的地壳可能在作上升运动。可见，这些隐伏断层、渡口或地壳的升降运动，都是利用地质、地貌、水文等专业知识进行逻辑推理判定出来的。

逻辑推理的方法，在地理解译中应用相当广泛，因此，应该注意运用地理专业知识细致观察各种地理事物的影像特征，全面分析其间的相互关系，找出它们的解译规律，才能更好地运用逻辑推理法进行遥感图像的地理解译。

对地物数量特征的解译，多半是利用仪器量测计算求得的。例如，用立体量测仪、立体镜的视差杆等可量测求算地形的高差；用密度计可测定地物色调、反差以判别地物和植物性状等。

四、地理解译工作程序

对航空像片的地理解译，一般可分为准备工作、影像解译、实地校验和图像转绘等4个阶段：

1. 准备工作

(1)收集资料　航空像片是地理解译工作的主要对象，因此，适合于解译要求的高质量航空像片，自然也就成为地理解译工作最基本而且最重要的必备资料。对航空像片的质量要求，一般是像纸优异、构像清晰、色调一致、比例尺适中，所有影像的细节、特别是像片的主要标志和明暗目标清晰可辨。

当所需航空像片收集齐全后，应按图幅、航线加以整理，并附以类似航摄仪焦距、摄影比例尺、航高、摄影季节和时间等有关航空像片的说明资料，分袋存放，以备使用。

在收集的资料中，除航空像片外，还应包括解译地区的地形图、专题图件和有关地理文献资料等。这些资料，对地理解译工作有很大的参考价值，有利于对影像的判定，不可忽视。

(2)准备工具　在影像解译工作中，离不开立体镜、放大镜、直尺、比例规、透明聚酯薄膜等。所有这些工具，在进行影像解译前都应准备齐全。

(3)制作像片图　由于每张航空像片所包括的面积有限，不能观察地区的全貌，因此，常把单张像片拼接成像片图。按作业方法和用途不同，像片图可分为像片镶辑图、像片略图和像片平面图 3 种。

①像片镶辑图：是按照相邻像片的重叠部分拼接而成的。拼接时，根据航线和像片编号依次按明显地物把像片拼接在一起，固定在图板上，构成像片镶辑图。若再按一定比例尺照相缩小，则成为镶辑复照图。在这种图上，既能了解摄影地区的全貌，又能查找所需航空像片的编号，是地理解译工作不可缺少的图件。

②像片略图：是用航空像片的使用面积镶嵌而成的。一般是以地形图图幅或需要的地区为单位制作的。镶嵌时，先从每幅图中间航线的中央开始，依次使相邻像片使用面积附近的地物重叠起来，固定在图板上，再沿纵向重叠的中线切割像片，把每张像片的中央部分拼接起来，待中间航线拼接完后，再沿横向重叠的中央部分作相邻两条航线拼接切割。至全幅图的像片拼接切割完毕后，把每张像片留下来的中央部分用胶水贴在图板上，就成为一张像片略图，可作为野外调绘和解译之用。

以上两种像片图，都是用未经纠正的航空像片制成的，所以存在着不同像片比例尺的差异以及倾斜误差和投影差。

③像片平面图：是利用纠正仪纠正后的航空像片拼接而成的，它既消除了倾斜误差，又把因地形起伏引起的投影差限制在制图精度范围内，同时，还统一了各张像片的比例尺。像片平面图的拼接方法，基本上与制作像片略图的方法类同，只是在镶嵌时不用明显地物拼接，面是用控制点拼接，所以精度较高。

像片平面图的用途较广，它除具有像片略图的全部功能外，还可以像地形图一样在各种工程建设中使用。

(4)圈定像片的使用面积　航空像片的使用面积，一般是指用航向重叠和旁向重叠中央直线所围成的范围，其大小要根据工作精度要求和地面高差大小决定。使用面积的 4 个角点，在相邻像片上应易于识别，以保证使用面积相互衔接。若工作精度要求不高，地形起伏不大，其使用面积也可以作隔片圈定。

(5)熟悉地理环境　在对航空像片进行解译前，应通过对解译地区的地理文献、资料

和专题图件的阅读，熟悉与掌握该地区地理环境的基本特点和诸地理要素的分布规律。这样才能提高对影像识别的准确率，顺利完成对航空像片的地理解译工作。

(6)建立解译标志　解译时，对判别大家所熟悉的地形类别、河流湖泊、城镇村落、交通道路等影像特征，只要根据其形状、色调、大小等标志就能辨认出来，无需再建立解译标志。但对类似地质、植被等各种专业图像的解译，需要分析其岩性、植被类型等特征，这就必须建立解译标志，并借助于这些标志来完成对图像的解译任务。

解译标志的建立，一般是根据已知材料进行分析对比，必要时，还需进行野外观察验证后，对各种地理现象的解译标志才能确定。

2. 图像解译

图像解译是地理解译工作的中心任务。一般是在掌握了解译地区地理环境的基本特征后，根据各种解译标志在室内进行图像解译。

图像解译应遵循先整体后局部、从已知到未知、由宏观到微观的原则进行。对中小比例尺像片的解译，要从判别水系开始，先确定水系的位置和流向，再根据水系确定其分水岭，区分流域范围，进而判别大片麦田、居民点和交通道路。在此基础上，再作地质、地貌等专门要素的解译。

用大比例尺像片解译时，因单张像片所包括的地区范围不大，所以在一张像片上不可能了解地区的全貌。这就要根据在进行图像解译之前所拼接的像片略图或像片镶辑图先了解和掌握地区全貌，然后再进行对单张像片的解译。

进行单张像片解译时，应先作肉眼观察，掌握其整个地形特征。然后，再用立体镜观察地形的细微变化和疑难之处。对某些细微部分的现象，应使用放大倍率较高的放大镜仔细观察，方能判定。

解译过程中，对重要的地物、现象或有疑问之处，都要在图上标记出来，作为野外校核的重点观察对象。进行野外校核之前，要拟定野外校核计划，选定野外观察点和观察路线。

3. 野外校验

野外校验是根据室内解译后拟定的野外校验计划和路线，所进行的对室内解译结果与客观实际的对比验证。它是航空像片地理解译工作中的一个重要组成部分，尤其是在专题解译中不可缺少的一环。

通过野外校验，对解译出的一些重要地理事物、现象或有疑问的地方，进行野外实地考察、验证、修改和补充，以弥补室内解译之不足，保证解译成果的精确度。

野外校验除应携带单张像片外，还要具备像片略图。这样，才能满足大范围、大视域的校验和相邻地区的资料进行对比，圆满地完成野外校验任务。

4. 转绘成图

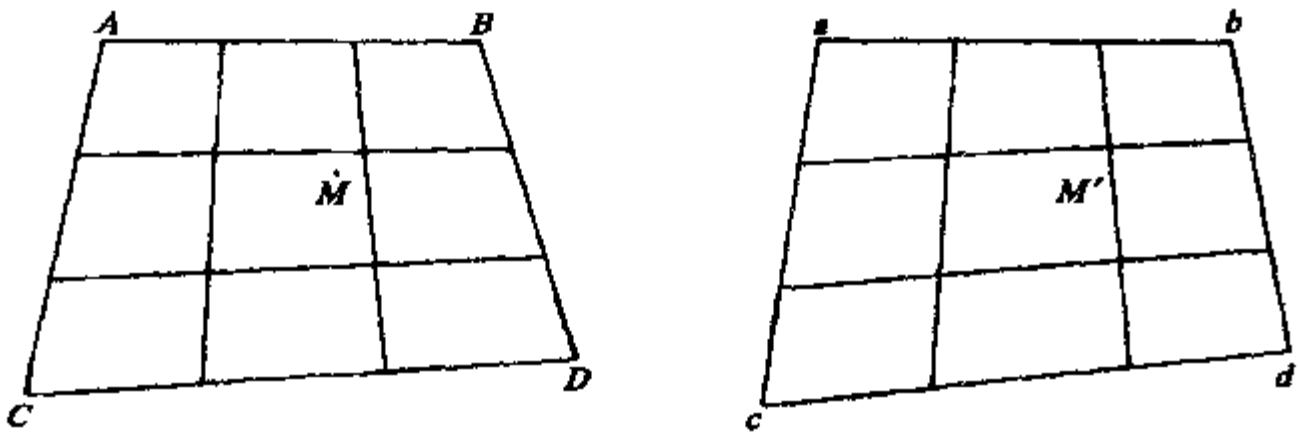
经野外校验修正后的地理解译成果，一般都要把它转绘到事先准备好的底图上，绘制成解译地区的专题地图，存档备用。

由于航空像片是中心投影，存在着倾斜误差和投影差，而地图是垂直投影，所以，对航空像片上地物的转绘，实质上是把中心投影转换成垂直投影。在选择底图时，最好是选用最新的地形图，其比例尺也应尽可能的与航空像片的比例尺相接近。

转绘图像的方法，应视制图精度要求和设备条件而定。常用的方法有网格法、光学仪

器法和目估法等几种。

(1)网络法　是在航空像片和底图上同时选出几个明显的地物点为依据，等分其对应边，并连接各相应等分点构成相互对应的网格。然后，以此作控制网，按照转绘内容和网格相对应的几何关系，将地物逐格转绘到图上。图 5—11 是把像片上的 M 点转绘到底图上为 M′ 点的实例。



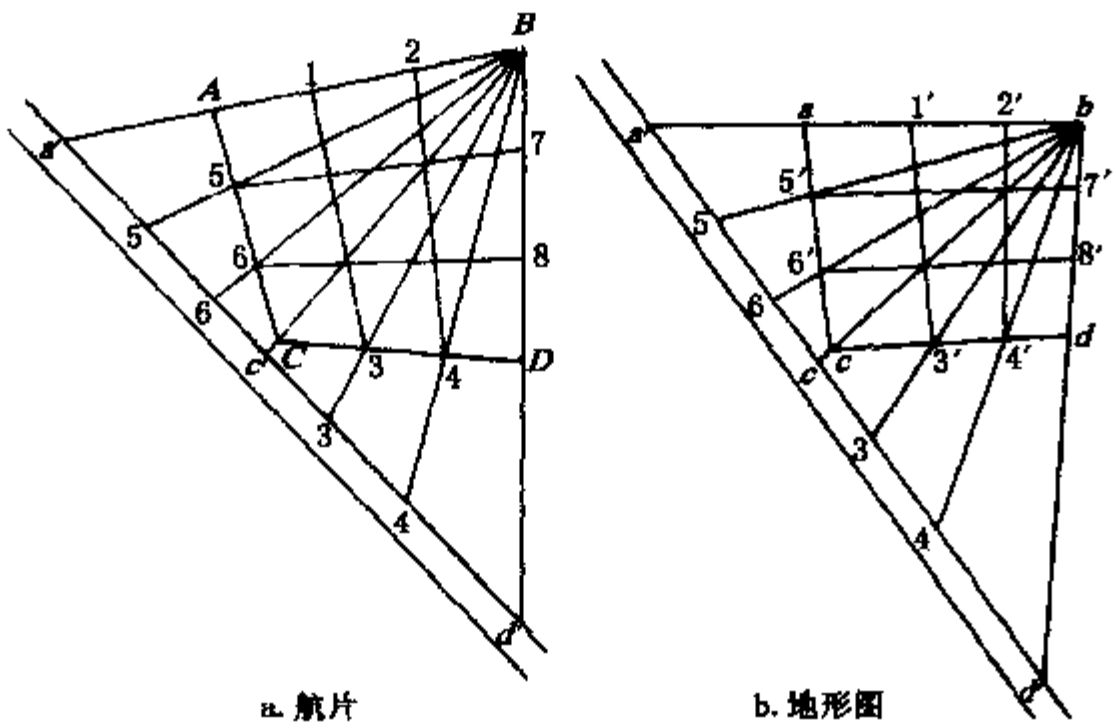
a. 航片　　b. 地形图

图 5—11　网格转绘示意图

有关等分对应边的方法，一般有以下两种：因像片倾斜所引起的像点位移很小，且可以忽略不计时，则按比例等分其对应边(图 5—11)；若因像片倾斜所引起的像点位移较大，且投影差小于制图精度要求时，可根据航空像片和地面的透视关系分割其对应边，构成透视网格(图 5—12)。其步骤如下：

①在航空像片和底图上分别选择 4 个相应的明显地物点，连接成四边形，等分其对应边，并连接其等分点构成网格。

②以航空像片上四边形的任一点 B 为极点，分别通过其对应边的各等分点引方向线，并把其延长线标记在置于 C 点的另一纸条上，在纸条上标记出 AC、DC 两边各等分点的对应点 a′、5、6、c′、3、4、d′ 等(图 5—12)。同法，再以 C 为极点，作出 BA、BD 两边各等分点的对应点。



a. 航片　　b. 地形图

图 5—12　透视网格示意图

③用纸条上标记出的各点，把航空像片上的方向线转绘到底图上。转绘时，先将纸条上 a′、c′、d′三点分别重合于底图上 ba、bc、bd 各边的延长线，再以 b 为极点，分别与纸条上的 5、6、3、4 各点连接，在底图四边形的 ac、cd 两边标记出 5′、6′、3′、4′等分割点。同法，再以 c 为极点，作出 ba、bd 两边的 1′、2′、7′、8′等分割点。

④把底图上与各边相对应的分割点，1′与 3′、2′与 4′、5′与 7′、6′与 8′等连成直线，就绘成了格数相等但形状不同的透视网格。

(2)光学机械转绘法　这是一种借助于航空像片纠正仪、辐射纠正仪、变焦转绘仪或航空像片转绘仪等光学机械转绘仪器，转绘图像的方法。这种方法能消除倾斜误差和限定投影差，使其符合成图要求。是一种操作简便、精度高、速度快、效果好的转绘方法。

(3)目视转绘法　这是直接用眼睛估计或仅凭借简单仪器的帮助，完成转绘任务的方法。转绘时，要以航空像片和底图上都有的明显地形、地物为控制基础，根据转绘内容与地形、地物点的相关位置，用目视估计的方法将其转绘到底图上。实践证明，底图越详细，地形、地物控制点越多，且容易在其上找到对应点的情况下，转绘精度也就越高。这种方法简便易行，且能消除投影差，保证一定的精度，无论在平原或山区都能使用。

五、影响航空像片地理解译效果的因素

不同解译人员，用航空像片对同一地区的地理解译，有时会有较大的出入。造成这种差异的原因，除解译人员本身的专业素质和工作经验外，还有许许多多如航片的类型特点、比例尺大小、选用的波段、工作条件和方法以及成像地区地理环境特征等难以排除的因素干扰。兹就常见的几种因素简作说明。

1. 松散沉积物的影响

松散浮土的堆积，虽然掩盖了一些下伏岩和构造等有关信息，使其解译产生了一些困难，但有时也能根据其地形特点、地貌差异、浮土和植被色调的变化等推断出下伏基岩和构造的某些特征。所以，在有沉积物覆盖的地区，若能认真分析、判别其影像特征，还是可以找出不少有用地理信息的。

2. 植被覆盖的影响

根据植被的类型、密度等虽然也能间接地推断出被其覆盖的一些有用信息，但总是由于植被的覆盖而不利于对航空像片的解译。所以，通常应尽量避免大片繁茂植被的覆盖，多采用冬春季的影像作为解译之用。

3. 光照的影响

光照强度是影响地物反射光谱特征的基本因素，在光照特强或特弱的情况下所取得的航片，都不能正确地反映出地物的反射光谱特性。因此，若用这种航片，其解译效果较差。

4. 云团的影响

云团能减弱光照度，其阴影又能覆盖地物。所以，航空摄影多选在良好天气条件下进行，以回避云团的影响。然而，对地质云、地震云的研究，又可能使其成为一种间接的解译标志。

5. 积雪和冰层的影响

永冻带的地形、地物，往往被积雪和冰层掩盖。所以，使这些地区的航片解译工作，受到严重的影响。为了减少冰雪的影响，对这类地区的摄影多安排在温暖季节进行。但雪盖有时也能突出大断层的影像；冰川裂隙有时又是构造陡坎或基岩露头的反映。因此，给解译工作又提供了一些有用信息。

6. 水体的影响

湖泊、水库等各种水体，在航空像片上是暗色斑块。由于水体的存在，掩盖了其下的某些信息，对解译十分不利。但用多波段摄影的航片，却可提供一些“透视”信息以助于水下地形的判别；湖泊本身的轮廓及其分布特征，又往往反映出湖泊的成因类型及其地质构造和岩层产状特征。

7. 农业用地的影响

对土地的开垦、耕作和平整，会改变原始地貌形态，掩盖一些基岩露头等有用信息，增加了对航片的解译难度。但耕地的排列却能反映出古河道、古地貌；土壤差异又能体现出它与基岩岩性的关系；作物类型及其长势还指示了作物分布区的气候、水文特征等。所有这些，又可作为判别图像的间接解译标志。

8. 陡崖、陡坎的影响

地表地物有时会被陡崖、陡坎阴影所遮蔽，有碍于解译工作。但它却又是基岩露头所在之处，其成因和发育又多受断裂构造控制，所以，又可作为岩层、岩性和断裂构造的间接解译标志。

9. 航片成像及其洗印工作的影响

航片在成像和洗印过程中，因技术条件和技术人员的素质所限，可能产生某些扫描线的脱落、错位、擦痕、指状闪光和漏光斑点等，这当然也会给解译带来不良后果。

可见，航空像片的地理解译质量，受到了多种因素的干扰和影响。而任何一种因素，对解释工作既有不利的影响，同时，又提供了不少有用信息，可帮助解译人员识别图像。所以，在具体工作中，应尽量利用多时相、多波段、多层次、多种类的像片，作认真仔细的对比分析，消除各种因素的干扰，提高对影像解译的精确度。

另外，由于自然地理环境的复杂多变和所选用的感光材料、摄影波段、传感器类型、洗印条件以及与比例尺有关的地面分辨力的不同，使某些解译标志有所变异，解译时，要特别注意并反复进行观察、分析、综合、验证。

第二节　地质解译

地质解译的目的，是为了判明岩石类型及其分布情况，查清地层层序和地质构造特征，编绘地质草图，给进一步的地质、地貌调查提供必要的资料。

然而，利用航空像片进行地质目视解释，应当说是地理解译工作中较难的部分。尤其是对解译地区的区域地质情况了解不多，且又接触航片较少，工作经验不足的人来说，更是这样。对航片的地质解译，项目繁多，内容庞杂，已另有专著详尽阐明。本节仅从研究自然地理环境需要的角度，对有关岩性、地层和构造等几个方面进行探讨，为进一步参与航空像片的解译开拓思路、提供参考。

一、地质目视解译的方法和任务

对航空像片的地质目视解译，是使用航空像片、航空像片略图、镶嵌图以及多波段遥感图像，借助于电子-光学仪器等手段，从图像上判定其影像所反映的地质现象，查明有关岩性、地层和构造等特征。其基本任务是：

1. 辨认航空像片图像中各种岩性单位或岩性组合，圈定其岩性边界；

2. 分析各岩性解译单位的地质时代，推断其地层层序；

3. 分析岩性的空间变化，判别其间的相互关系，推断它们的成因类型；

4. 判明其岩层产状、褶皱和断层现象。

上列的某些任务，虽在许多情况下并不是轻而易举就能顺利完成的，但遥感图像毕竟是地面地质、地物的真实反映，给解译者提供了解译区域地理事物的直观影像。利用它，就能掌握区域范围内（而不仅是从几个典型剖面和少数薄片上）岩性、地层和构造的基本地质现象。当然，要充分做到这些，还须不断提高遥感技术，改进和完善电子、光学的解译手段。

二、岩性的目视解译

各种地质现象，一般都是通过岩石表现出来的，所以，对岩性的目视解译，在地质解译中具有重要意义。

1. 岩性的目视解译标志

岩性目视解译的主要标志，是图形和色调（或色彩）特征。其图形表现虽各式各样，不易找到一个统一公认的模式，但并非无规律可寻。若从宏观和微观两个方面进行分析，仍能找出一些明显的解译标志。

（1）岩性的宏观图形　由于岩石的成因类型、抗风化能力和发育其上的水系特征不同，其宏观图形的表现也各不相同。

①平面宏观影像：例如，岩浆岩的侵入岩体呈较规则的团块状，其影像外形多为圆形、椭圆形、环形、透镜状、不规则块状和脉状等。沉积岩的主要构造特点是成层性，其影像图案多为不同色调的条带状。变质岩中的正变质岩，常保留岩浆岩的团块状特征；而副变质岩，却又保留了沉积岩的条带状特征。这些形状的差异十分明显，因此，可作为识别岩性的主要标志。

②地貌特征：抗风化和抗溶蚀能力不同的岩石，在不同气候条件下形成的地貌形态却是稳定的。如石英砂岩、石英岩和酸性脉岩，在任何气候条件下总是形成正地形，而页岩和基性脉岩则多形成负地形；可溶性岩石（石灰岩、白云岩）的地貌形态，则随气候带及其产状而变；岩浆岩体的地貌形态，又与其时代新老、出露高低、被剥蚀情况和岩体规模密切相关。此外，对山地组合形态的分析也很重要，呈条带状的，一般是沉积岩类；呈块状的，有些也可能是侵入岩体。

③水系特征：发育在不同岩性上的水系特征很不相同。如发育在均质岩石（黄土岩）上的多为树枝状水系；发育在坚硬碎屑岩（砂砾岩）上的是角状或格状水系；发育在碳酸岩（石灰岩）上的多为潜流或格状水系；而在侵入体上发育的又多是环状、放射状水系等。

(2)岩性的微观图形　岩性微观图形的表现是影像上的花纹图案。实际上,花纹图案是一群细小且具有不同色调、形状、地貌、水系、植被等多种因素的地物所构成的综合性标志。在小比例尺图像上,对单个物体不易辨认,但当它们以群体形式组成一定的花纹图案时,就易于识别。

花纹图案通常是以斑、点、纹、条、格、链、垅、栅等图形以及粗、细、疏、密、显、隐等图形组合特征出现的(表 5—2)。

在建立一个地区岩性的花纹图案解译标志时,最好结合不同比例尺的遥感图像资料,配合适当的野外验证,弄清花纹图案的成因,选出最有代表性的花纹图案,建立区域性岩性解译标志,提高对岩性识别、解译能力。

2. 影响岩性影像特征的主要因素

岩性解译标志的区域性特点,是多种因素对其影响的结果。其最明显者有:

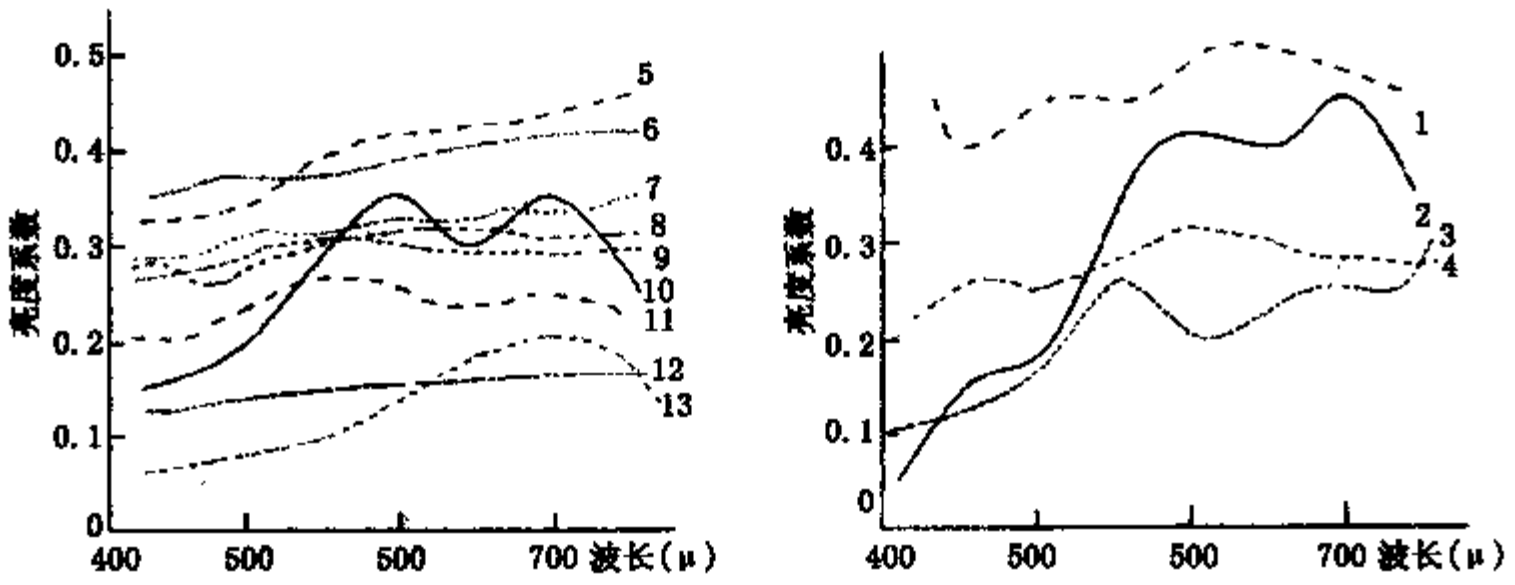


图 5—13　大理岩的反射光谱曲线示意图

左图:不同颜色的大理岩;　　右图:不同成分的大理岩

1—淡白色白云质大理岩;2—淡褐色硅质大理岩;3—青灰色透辉石大理岩;4—淡黄绿色蛇纹石大理岩;5—淡黄色大理岩;6—灰白色大理岩(含辉钼矿圈岩);7—淡灰色大理岩;8—灰色大理岩;9—浅灰色薄层大理岩;10—白色大理岩(棕黄色风化面);11—淡灰色薄层不纯大理岩;12—灰色大理岩;13—黄灰白色大理岩(土黄风化面)。

(1)岩石的内在因素　岩石的内在因素多指岩石的化学成分、造岩矿物、颜色以及岩石的结构构造特征等。

①成分:岩石的化学和造岩矿物成分及其化学稳定性,在较大程度上决定了岩石的颜色和风化剥蚀作用进行的特点。例如,岩浆岩从酸性到超基性,随着 SiO_2 含量的减少,铁镁质矿物增加,岩石的颜色变深,但其反射率趋于降低。盐类及碳酸盐岩类,在温湿气候条件下,易受溶蚀,发育成岩溶地形。

②颜色:遥感图像上地物的色调(成色彩),是地面岩石及其覆盖物(土壤、植被等)颜色的综合反映。同一种岩性(如大理岩),若其颜色不同,则在多波段摄影像片上的反射光谱亮度曲线也就有所差别(图 5—13)。因高价铁为红色,当氧化铁含量增加时,则在红光波段的反射亮度增高(图 5—13 中的 2)。若把新鲜和风化的淡黄色大理岩的反射光谱亮度值进行对比(图 5—13 中的 5、13),则可看出风化面整个可见光波段的反射亮度全部都有所降低。可见,岩石的风化作用也能使其色调变暗。一般来说,含铁质较高的岩石,经风

化淋滤后其色调加深，而含炭质较多的碳酸盐岩却有所变浅。

色调不仅受地形、光照、植被、土壤和岩石含水性的影响，同时，还受摄影与洗印条件的限制。所以，在一幅遥感图像上，同一种岩性的色调(或色彩)变化很大，不易用它来解译岩性；但图像上不同岩性色调对比的差异，却对岩性的解译很有帮助。

③岩石的结构与构造：岩石的颗粒大小、分布均匀与否，有无定向或成层构造及其表面粗糙程度和原生结构、构造等，既对抗御风化剥蚀能力影响很大，是制约微地貌发育的一个重要因素，又能影响其反射能力的强弱，形成同种岩性的色调表现不一。

(2)岩石的外部因素　影响岩石影像特征的外部因素，包括岩石的产状、裂隙、风化程度、地理环境和技术条件等各种自然与人为因素。例如：

①岩石的产状、裂隙和风化程度：地壳运动改变了岩石的原始产状，而内、外地质营力，又使岩石产生了各种裂隙。就是这些裂隙，影响着岩石的含水特点、水系与微地貌的发育。沉积岩层理倾角的大小，对其在图像上所显示的清晰程度和可辨认、解译情况也有明显的影响。

②人类活动：岩石的影像特征，还受人类经济活动的干扰。水库、排灌系统改变了地面沉积物的含水状况，使其在影像上反映出的色调发生相应的变化。土地利用特点，也能间接地反映出下伏岩的成分特点。

③自然地理环境：不同气候条件下的岩石，所受外力作用的方式有较大差异。例如，在湿热气候条件下，碳酸盐岩常发育成为极好的岩溶地形，而在干旱气候条件下，则又构成险峻的山崖。据此，可准确无误地解译出它的岩性。

图 5—14　沉积岩的层状结构

与气候条件紧密相连的是地理环境。由于在一幅小比例尺图像上所包括的面积很大，山地、高原、盆地、平原以及雪线以上地带等大型地貌单元和不同地理环境同时存在。所以，同一种岩性(如花岗岩)，在雪线以上是以冰川机械风化剥蚀为主，但其低处却遭受着与此绝然不同的破坏剥蚀作用。这样，在同一幅图像上所形成的地貌影像特征，当然也就有明显差别。甚至在山的朝阳、背阴部分，尽管其岩性相同，而植被的发育却有所差异，从而导致影像色调的变化。

①成像技术条件：成像时的光照条件、波段选择以及成像时的太阳高度等，都会影响地貌的影像特征及其微观细节的清晰度。洗印技术的好坏，像片有无经过影像增强处理等，也都会增强或削弱对岩性的解译效果。

3. 沉积岩的解译

沉积岩是海洋和大水体搬运物质的沉积物，分布广泛。在我国，其面积约占总面积的77%。每幅遥感图像上，几乎都有河湖、风沙残坡积松散沉积物的存在，所以，对沉积岩与沉积物的解译工作，至关重要。

沉积岩的结构特点是成层性，其层理所反映的影像特征多为条带状(图 5—14)，这是解释沉积岩的重要基本标志。但由于岩石成分和产状的不同，又形成不同的地貌、水系以

及色调等图案特征。表 5—3 总结、归纳了几种主要沉积岩的解译标志。

表 5—3　沉积岩岩性的解译标志(本表主要用于航片岩性解译)

	湿润气候						干旱气候					
	地形	水系	色调	冲沟	植被与土地利用	其他	地形	水系	色调	冲沟	植被与土地利用	其他
砂岩	坡陡的块状山丘	树枝状水系，水系受裂隙影响	浅	冲沟少，断面呈V形	耕地、树林少，多集中在水系旁	影像粗糙	平缓桌状山丘	角形树枝状水系	浅而带深浅不同条带	无	地形崎岖，树木及耕地很少，道路沿沟延伸	
页岩	缓缓起伏的山丘	中度到较完美树枝状水系	单调而成斑杂状，反映含水程度不同	开阔而坡缓的冲沟	地形开阔、道路、树林、耕地、居民点多而不受地形限制	层理影响仅在个别山坡可见	馒头状山丘	完美的树枝状水系	浅而亮暗相杂，山坡处有条带状	冲沟两壁坡陡	基岩裸露残积物发育相同，农田树木少	
碳酸岩	发育程度不同的岩溶地形	内向水系干流两侧支流很少	含水情况不同而成杂斑状，岩溶区上灌木多而稀疏或细小结构	冲沟短、浅而色调灰白	道路、农田分布及形态明显受控岩溶地形所控制	凝聚成组现均匀分布	桌状山岩溶地形很少见	角形树枝状水系，发育中等到完美，有间歇河	色浅单调	残积物不发育冲沟缩小	无重要耕地及树林、村落	分水岭尖峭，山阴坡分明
厚层(水平)互层	阶梯状山坡(陡缓坡相间)	中等到劣的树枝状水系	色调柔和的纹带	冲沟的宽窄两壁坡度及形态多样	砂页岩互层时页岩地段耕地多砂岩地段树木多，碎屑岩与石灰岩互层时，耕地随水系分布		更为明显的阶梯状山坡地形	中到完好树枝状水系、裂隙控制水系峡谷的排列	纹带状层理在色调上反映明显	冲沟少	荒芜，只有少数灌水林零星分布	
倾斜互层	平行山脊，砾岩与沙页岩互层时前者构成尖峭而平行山脊垅岗；灰岩页岩互层时岩溶地形零星分布，参差不齐的山脊地形	格子状或树枝状水系明显地受岩性及地层走向裂隙的控制	色调随岩性不同而异的条带状	多样而有变化	耕地及村落道路受地形崎岖所控制，主要集中在谷地内		低缓锯齿状山脊、成带状延伸	完美格状水系，三四级支流有时成羽状排列	灰岩成明亮浅色条带，植被条带状分布更突出了条带状特点	冲沟少而式样多，岩层冲沟底部为白色色调	土地利用只集中在一些局部地带上	层理解译好，产状明显
成层火山岩类	桌状山(熔岩)或尖峭山岭(火山碎屑岩)裂隙与陡崖发育	树枝状或平行树枝状水系	随成分而异，单一熔岩色调单调浅灰而单调，互层时条带明显	冲沟形态多样，但以V形断面多	山脊上基岩裸露，悬崖陡立，树林沿沟展布，耕地特点随岩性而异							

按沉积岩的结构和物质组成，可将其分为碎屑岩、粘土岩、碳酸盐岩等多种。下面仅以常见的几种沉积岩为例说明其辨认、解译特征。

(1)砾岩　在航空像片上，砾岩多成似层状、块状、透镜状，层理不明显，节理数量少而明显。沿主要节理发育方向，常有陡崖、陡坎、巉岩、脊状垅岗等。砾岩出露地面的影像，表面结构粗糙，色调较暗，多呈斑块状图案。

(2)砂岩　砂岩的色调、粒度、成分和胶结物、层厚等复杂多样，所以其解译标志多变。其中，较有普遍意义的解译标志有以下几点：

①层面平整、层理影像较明显，可在图像上追索较远且较为稳定。

②节理较为发育且影像明显。节理对末级水系、冲沟发育的控制作用明显，以树枝状、角形树枝状和格状水系最为常见。

③由于垅、沟、小山等微地貌受裂隙控制，所以它们沿一个或几个方向发育。

④冲沟的谷壁较陡，其断面多呈“V”形。

⑤若在杂色砂岩出露区，浅灰、淡黄、灰棕、棕红色砂岩因颜色不同，在影像上形成深

浅不同的色调，致使其层理色调忽浓忽淡，时隐时现。

⑥由于砂岩的成分及其胶结物不同，使其影像特征和地形也截然不同。如石英砂岩，不易风化，其山坡上多呈条带状陡坎。当岩层倾斜时，形成险峻的山脊，水平产状时，又往往成为台地和方山。

南方新生代红色砂岩组成的水平岩层地区，在侵蚀、溶蚀和重力崩塌的共同作用下，形成陡崖和深谷，称为“丹霞”地形，其影像特征与岩溶地貌相似，不易区分，解译时应多加注意。

厚层砂岩发育区，常为正地形，构成方山和单面山。粉砂岩易风化，一般为负地形，其影像特点与页岩相似。

(3)页岩　厚度较稳定，层理平整，易遭受风化剥蚀，形成低矮浑圆、波状起伏的山丘、平缓的盆地、坡地、开阔的洼地和断面成“U”形的冲沟等。由于表面残积、坡积物深厚，故大片裸露于地面的这类岩石较少，节理影像不明显。

由于土壤发育，含水情况较好，地表水和井的分布较多，以完美的树枝状水系较为常见，三四级支流多面密。树林、耕地较多且分布均匀。

页岩影像的色调，随岩石所含碳质多少和本身颜色面异。碳质多则深，少则浅。但由于页岩上经常为较厚的风化残积物所覆盖，所以在没有植被覆盖时其色调偏浅。

当冲洗条件较好，摄像时太阳入射角较低时，在页岩分布区内的像片上，会有较多类似黄土地区细纹状花纹图案，它是冲沟和小支流所造成的。另外，还有隐约而断续的纹带，是层理及不同颜色、成分的坡积、残积物在像片上的综合反映。

(4)碳酸盐岩　这类岩石包括石灰岩、白云岩等。由于碳酸盐岩受水溶蚀程度的不同，其影像差异较大。

在湿热气候条件下，岩溶地貌发育。在航空像片上可以看到很好的峰林、溶蚀洼地、坡立谷、落水洞、溶蚀漏斗等。其地形景观单调，山区植被繁茂，节理或裂隙影像清晰，层理不太清晰，但大面积出露时仍然可以辨认出来。干流曲折明显，支流稀疏狭窄，农田、城镇、道路主要集中在河谷内。影像色调相对均匀，一般为灰色，但纯洁的石灰岩、白云岩多为浅色色调。

在干旱气候条件下，地表又是另外一种景观，像片上的岩溶现象反映很弱，不易或无法辨认。裂隙发育造成地形上非常细碎的影像，层理不清。低山区，常表现为一些浑圆山丘，高山区则常为尖峭山脊。分水岭尖峭，阳坡与阴坡影像色调截然不同。基岩裸露，色调比较均匀，坡残积物少。植被稀少，多以零星灌木为主。水系较少，冲沟内农田分布零星，冲沟底部色调较基岩更浅。

4. 岩浆岩的解译

岩浆岩的形态呈团块状，无层理，影像色调随暗色矿物(铁镁质)含量的多少而异，深浅变化很大。对常见岩浆岩的解译标志分别列述于下：

(1)侵入岩　侵入岩是不规则的块状，外形浑圆，无层理，其影像色调随岩性、特别是组成侵入岩体的暗色(铁镁质)造岩矿物含量的增减而变。图 5—15 是某地区几种不同岩性侵入岩体的航空像片，它表明了从酸性到基性岩体色调或色彩由浅到深的特点。图中：

①是加里东晚期的辉长—辉绿岩，色调较深；

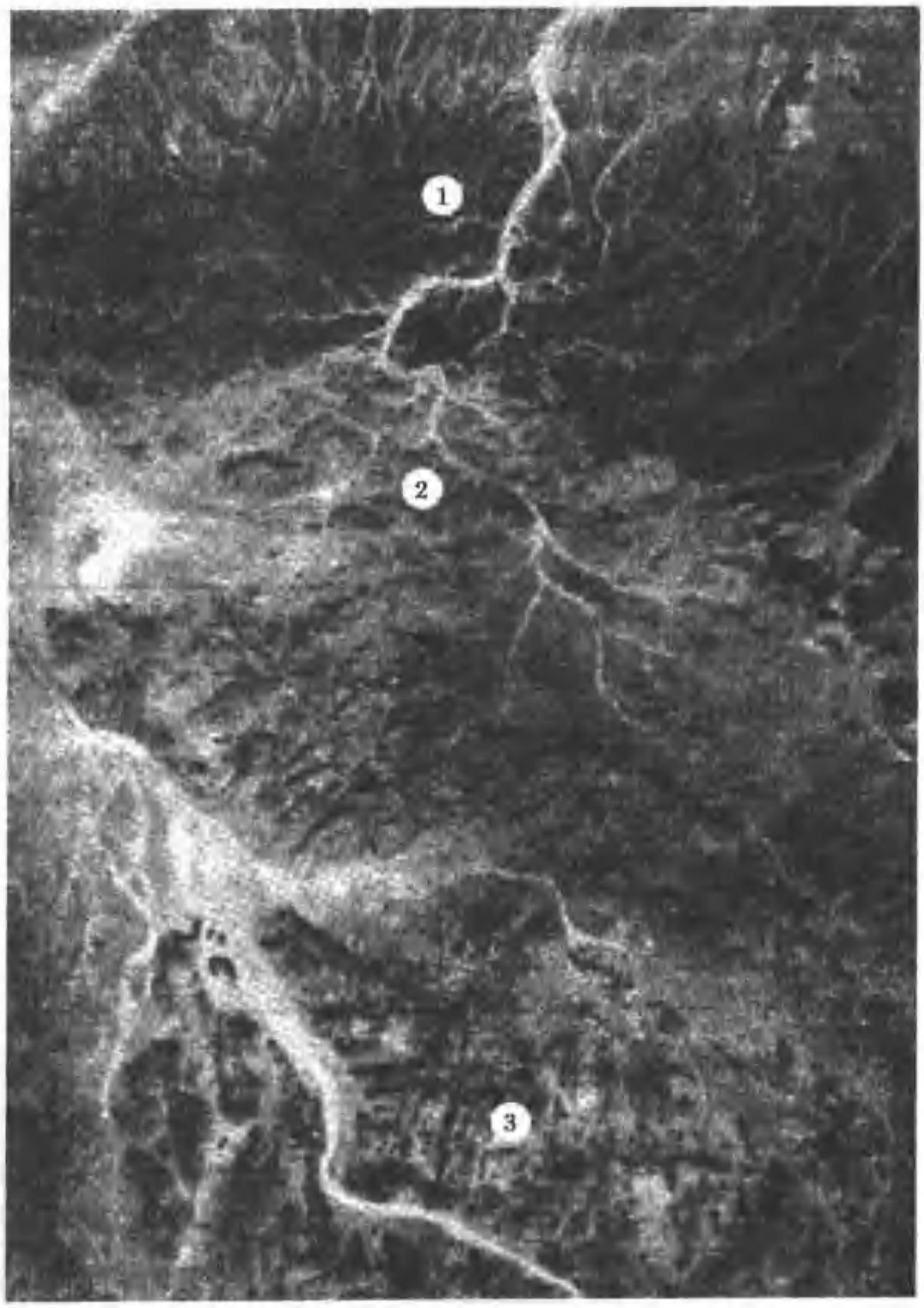


图 5—15　不同岩性侵入体的航片

1－加里东晚期辉长－辉绿岩；2－海西晚期红色花岗岩；3－海西中期闪长岩

②是海西晚期的红色花岗岩。它们在航空像片上分别为深灰、灰和浅灰到淡灰色调；

③为海西中期的闪长岩。

从酸性到超基性侵入岩，随 SiO_2 含量的减少，岩石颜色变深，反射率降低，黑白像片上的色调也变暗。华北某地区几种侵入岩的反射光谱曲线就很好地说明了这点(图 5—16)。

花岗岩是分布很广的酸性侵入岩，这种岩石多形成穹窿状的独立岗丘，顶部平缓圆滑，山坡一般为凸形，有时形成坡面光滑的尖峭嶙崖，其色调浅而单一，并具有独特的网状节理(图 5—17)。

辉长岩、橄榄岩等，属基性、超基性侵入岩，它们除具有无层理、呈块状分布等岩浆岩

的一般共同影像特征外，其色调较深，规模较小且易受风化。小型侵入体多呈负地形，松散残积层很厚。但大型基性岩侵入体，岩体中部也可形成凸起的正地形。

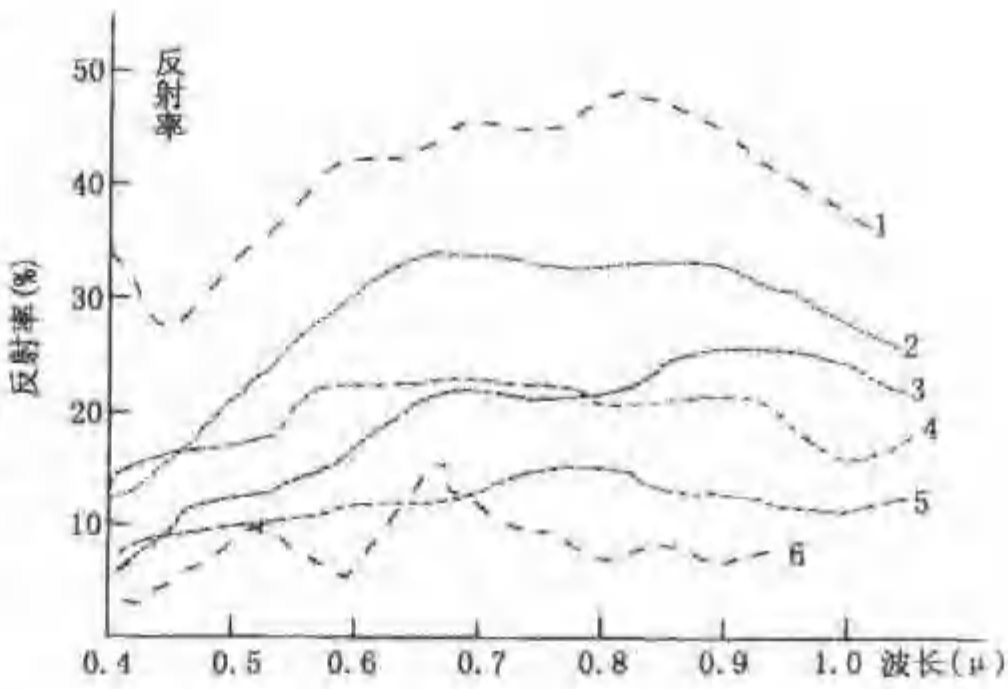


图 5—16　华北某地几种侵入岩的反射光谱

1—花岗岩；2—正常斑岩；3—石英二长岩；4—闪长岩；5—次闪石化辉长岩；6—蛇纹石化橄榄岩；

(2)喷出岩　喷出岩可分为基性和酸性两种。基性喷出岩如玄武岩，质地坚硬、结构致密、颜色较深。在地貌形态上多凸出在围岩之上。当其出露面积较大且是水平层位时，常形成高原或桌状山地形。酸性喷出岩如流纹岩，色调较浅，与花岗岩的影像相近似。在地貌上常形成圆锥形和圆滑的丘形高地。

喷出岩最直观的形态是火山和流动构造。所以，年青的火山岩比古老喷出岩更易辨别。因地形影响，新近喷发的熔岩流多分布在现代火山的山坡或山麓地带，其影像色调较暗，表面光滑，有时可见熔岩流动的痕迹。

(3)脉岩　脉岩的主要影像特征是具有线状外形。其色调取决于脉岩的成分，一般与围岩不同。酸性脉岩多为灰白、浅灰色调；基性脉岩色调稍深，可呈浅灰或灰色色调。在地形上，脉岩与围岩相比，却相对凸起或下凹，经差异风化后在地形上毫无表现者是很少见的。

对脉岩的解译，最好采用较大比例尺的航空像片，而且露头也须较宽，这样才能取得较好的解译效果。

图 5—17　花岗岩的网状节理

5. 变质岩的解译

变质岩依据其原岩类型的不同，在影像上分别反映出沉积岩和岩浆岩的基本特征。例如，正变质岩通常保留了岩浆岩的团块状特征；负变质岩却又保留着沉积岩条带状特征。所以，若和沉积岩、岩浆岩相比，变质岩的解译就更加困难一些。其原因有三：第一，由于变质作用，使岩石的物理-力学性质和部分化学成分趋于一致，其未变质前的原有解译特征受到干扰，变得不够明显；第二，岩石若受到混合岩化作用，则使其变质的岩石内产生新的岩石界线，造成受混合岩化与未受混合岩化的岩石解译标志互相干扰；第三，变质岩常受到多次构造变动，使构造变得更加复杂(图 5—18)，

有时还会受到多次变质作用，更增加了对其解译的难度。

虽然如此，但对变质岩的解译还是有些规律可循的。其基本解译标志有：

(1)在片麻岩发育地区内，尽管其内部岩性多样，构造复杂，但其地形地貌和花纹图案在航片上显得比较单调，大同小异，千篇一律。影像色调较为均匀；水系形态以树枝状和角形树枝状为主。

(2)变质作用使变质岩内片理化，叶理、断裂发育，褶皱强烈，在航片上有时可看到强烈褶皱和线性构造。片理、劈理仅在大比例尺像片上能反映出来。

(3)变质岩内偶尔也会出现大理岩、石英岩、变质侵入体等，似成层状、巨大透镜状或不规则形状夹层等。

(4)在大片花纹图案单调的影像背景上，若有成组岩脉及晚期未变质的内侵入体轮廓或不整合在其上的沉积岩等，影像就显得格外醒目。

图 5—18　变质岩的构造

一般深变质岩的片麻岩、混合岩的解译标志接近花岗岩类；浅变质的千枚岩、板岩则与页岩、泥岩类相近；片岩的解译标志介于两者之间；大理岩、石英岩等变质岩类又与未变质的碳酸盐岩的影像相同，但它们常常以大片区域变质岩系内的夹层、透镜体出现。

下面对几种主要变质岩类的解译作分别介绍：

(1)片麻岩　片麻岩的岩石成分和抗御风化剥蚀能力都与花岗岩相似，解译时很容易把两者混淆起来。在航片上，可根据其内部的一些强烈小褶皱和某些具有特殊色调的夹层、透镜体等影像特征来作为识别标志。

在片麻岩出露为主的地区，一般构成低矮的山丘，并具有反映某种褶皱走向的条带，树枝状或"丰"字形水系，分水岭杂乱无章，表土深厚，植被及耕地、林地集中。

另外，还会出现一些作为片麻岩岩性解译的间接标志。如未变质晚期侵入的岩体、不整合其上的沉积岩层以及线状、弧状叶理、劈理等能表明强烈褶皱存在的一些影像标志。

(2)结晶片岩和石英岩　这类岩石大多数为浅色调，比较坚硬，抗御风化能力强，多形成正地形。

在片岩发育地区的航片上，片理清晰，多呈平行的密集细纹，有时由于植被的发育使影像更加明显。这些细纹既不受当地山系、水系的限制，也不对当地地形有明显控制作用。经风化剥蚀后的片岩地区，很容易成梳状地形。石英岩在航片上常形成尖锐山峰、锯齿状分水岭。

(3)千枚岩、板岩　这种由粉砂、粘土变质而来的浅变质岩发育地区，其解译标志与粉砂岩、页岩互层的影像特征相似，但其地形表面多呈鳞片状、栉状、梳状不平面和尖棱地貌，在高山分水岭处岩石裸露时尤为明显。由于变质不深，劈理和原始层理均不明显。因易风化崩落，残积物较多。

三、地层的目视解译

遥感图像非常直观地反映出解译地区内的地层分布特点及其接触关系。与地面观察相比，它具有视域范围大和形象逼真的优越性。利用遥感图像解译地层及其接触关系，为区域地层构造的研究和编制、修改地质地层图件提供了宝贵资料。

1. 遥感图象的地层解译工作：

(1)了解区域地层的分布及其产状　区域地层的分布及其产状是进行地层分析和地层接触关系研究的基础。如果把这项工作再和构造解译资料结合起来，还能为选择地面地层实测剖面的地点提供可靠依据。

(2)研究地层的接触关系　通过对遥感图像的解译，可以帮助我们研究和确定地层或构造接触关系的类型，判明是正常接触还是侵入接触或构造接触。这对区域地层研究和选定地面实测剖面位置有直接意义，尤其对那些构造复杂、地形崎岖、山深林密和变质较深地区的地面地层工作，尤为可贵。

(3)观察和判别沉积岩岩相的横向变化　借遥感图像来判别沉积岩岩相的横向变化，是影像解译中难度较大的工作。但在解译者对解译地区的区域地质情况、岩性解译标志都比较熟悉，且配合以地面验证和航空目测的特殊情况下，还是很有可能进行辨识的。

2. 对地层角度不整合接触关系的解译

地层角度不整合接触关系的解译标志有以下几点：

(1)地层角度不整合接触关系最主要的解译标志，是两套产状不同的地层相接触。若图像中有区域性产状不同的两套地层相接触，或某组某层地层在不同地段分别与不同时代及产状的其他地层相接触时，就是地层角度不整合接触的可靠解译标志。但在解译过程中，一定要注意区分由断层引起局部地段两侧地层产状的不同和地层角度不整合接触关系。否则，会产生误解。

(2)地层角度不整合接触关系的另一个解译标志，是两套褶皱轴线、褶皱类型不同的地层或断裂构造发育强度方向不同的地层相接触。

(3)两套变质程度不同的地层、岩层或变质与未变质岩两套岩层的接触，也是不整合的一种解译标志。

(4)岩脉、侵入体或断裂被上伏地层所交切、掩盖，同样也是一个角度不整合接触关系的解译标志。

3. 划分地层

确定对解译出岩层的新老关系、地质时代和各组地层的分界标志等是利用遥感图像进行地层研究工作的重要内容。实际上，这是对岩性、构造解译成果作地层的综合分析工作。这种分析工作的关键是：

(1)正确建立解译地区各地层的解译标志；

(2)正确选出遥感图像上具有指示意义的解译标志层；

(3)解译出大范围内的岩层产状资料。

另外，值得注意的是利用遥感图像进行解译和分析地层时，必须配合地面验证、测试工作。根据不同地层组的色调、地形、水系、植被等解译标志进行地层解译。近年来，我国

不少地区根据其地层发育特点和地面工作经验，总结出各时代地层的解译标志。表5—4列出了某地寒武系地层的解译标志。

表5—4　寒武系地层解译标志

地层时代	地层岩石特征	色泽	地貌特征	水系形态特征	植被特征	其它
寒武系下统	灰岩、泥灰岩、砂页岩、云母砂页岩。	光泽柔和，浅灰色具有细条纹。	多成丘陵，山脊深浑圆、微有起伏、微折线状、主脊与支脊成70～80°交角，主脊有时呈"猪背脊"，支脊短呈垅岗状，呈现特殊的密集层状曲纹，山坡呈凸形和20～30°缓坡，两侧不对称，山谷较开阔。	水系不很发育，呈稀疏的树枝状，分支较少，冲沟切割浅，谷底平缓呈"V"形，一级与二级水系多成40°左右交角。	植被中等发育，生长低矮的灌木丛。	解译效果较好。
寒武系中统	泥灰岩、页岩、砂岩、鲕状灰岩、厚层灰岩。	光泽柔和的深灰色。	多分布在低山的山顶和山脊部位，主脊呈波状弯曲，微有起伏，支脊平直而短，支脊与主脊以70～80°交角组成肋状山脊，呈凹凸陡坡。沟谷切割深而直，沟头陡中下部平缓，山谷中部开阔，沟头狭窄是"V"形谷底。	水系不发育，呈极稀疏的树枝状或叶脉状，分支少。	植被不发育，生长稀疏。	解译效果好中统底部有一层含海绿石砂岩组成的陡坎能清楚地与下统区分。
寒武系上统	结晶灰岩及竹叶状灰岩夹暗色页岩。	较均匀的深灰色。	分布在山顶部位，山脊狭而窄，成陡立的单一脊，山脊呈不规则折线状，山坡陡。	水系极不发育，仅见有甚浅的不分岔冲沟。		解译效果一般。

4. 研究岩相变化特点

利用遥感影像对地层岩性的横向变化进行分析，可为区域岩相古地理分析和地层对比提供线索、资料和证据，来补充地面地层剖面研究的不足。

四、构造的目视解译

遥感图像可以使观察者居高临下地观察到地面构造的真实形态，从影像上看到一些巨型构造形象，据此能确定有关岩层的产状、褶皱和断裂等构造现象。

构造解译的效果，取决与基岩出露程度、岩石成分和侵蚀切割状况。通常，岩石出露越好，表现出来的构造要素就越多；岩性差异愈大，岩层产状与构造的关系反映得也愈明显；地面切割得越强，表现出来的构造细节则越多，解译标志也就越明显；故面目视解译自然也就越容易。

判定构造解译的主要标志和进行构造解译的基础，是地貌、水文网的特点及其与地质构造间的相互关系。当然，岩石的性质、颜色和土壤植被的覆盖类型，对判别构造也有所助益，在进行构造解译时不可忽略。

此外，还必须提及的是航空像片只适于对个别或小型构造的研究，若要追索巨大构造单元或编制构造略图，则须使用航空像片略图或卫星图像。

下面对几种主要构造现象的解译作分别讨论。

1. 岩层产状的目视解译

由于构造运动使岩层发生变位，引起抬升、下降、弯曲和倾斜，形成岩层水平、倾斜和直立产状，从而构或不同的影像特征。

(1)水平岩层目视解译　水平产状的岩层，其层面界线常与所处部位地形等高线平行

或重合，尤其是当软硬岩层相间，形成凹凸阶梯状地形时，像片上的岩层轮廓线表现得更加清晰。

在地形上，水平产状的岩层常常构成平台状方山、桌状山(图 5—19)。若其发育区受到强烈的侵蚀切割，则会出现沟壑纵横、地形细碎、地质界线非常弯曲和形态异常复杂的影像。

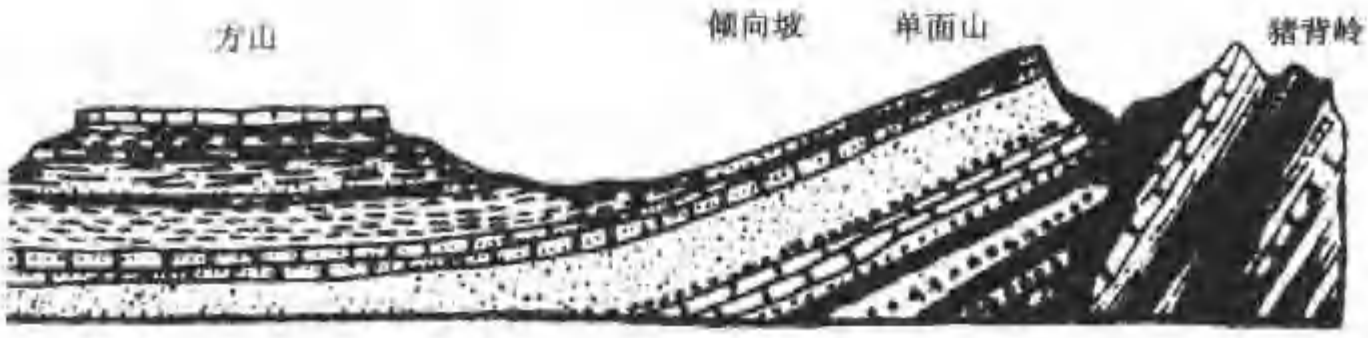


图 5—19　受单斜和水平岩层的影响发育起来的地形示意图

实际上，在大面积范围内保持水平产状的岩层很少见，从遥感图像上看到的大多是倾角近于水平的缓倾斜岩层。若用肉眼对这类岩层进行单片观察，是很难确定其倾向的，必须借助仪器用上章第四节中所介绍的方法，在像片上测定其产状数据。

生长在不同岩层上不同密度和类型的植物，可作为水平岩层的间接解译标志，不可忽视。

应当注意的是水平岩层界线容易和梯田界线相混淆。一般岩层的轮廓线具有连续性，色调一致；而梯田轮廓线则不连续，色调也不一致。

(2)倾斜岩层的目视解译　在航片上，倾斜岩层是最常见的。由于产状、地形以及光照条件的影响，使其形成各种复杂的图形特征。倾斜岩层的目视解译，主要是在像片上判别其走向、倾向和倾角等产状要素。其解译标志是：

①若岩层层位垂直或岩层虽然倾斜但地面是水平时，像片上岩层露头的方向就是岩层的走向线。但当岩层的地质界线与地形等高线相交、且受地形影响发生弯曲转折、或斜越山脊沟谷等不同地形时，岩层的出露迹线并不反映岩层的真实走向。

②像片上，在倾斜岩层发育地区出现各式各样的岩层三角面，其形态在一定程度上可反映出岩层倾角的大小和岩性特征。

③在倾斜岩层发育地区的图像上，常常构成单面山、猪背岭和倾向坡等地形(图 5—19)。通常，抗风化剥蚀能力强的坚硬岩层，多顺着地形坡向半裸露在山坡地面上，其山坡的坡向、坡度在一定程度上反映了岩层的倾向和倾角。解译时，可根据它和岩层三角面迅速判别出解译区内岩层的总体产状特征。尤其在树林掩盖较大的地区，是比较有实用价值的一种解译标志。

对倾斜岩层产状的解译，以中等倾角者最易识别。对倾角过大过小、褶皱强烈、大片岩性相近的倾斜岩层，识别解译较难。

(3)直立和近直立岩层的目视解译　近于直立(倾角 80°～90°)的岩层产状，其最主要的解译标志，就是岩层露头的迹线不受地形影响，在像片上又穿越河谷山系，沿其自身的走向呈直线或弧线延伸。多条直立产状的岩层，构成一组平行直线状的垅脊、山梁与沟谷、色调深浅明暗不同的影像特征。

倾角越陡，越近于直立的岩层，受航片中心投影的影响越明显。因此，位于像片边缘的陡立倾斜岩层，有时会造成倾向与实际情况相反的假象，解译时应多加注意，并用邻片进行核查。

在遥感图像上识别成层的岩层影像，根据岩层三角面、倾向坡等解译标志判明其倾向、倾角，以及利用各种组合标志揭示其岩层产状的总体轮廓等，是每个解译工作者应当掌握的遥感影像解译基本技能，要多加实验练习，熟练掌握。

2. 褶皱构造的目视解译

地壳的构造运动引起岩层的波状弯曲，这些弯曲称之为背斜或向斜褶曲，褶曲的群体，就是褶皱。

在遥感图像上，有时可以看到形态非常完美的褶皱构造。若把经过增强技术处理的遥感图像所显示的褶皱形态和地面构造详测的资料对比，就可以发现遥感图像上的褶皱形态更加逼真，内容也更为丰富。

褶皱影像在图像上显示得清晰与否，和组成该褶皱岩层抗风化能力的强弱、岩性、岩层产状、褶皱所遭受的后期构造破坏强度以及地形切割程度等有关。抗风化能力强弱差异越大，地貌显示就越明显；产状较平缓、遭受破坏不强、地形切割中等的褶皱在像片上显示得清楚，否则，其形态就不明显，解译则较难。

为了揭高对褶皱构造解译的能力，解译时应掌握以下要领：

(1)认真识别色调(或色彩)和形态不同的岩层在影像上所造成的纹带、条带和微地貌等影像特征。

(2)从岩层的影像中挑选出在地形、水系、色调和植被发育特点与背景影像有明显不同的岩层为解译标志层，以从追索其在图像上的空间展布入手，达到解译褶皱构造的目的。

(3)善于从图像上判别岩层三角面和倾向坡(尤其是在地面植被、松散沉积物覆盖严重的情况下)，借此来解译岩层的倾向、走向等产状要素。

(4)尽力从图像上找到对解译褶皱构造最有用的褶皱转折端部位(图 5—20)。

应当注意，在褶皱构造解译的实施中，最好先从确定褶皱的存在，识别背、向斜等工作入手，由易到难、循序渐进，求得较好的解译效果。

在遥感图像上，判定褶皱构造的存在和褶皱的基本类型，即分辨出背斜和向斜，是褶皱构造解译的基本任务。在此基础上，才能进一步研究褶皱形态及其内部构造与成因特点。

借遥感图像判别褶皱构造的存在、分辨其背斜与向斜，一般并不太困难。可从因岩层发生褶皱而造成不同色调不同形态的条带状影像、岩层产状、岩性、“V”形构谷尖端指向和地貌形态特征等标志(图 5—21)进行判定。

通常在正常褶皱中，两翼岩层向相反方向倾斜，岩层“V”字形自褶皱轴部对应分布。图 5—21(a)所示为背斜两翼分水岭上岩层“V”字尖端背向褶皱轴线，在地形上，两翼岩层所形成的单面山斜坡彼此相对。(b)图显示了向斜的解译标志，其两翼分水岭上“V”字尖端指向褶皱轴线，两翼岩层所形成的单面山斜坡朝外。

若褶皱不对称，其岩层“V”字形在平缓翼部的形态比较尖锐，即“V”字形有所伸长；面陡翼部分的岩层“V”字形有所展宽，就像缩短了一样。直立翼部则无“V”字形影像，岩层露头的宽度，随翼部的陡缓发生相应的变化，愈陡，岩层露头愈窄；反之则宽。

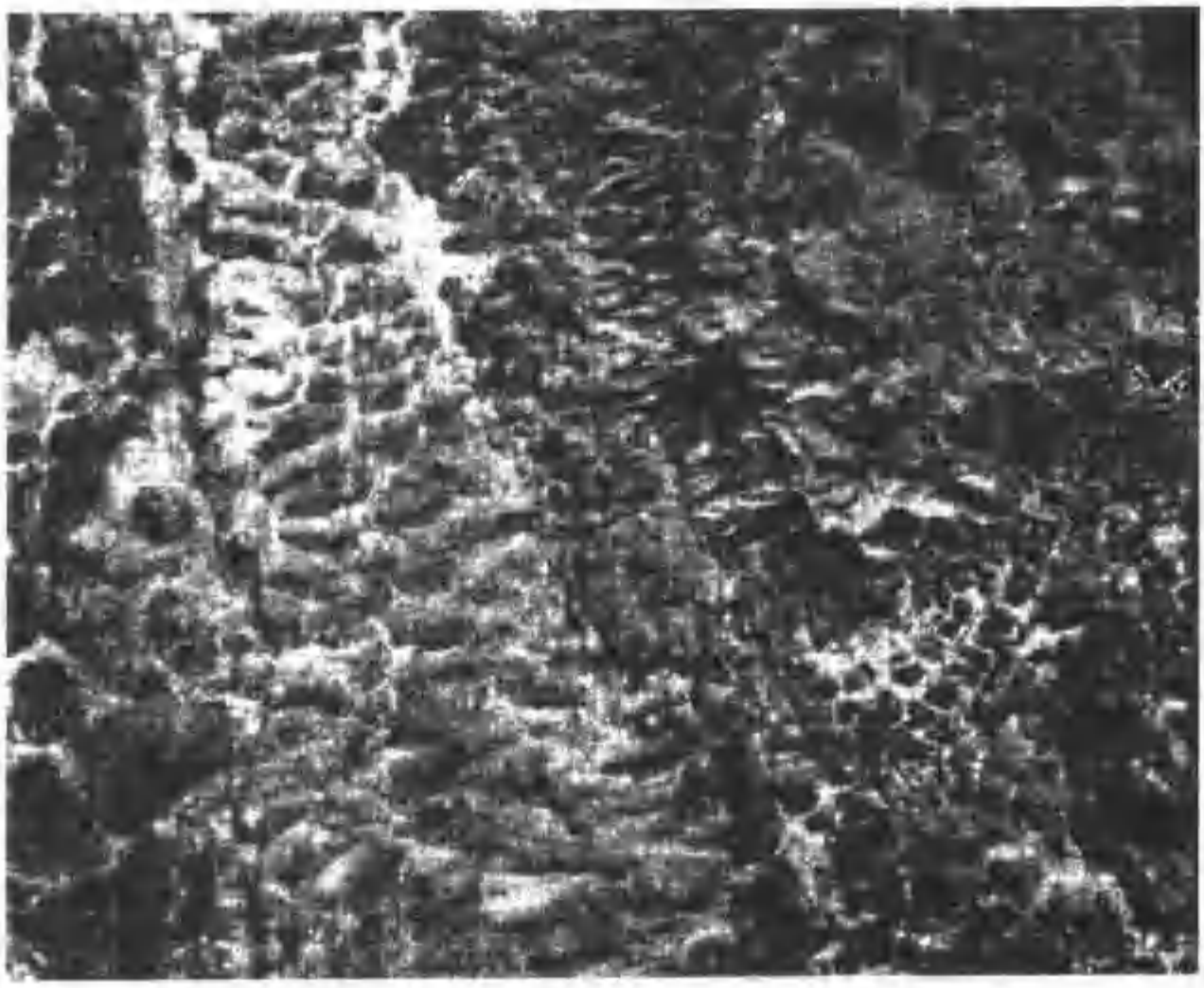


图 5—20　某地区一个较平缓的向斜

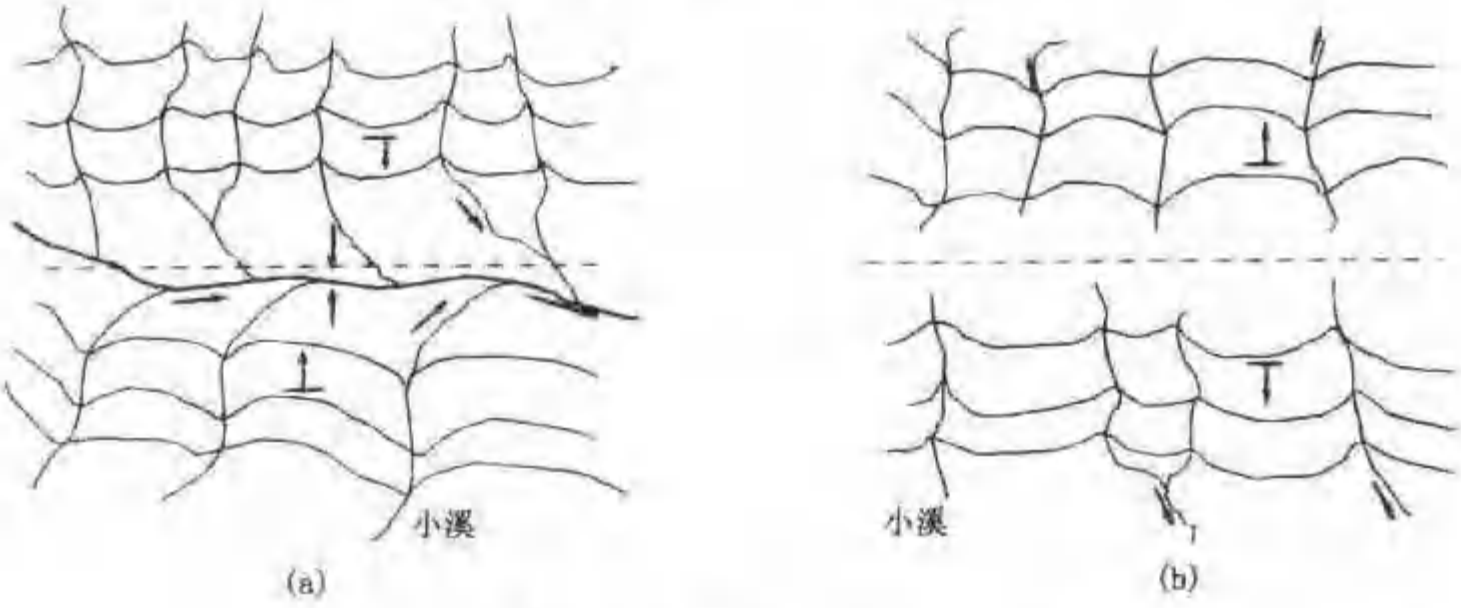


图 5—21　褶皱构造解译标志示意图

3. 断裂构造的目视解译

断裂构造在遥感图像上的反映是比较明显的，地面工作中许多不易发现的断裂，却在航片(或卫片)上呈现出清晰的影像。所以，与同一幅图像上的地层、岩性、褶皱相比，其断裂构造则更易识别解译。

断裂构造的解译标志，主要是图形的形态和色调：

(1)断裂构造的形态解译标志　遥感图像上所呈现出来的图形形态特征，是十分鲜明醒目的。有时，一些清晰多变的影像形态特征，能直接反映出断裂构造的性质、产状、成因类型、发育特征以及地质力学性质等大量有用信息。所以，可以将其作为断裂构造的基本解译标志。其中被视为直接解译标志者有三：

①地质体被切断和错开，形成构造不连续现象：在遥感图像上，有时能直观地看到地层、侵入体、岩脉、矿体、褶皱、老的断裂和不整合面等各种地质体被切断、错开，使地质体在图像上的延伸突然截止，造成构造不连续现象。

②构造破碎带的直接出露：大断裂迹线在空间上是沿一个方向延伸，时隐时现，断续出露的。其构造破碎带常由碎裂岩与糜棱岩等组成的构造岩带、劈理密集地带、许多小断裂构成的断裂带以及局部地层陡立、倒转和强烈褶皱等多种构造成分组成。有时还会夹杂着大大小小的岩块、断片、构造透镜体等。

由于断裂破碎带易受风化剥蚀，所以多构成负地形，有时还会发展成断层陡崖和断层三角面。图 5—22 中，非常清晰地显示出坡度较陡、彼此特点相近似的三角外形在空间上作直线延伸，成排地形如锯齿状的断层三角面特征。同时，线性负地形和现代沉积物的分布特征也十分醒目。

图 5—22　断层标志

③地层的重复与缺失：在某种情况下，遥感图像可以把因断裂而造成的地层重复显示得十分形象。图 5—23 显示出某地区从南向北 3 次顺序出露的寒武-奥陶系、志留-泥盆系、泥盆系和上石炭系到新老第三纪的地层，志留、泥盆、石炭纪地层构成了浅色长条状山棱，3 次重复所构成 3 次色调和图像相近似的影像特征非常明显。

以上三点，能够证实断裂的真实存在，所以，通常把它们作为断裂构造的直接解译标志。除此之外，还有如侵入体、矿体、松散沉积物、植被等呈线(带)状分布；线性负地形；水系形态发育、地下水分布的局部控制；泉源成串出露和落水洞、溶蚀洼地的成排分布；山脊线、阶地、夷平面、洪积扇等地貌要素的错动等也是较为可靠的断裂构造间接解译标志。

(2)断裂构造的色调解译标志　断裂构造线(带)两侧的色调差异，造成像片上线(带)状的色调界面，其色调差异最可靠的标志是：

①图像上存在一条色调(色彩)的分界面,其界面两侧的色调深浅或颜色不同。

②在较为均一的背景色调上,出现一条狭窄、较浅或较深的色调影像。

③显示出与周围色调不同且宽窄有异的条带,有时在条带内部还可区分出不同色调(色彩)的细微部分来。

④沿一色调界面,各段两侧色调深浅都不一样。

引起影像上线性界面的原因很多,较常见者有:

①基岩或松散沉积物的湿度、富水程度不同。

②地面植被发育特点(植被类型、疏密度等)的差异。

③土地利用特点不同。

④沿线两侧地貌特点(除形态、纹形、水系冲沟发育外)综合效应的差异。

不难看出,引起影像色调差异的原因很多,但并不完全都是地质构造因素引起的。所以,只有经过解译判明那些与地质构造有直接或间接关系的色调差异,才能作为断裂构造的解译标志。

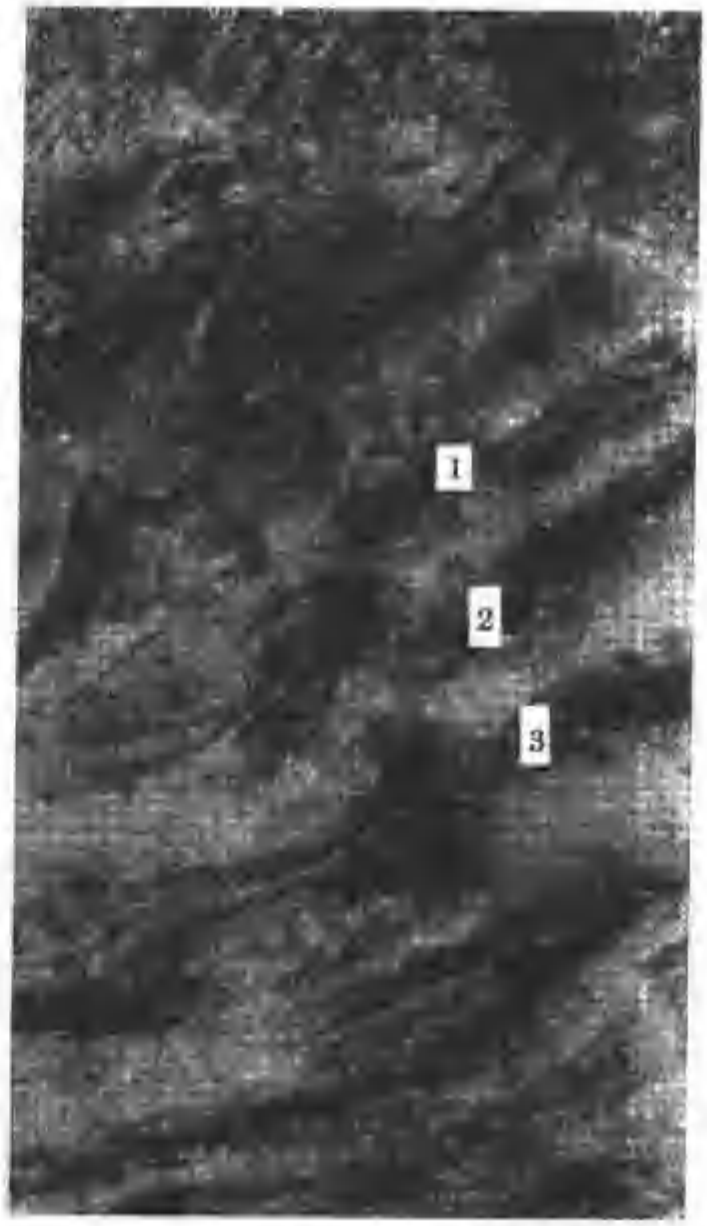


图 5—23　卫片上地层重复的影像特征

因此,在应用色调作断裂构造解译时,最好是充分应用多波段图像资料进行对比,利用加色或减色合成的彩色照片和不同季节的像片作综合对比分析,从许多线性影像特征中,选取与地质构造因素有关的线性影像特征,建立区域断裂构造的色调解译标志。

第三节　地貌解译

区域地貌景观是一种宏观现象,在遥感图像上所看到的是缩小了的地面宏观实况。所以,利用遥感图像进行地貌的目视解译,可以取得较好效果。尤其是进行立体观察,更能获得形像逼真的地貌立体模型。这对研究各种地貌类型及其组合形态、展布规律、空间关系、发展动态以及地貌与环境间的相互联系很有帮助。

一、地貌形态的目视解译标志

在遥感图像上,识别各种地貌类型的基本标志是图形特征、水系特征以及色调和阴影等。

1. 图形特征

遥感图像上,地貌影像的图形,包括其平面轮廓、地表高低起伏和形态计量特征。这些图形特征的标志是:

(1)图形特征　指的是不同地貌在图像上所反映出来的平面轮廓的图案花纹，如线状、带状、格状、放射状、菱形、多角形等形态特征；

(2)地表起伏特征　是指地貌表面高低起伏状况，如平坦状、波状、桌状、锥状、穹状、峰林状、阶梯状、星状、漏斗状等形态特征；

(3)形态计量特征　是指其绝对高度、相对高度和切割程度等。

上述图形特征，不外是由点、线、面、体等几何要素有机组合而成的。因此，可按解译要求，分别描述这些点、线、面、体的形态及其成因。“点”有山峰的海拔高度、河床最深一点的深度；线有山脊线、山边线、河海岸线、河流的纵横剖面线；面有平面、坡面、阶梯面和夷平面；体有个体和群体、单个沙丘和群体沙丘链等。

2. 水系特征

水系是解译地貌的重要标志，它提供了有关地貌、岩性和构造的大量信息。各种不同的水系特征，往往与地质构造、岩石性质、地貌类型有关，为地貌解译提供了可靠依据。所以说，对遥感图像上的水系解译，是揭示地貌形态及其形成因素的一把钥匙。

对水系的解译，主要是识别水系图形、判别水系密度、寻找水系异常点段和水系的均匀性、方向性等。其解译标志已在前面有关章节作过说明，不再赘述。

3. 色调和阴影

色调和阴影，可以帮助我们观察分析各种地貌形态，获得地貌的侧面影像与地表的物质组成。色调的深浅等级，只能以同一张图像上的地物进行比较。根据地貌的阴影，可以鉴别地貌三度空间的立体特点，并对解译者在推断平面图像景深时有重要影响。

二、大型构造地貌的目视解译

各种山地、丘陵、高原、平原和盆地等多属大型构造地貌，它们不但规模很大，而且形态特征和其间的关系也比较复杂。解译时，必须借助视域广阔的小比例尺镶嵌图片，才能揭示其整体与局部和群体与个体的边界轮廓，判明它们的形态特征、展布方向、成因类型、物质组成、发育状况及其彼此间的内在联系和相互关系等。

对大型构造地貌的解译，首先应从宏观形态特征入手，结合判别其相应的成因类型，然后再缩小等级，依次逐级进行。而对小型构造地貌类型的判定尚须遵循以下原则：

1. 同一地貌类型，在近似的环境条件下有相似的外部特征和景观特征。

2. 同一地貌类型，在不同环境条件下，因所受风化类型、强度和速度的不同，其外部特征和景观特征也必然有所差异。

3. 同一地貌类型，在相同气候条件下，若发育阶段不同其外部特征也不同。如幼年期河流以下切为主，河谷呈“V”形；老年期河流以侧蚀为主，河谷呈“U”形。通常把每种地貌类型壮年期的外部特征，视为其典型特征，并据此演绎类推其幼年期和老年期的特征。

不过还必须说明的是小型地貌在空间分布上叠加于大型地貌之上，在成因上相互依存，空间展布也服从于剥蚀-搬运-堆积这种统一的外力作用过程；而且，在每个环节中，都会产生相应的地貌类型。其次，构造地貌类型，总是和区域地质构造密切相关，因此，须把构造地貌解译与新老构造解译结合起来进行。另外，在解译过程中还应充分利用精密地形图和各种自然地理专题图集进行综合对比，才能取得较好解译效果。

对地貌形态类别和等级的划分，可参阅表 5—5 和表 5—6。

表 5—5　地貌基本形态成因分类表

1. 外力作用形成的

类型 / 作用	侵蚀类型	堆积类型
重力作用	崩塌剥蚀坡， 滑坡围谷，滑坡阶梯， 重力陡坎。	岩屑堆积坡、岩屑堆、侧石堆、土屑蠕动坡， 滑坡体（滑坡洼地、滑坡阶地、滑坡鼓丘、滑坡舌、）， 崩离体。
流水作用	坡地冲刷坡， 浅凹地、集水漏斗， 沟槽、切沟、冲沟、坳沟、泥石流沟、河谷， 河床、古河床、峡谷、古河道、深槽、凸岸、凹岸、跌水、离堆山、牛轭湖， 侵蚀阶地、基座阶地、曲流阶地， 风口、袭夺湾、断头河、裂点， 三角港。	坡积裙、堆积斜坡， 冲积堆， 洪积扇、洪积阶地， 浅滩、边滩、心滩、河漫滩、江心洲、堤间洼地、天然堤， 三角洲， 堆积阶地， 冲积平原、洪积-冲积平原。
岩溶作用	溶沟、石芽、石林， 漏斗、竖井、落水洞， 溶蚀洼地、溶蚀谷地（坡立谷）， 干谷、盲谷、盲沟， 峰丛、峰林、孤峰， 溶洞、溶孔、地下河，	石钟乳、石笋、石柱， 石幕或石幔， 石灰华， 地下河或湖的堆积， 洞穴崩塌、蚀余、生物或文化层的堆积，
冰川和冰水作用	冰斗、刃脊、角峰， 悬谷、冰溜面， 冰槽谷、槽谷肩、冰蚀三角面， 冰蚀盆、羊背石， 冰下河道， 冰水湖泊。	前碛堤（终碛堤、）、冰碛阶地， 鼓丘、冰碛垄、冰碛丘、冰碛垄岗， 冰水扇、外冲平原、冰水阶地， 冰砾阜、冰砾阜阶地， 蛇形丘、锅穴， 冰川漂砾，蛇丘。
冻融作用	冰楔、裂隙， 热融滑塌， 热融沉陷漏斗、洼地、盆地， 高寒平台地坡、劈裂、秃裸台地、冻融台地、台坎， 冻融夷平面。	石海、石川、石流崩、石环、石带、多边土， 冰椎、冰丘， 冻融岩屑堆（裙、带）， 冻融泥流坡、泥流舌、泥流阶地， 土溜堆积坡。
风力作用	石窝、风蚀垄槽（雅丹）， 风蚀残丘、风蚀柱， 风蚀蘑菇、风蚀城堡， 风蚀洼地、风蚀沙地、风蚀谷。	沙波纹、沙堆、草丛沙堆、灌丛沙堆， 新月形沙丘、抛物线形沙丘、横向新月形沙丘链、梁窝状沙丘、格状沙丘、蜂窝状沙丘、金字塔状沙丘、穹状沙丘、鱼鳞状沙丘群， 新月形沙垄、纵向沙垄、复合纵向沙垄。
风、流水、重力综合作用	劣地、山前夷平面、山足面、山前剥蚀残丘、沙漠风化残丘（岛山）、干谷， 黄土塬、黄土梁、黄土峁、黄土丘陵、黄土坪、黄土崖、黄土柱、黄土桥、黄土碟、黄土陷穴。	山麓裙、土溜堆积坡， 沙漠岩漆或结皮， 石漠、砾漠、沙漠、泥漠，
海、湖、河水综合作用	海蚀穴、海蚀崖， 海蚀穹、海蚀残丘（海蚀柱）、海蚀拱桥， 海蚀台（海蚀阶地）， 海蚀水下斜坡、水下岩脊， 涨落潮流沟道、浪蚀沟， 热蚀崖、湖蚀阶地， 盐沼地、泻湖底， 河口叉道、冲刷洼坑。	海积水下斜坡、水下堤坝、海滩、滨岸堤， 海积阶地、海滨平原， 离岸坝、拦湾坝， 连岛坝、陆连岛， 砂嘴、箭状砂嘴、环状砂嘴， 泥滩岸、湿地岸。

生物作用	土拨鼠穴	珊瑚礁(环礁、堡礁)， 泥炭沼泽草丘、盐沼草丛草丘， 河漫滩草地。

2. 内力作用形成的

反映古构造的	背斜山、向斜山、单面山、猪背岭、 塔状构造阶梯、桌状台地、方山， 断层三角面、断层崖、地垒山， 穹隆山、结晶岩山地。	向斜谷、背斜谷、单斜谷， 断层谷、地堑谷， 地堑盆地、断陷盆地， 顺向河、次成河。
反映新构造活动	高原、山地、断层崖， 大陆架、大陆坡、海岭、平顶山、岛弧。	平原、盆地、地堑断陷谷地， 海沟、海盆。
岩浆活动	火山口、火山濑， 熔岩丘、熔岩流、熔岩柱、熔岩台地、熔岩垄岗， 波状或多孔熔岩面。	火山锥、寄生火山锥、盾状火山、马鬃形火山， 火山弹、火山碎屑、火山灰， 泥火山、海底火山。

3. 人为作用形成的

人类活动	露天采矿场、矿井口， 运河、渠道、梯田， 土坑、石坑、坑道， 浅井、钻孔， 路堑。	土堆、石堆， 路堤、河堤、拦河坝，防波堤、丁坝， 古代城墙及建筑物废墟， 居民点(城市、村镇)， 塔、史前遗迹。

表 5—6　地貌形态组合分类表

分类标志 \ 地貌形态组合		山地地貌组合			平原地貌组合		
形态	形态描述(平面轮廓和表面起伏形态)	平面轮廓形态	线(短线、长线)状，平行状、雁行状、羽毛状、树枝状、放射状、条带状、长圆状、格状、不规则状。		圆形、扇形、椭圆形、三角形、菱形、矩形、条带形、多角形。		
		表面起伏形态	平顶状、穹状、锯齿状、盾状、锥状、波状、垄岗状、梁峁状、浑圆梁状、岛山状、山岭状、蜂林状、石林状。		平坦、波状、平缓、倾斜、平坦-波状、缓平-波状、平坦-浅盆地状、凹状(盆地状、槽状)、丘陵状、垄岗状、波状-丘陵状、梁状-谷地状、阶梯状。		
	形态量计(比高和破坏面积百分数)	最高山＞2 000m， 高山 1 000—2 000m， 中山 500—1 000m， 低山丘陵＜500m。	割切深度	深割切＞1 000m， 中割切 500—1 000m， 浅割切＜500m。	高原平原	割切深度	深割切＞50m， 中割切 25～50m， 浅割切＜25m。
			割切程度	强烈的＞50%， 中度的 25%～50%， 微弱的＜25%。		割切程度	强烈的＞50%， 中度的 25%～50%， 微弱的＜25%。

<table>
<tr><td rowspan="4">成因</td><td>外力作用类形和强度</td><td>侵蚀-剥蚀的，
干燥剥蚀的，
岩溶的，
冰川剥蚀的，
冰川-雪蚀的，
雪蚀-泥流剥蚀的，
冰冻-土溜作用的，
海蚀-剥蚀的，
海蚀的。</td><td>强度</td><td>强烈的，
中度的，
微弱的，</td><td colspan="2">干燥剥蚀的，
冲蚀的，
海蚀的，
侵蚀-剥蚀的，
岩溶化的，
风蚀的，
冰川剥蚀的，
雪蚀-泥流剥蚀的。</td><td>冲积的，
洪积的，
洪积-冲积的，
坡积-洪积的，
湖积的，
海积的，
风积的，
湖积-冲积的，
冰积的，
冰水堆积的，
冰水-冲积的，
冰水-湖积的，
沼泽泥炭堆积的。</td><td>强度</td><td>强烈的，
中度的，
微弱的。</td></tr>
<tr><td>新构造运动类型和强度</td><td>拱形隆起的，
穹形隆起的，
褶皱隆起的，
拱断隆起的，
穹断隆起的，
翘断隆起的，
阶梯状隆起的，
扭断隆起的，
喷溢堆积的。</td><td>强烈的，
中度的，
微弱的</td><td colspan="3">普遍隆起(面状隆起)，
拱形隆起的，　　坳陷的，
断块隆起的，(面状的、局部的)
倾斜隆起的，　　断陷的，
环形隆起的，　　(断裂的断块的)
喷溢堆积的，</td><td>强度</td><td>强烈的，
中度的，
微弱的。</td></tr>
<tr><td>老构造类型</td><td colspan="3">单斜的、向斜的、背斜的，
褶皱带的(复向斜的、复背斜的)，
褶断的、断块的、地块的，
穹窿的、结晶岩体的，
挠折的、火山的。</td><td colspan="4">水平构造(板块、桌状、层状)、单斜构造的，
褶皱构造的、结晶基底的、断块的、地块的，
熔岩流的(层状、块状、波状、瓦片状、放射状)。</td></tr>
<tr><td>组成物质</td><td colspan="3">岩浆岩体(花岗岩、花岗闪长岩等)，
变质岩体(片麻岩、板岩、片岩、结晶杂岩等)，
沉积岩体(砾岩、砂岩、石英岩、页岩等)。</td><td colspan="4">火山岩体(流纹岩、安山岩、火山碎屑岩、玄武岩等)，
松散碎屑岩体(砂砾质的、黄土质的、泥质的和泥炭的等)。</td></tr>
<tr><td>地貌发育和地貌年龄</td><td>发育史</td><td>新生的，
回春的，
再生的，
残余的。</td><td>发育与构造关系</td><td>顺地形，
逆地形，
显地形，
隐地形。</td><td>发育阶段或相对年龄</td><td>幼年期的，
壮年期的，
老年期的。</td><td>地质年龄</td><td>前古生代的，
古生代的，
中生代的，
新生代的(E、N、Q)，
第四纪的(Q_{1-4})。</td></tr>
</table>

1. 山地地貌的解译

解译山地地貌，要从山地的宏观形态着手，尤其要从山地平面轮廓形态、表面起伏形态、高程和切割状况等综合影像特征着手，结合图形特征的细节，才能从图像上大致揭示出山地的整体特征及其各部的成因类型，判明山地的展布规律和构造关系，确定山地各部的结合关系与区域构造的成因联系等。

由于山地的相对高差大，地势起伏明显，在阳光照射下，向阳坡受光强，色调浅；背阳坡受光弱，色调深，整个像片上色调极不均匀。特别是高山，因相对高度大，具有尖顶山峰、狭窄锯齿状山脊和常年积雪，使其色调极不均匀；中山虽无常年积雪，但切割程度仍很强烈，亦呈极不均匀的灰色色调；低山相对高度小，山坡平缓，影像色调差异并不太大。

根据色调变化，还可以判别出山顶的形状。若其向阳面呈三角形并突出于阴影之中者，表示尖顶。其三角形的顶点，就是山顶。山顶色调变化不太明显者，说明其受光面浑圆，

山顶呈圆形。两山坡色调深浅的交界线是山脊。山脊阴坡的色调也有深浅之分，浅者为缓坡，深或有阴影者是陡坡。两山脊之间的低洼部分，是山谷。像片上可以清晰地分辨出狭谷或宽谷，狭谷两侧坡度陡峻，底部常被阴影遮盖，色调多呈黑色；宽谷底部平坦，常有农田和居民点分布其间。山谷中出现的小溪或河流，是识别山谷的有效标志。

对山地夷平面的识别，主要依靠形态特征。其表面一般是起伏不大、以剥蚀为主的平坦地面。当与周围崎岖陡峻山地形成鲜明对比时，更易确认。有时夷平面受活构造影响而变形。

2. 丘陵的解译

与山地相比，丘陵的相对高度小，地势和缓，山顶浑圆，影像色调浅而均匀，阴坡与阳坡的色调对比不太明显，呈渐变状态。

3. 盆地的解译

对盆地的识别，既要注意其整体轮廓展布特征，又要注意表面形态、盆底埋深、倾斜方向及其边界和构造关系等。由于大型构造盆地类型复杂，解译时，应当结合地质资料和构造解译，并在小比例尺图像上进行。

4. 平原和高原的解译

平原和高原地势均较平坦，色调浅灰，较为均匀，但应注意农田色调受作物长势和湿度的影响，从浅灰到深灰变化很大。其上多布有农田、居民点、道路等，易于判别。对平原和高原的解译，也要从宏观形态特征着手。既要注意整体宏观轮廓、表面起伏形态和图形细节特征，又要以地表景观异常为依据揭示其下部的隐伏构造或深部构造特征。

自然界中的大型构造地貌不是孤立存在的，它们往往遵循一定规律相互关联、彼此控制、参差交错。尽管在遥感图像上能直观地看到或分析出它们很多特点和规律，但要弄清其彼此关系并不容易，除认真细微地进行观察判别外，还要深入地作分析验证。在解译中，首先应当进行正立体观察；其次，要正确选择遥感图像的比例尺，因为只有小比例尺的遥感图像，才能最完整地显示出大型构造地貌的形态特征及其成因类型；另外，还应参阅区域自然地理资料和对有关区域地质构造格架的解译。

三、流水地貌的目视解译

地表流水是最主要的外力作用之一，它使地面形成各式各样的侵蚀沟谷和松散物质的堆积。流水地貌不仅分布广泛，而且也是解译其他地理要素的常用标志。其影像特征视气候条件、流水性质、地质状况、地势高低、植被类型和人类活动特点而异。所以，应广泛结合各地理环境要素作综合分析，注意对下列各要素的解译。

1. 侵蚀沟谷

侵蚀沟谷的形态、切割密度、性质、谷坡上的各种堆积物、地清、山崩以及沟谷网的组合特征、展布规律、发生、发展、形成条件等都能从遥感图像上解译出来，若用不同时相的图像进行对比分析，还能计算出它们的溯源侵蚀速度。

侵蚀沟谷的影像，在图像上一般呈线状。其色调视具体环境而变。若沟中有较多砂砾堆积，则多呈较浅色调；如沟旁有林木植物生长，在可见光波段图像上呈深色调、在近红外波段图像上呈浅色调、在假彩色合成图像上则呈现出红色。

侵蚀沟谷的形态特征，主要取决于岩性，所以也是岩性解译的标志之一。在大比例尺遥感图像上，对侵蚀沟谷的解译可从以下几方面入手：

(1)侵蚀沟谷的横断面形态　侵蚀沟谷的横断面形态，可分为“V”形、“凵”形和“U”形3种。在粗粒、透水性好的坚硬砂岩地区，往往形成谷坡陡、谷底窄的“V”形谷；在中粘性、弱胶结沙质粘土和黄土状土层区，常形成复合坡度的“凵”形谷；在透水性差的粘土状岩层地区，却形成开旷且谷坡较缓、谷底宽平的“U”形谷。

(2)侵蚀沟谷的纵剖面形态　侵蚀沟谷的纵剖面形态，主要表现在沟头形态、切割深度、床底坡度等方面。一般粘土类沟头多呈线形、切割浅、床底坡缓；黄土类沟头呈圈椅状陡坎，沟床是多级陡坎的复合坡；中粗粒坚硬岩层，沟头常呈缓浅的集水盆地，沟床坡陡但均匀。

(3)侵蚀沟谷的平面图形及其分布密度　侵蚀沟谷的平面图形类别较多，如树枝状、格子状、平行状、放射状等，已在前面水系格局中作过分析，不再重复。

实践证明，谷坡壁立、在图像上呈暗色曲折带状、谷底为河床的深邃而狭窄河谷多是隘谷；峡谷坡陡但并不壁立、微有切割或具有阶梯状表面、谷底常有水流、谷口色调较浅、谷底较暗、若有阶梯状表面存在时色调深浅相间；发育在岩层呈倾斜状态地区的河谷，两坡常一陡一缓、色调互异且图形也有很大差别者属不对称河谷；广泛分布在黄土区的雨裂和冲沟，其谷壁直立、谷底宽平、谷脑微圆、两侧坡度一致且对称者，称为黄土冲沟。

2. 河流阶地

河流阶地沿河岸成条带状展布，在遥感图像上，宽者显示得非常清楚；窄者，只有在大比例尺图像上才能显示出来。一般，年青阶地位子近河床两侧，色调较深，形态平整；老阶地则位于新阶地外侧或谷坡之上，形态破碎，色调均一；两阶地间的陡坎，多数色调较深，但向阳时呈比阶面浅的条带，背阳时为比阶面暗的条带。据此，可确定阶地前缘或后缘的位置，划出阶地之间的界线。另外，还可在立体像对上直接测定出各种阶地的高程。

河流阶地可分为堆积阶地、侵蚀阶地和基座阶地。

(1)堆积阶地　堆积阶地中的河漫滩和超河漫滩一级阶地，可根据色调及其利用情况加以区别。通常河漫滩为浅灰色调，但当河漫滩上布有因河流移动而造成的湖泊和沼泽化低地时，则变为斑斑点点较复杂的灰色调图案；超河漫滩一级阶地，色调浅而均一，上面广布耕地、道路和居民点。

(2)侵蚀阶地　侵蚀阶地完全由基岩组成，其阶面和阶坎色调较暗，而且多位于河流上游的山区。

(3)基座阶地　由于地面上有较厚的淤积物，阶地陡坎露出基岩，因此，阶面上色调较浅，有不同的花纹图案，有时还有耕地和居民点；基座或陡坎处色调较深。

3. 河床

河床的横剖面是一低洼槽形，在山区者较窄，两岸多有山咀突出，岸线犬牙交错；平原区者较为宽浅，平面形态多弯曲或分汊。

根据河床中水体在遥感图像上所表现的条带状图案，就能非常容易地识别出河床的形态特征和河谷中水流分布图形。河流的色调，取决于水的深浅及其浑浊程度。清澈、较深的河流，多为深灰色；水浅或浑浊的河流，则为浅灰色。河床迁移所形成的牛轭湖是河床

迁移的典型标志。河流迁移后一些弯曲条带状遗迹，在图像上清晰可辨。所以，遥感图像也是研究古河道的有效工具。图 5—24 是平原上自由曲流、牛轭湖和古河道的影像。有的古河道虽已辟为农田，但其河道遗迹仍清晰可辨。

图 5—24　自由曲流、牛轭湖和古河道

4，冲积堆和洪积扇

冲积堆和洪积扇是干旱、半干旱区河流在山麓带和山谷出口处所形成的半锥形扇状堆积体。

干旱、半干旱区山麓带的冲积堆、洪积扇及其组合发育非常广泛。在遥感图像上其单个形态多呈扇形(图 5—25)，极易辨认。冲积堆坡度较大、规模较小；洪积扇则坡度较缓、规模较大。堆和扇上都发育有撒开的扇状水系，堆与短小的山地河流相联系，扇与长大河

图 5—25　山麓冲积扇

流有关。

由于冲积堆的组成物质较为粗大，所以影像色调较浅；因洪积扇的组成物质随其所处部位有别，故影像色调各异。一般在顶部或中上部，组成物质粗大、水流下渗，色调明亮较浅；而边缘部分物质较细、且有地下水接近地表或溢出地面，色调较暗。

洪积扇在山前连成一片的组合形态，构成山前倾斜冲积平原，但扇交接处的洼地呈现偏深色调，仍可分辨。

洪积扇的发育，和气候、构造有关：

若气候向湿润转变，河流流量增加、沉积物数量增多、堆积范围扩大，较粗大的物质可能堆积在前一时期较细物质之上，且扇的坡度变缓；当气候变干时，河流水量降低、携带物质减少、且只能堆积在洪积扇的中央、范围缩小、坡度变陡，这都会引起影像形态和色调的变化。

洪积扇顶端或其前缘呈直线状排列、扇面被切割成台地现象者，是山前活断裂存在的反映；洪积扇若呈叠瓦状或串珠状排列，为山麓带近期抬升的反映；洪积扇如呈偏斜展布，是山麓构造不均衡升降的反映。

冲积堆和洪积扇可分为活动与静止两种类型。前者，上面有暂时性的扇状细流网，植被较少，色调较浅；后者，一般比较古老，没有继续扩大现象，表面常有木本植物及杂草，色调较暗，洪流也有较为固定的谷道。

四、冰川地貌的目视解译

我国西部山区，广泛分布着现代冰川和冰川地貌。现代冰川影像的明亮色调、特殊形态，在遥感图像上是易于辨认的。所以，利用不同比例尺遥感图像从事现代冰川的研究，尤其是对人迹罕至的高山冰川和冰川地貌的研究是非常有利的。

利用遥感图像，能比较容易地分辨出冰川的分布范围、覆盖面积、冰的储量；查明冰舌的进退、雪线高度的变化、冰川的积累和消融、冰川的发展和退化，以及确定不同高度、不同气候带的冰川类型。

在大比例尺遥感图像上，可以判定冰川地貌独特的形态细节(图 5—26)，如冰川槽谷、悬谷、角峰、刃脊、冰斗、冰舌、冰裂隙、冰碛物等。通常，冰川谷的横剖面呈谷底缓平开阔、谷坡陡峭的“U”形，在支冰川谷汇入主冰川谷时，常形成悬谷。冰川谷的纵剖面没有河谷那样平缓，常有上游低于下游情况。当冰川后退以后，在冰川谷侧面会形成长垄状侧碛，冰川终端则形成终碛。终碛在图像上较易辨认，它常形成冰碛堤，横截主谷呈弧形，弧形凸向下游。在终碛后面常有冰碛湖或沼泽化地区。冰斗出现在冰川上游的雪线附近，三面是陡岩峭壁，只有一个开口朝向冰川下游。在冰斗与冰斗之间常有锯齿状山脊和角峰。

冰川地貌的这些特征，在立体镜下观察更为清晰。另外，在大比例尺图像上还能识别出巨大的古冰蚀地形和古冰碛地形，前者色调偏浅，后者色调偏暗，总的图形呈花斑状图案。

五、岩溶地貌的目视解译

在炎热多雨的热带亚热带碳酸盐岩分布区，岩溶地貌特别发育，遥感图像上也最为常

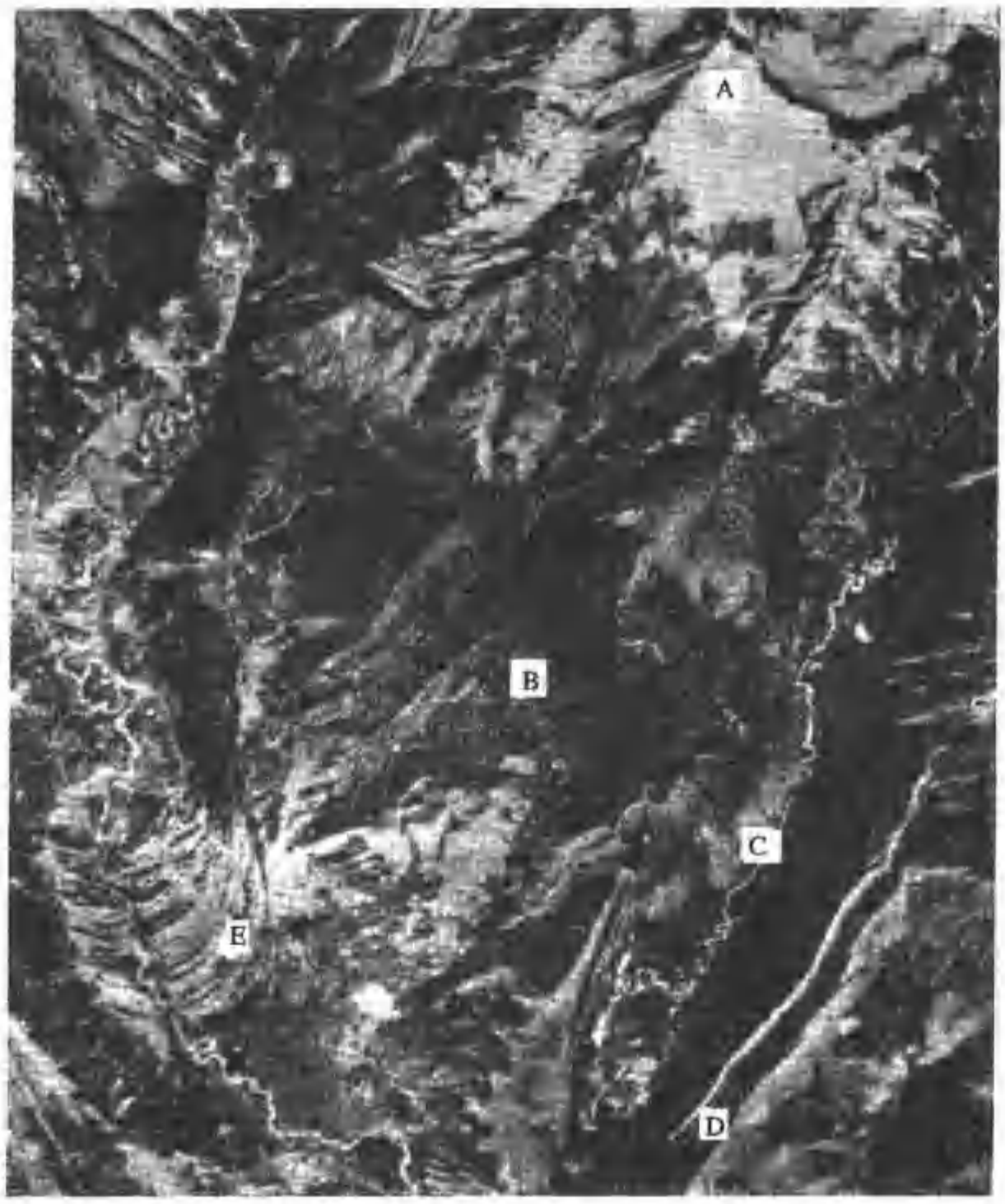


图 5—26　冰川地貌

A-角峰；B-悬谷；C-槽谷；D-侧碛；E-终碛

见，极易识别。岩溶地貌的突出特点是负地形特别发育，所以在岩溶区就形成凹下与凸起形态相互交错的复杂地形，在图像上构成黑白色调交替的图案（图 5—27、28）。图像上最显眼的岩溶现象是溶沟和溶蚀残山。此外，还有漏斗、溶蚀洼地和坡立谷。

溶沟多为浅色调，受灰岩裂隙控制者，呈线状或菱形网格状（图 5—27）影像，受灰岩岩性和地形控制者，呈脑纹状图形。

溶蚀残山（峰林），其形态受碳酸盐岩的厚度、产状和岩溶发育阶段的影响。在大比例尺立体像对上可解译出各种类型的峰林，常见者有锥状峰林和筒状峰林。前者，多发育在倾斜岩层区，后者在水平岩层区发育，其影像特征常呈丘林状或峰林状图案。在小比例尺图像上，呈深色调、密集斑点状、橘皮状或花生壳状花纹图案。

溶蚀漏斗，是灰岩层上溶蚀成的圆形或椭圆形洼地，但图像上多呈凹坑状或斑点状图案（图 5—28），深色调，若底部有松散沉积物充填，则呈灰白色调。溶蚀漏斗大多成群出现，分布密度和碳酸盐岩的成分、裂隙密度与地面坡度有关。在纯灰岩或泥灰岩地区，裂隙愈发育、坡度愈缓，漏斗愈密集。一般在断层或裂隙的交叉点上，溶蚀漏斗发育最好。

溶蚀洼地，是一种比漏斗规模大、形状不规则的封闭洼地，多为漏斗逐渐扩大和崩塌作用相连而成的。溶蚀洼地有时也受构造控制，但其影响表现却不如漏斗那样直观明显。洼地底部常有松散沉积物堆积，色调较浅。

坡立谷（岩溶盆地），是一种更大型的岩溶盆地，其宽度自数百米至数公里不等，长度可达几十公里。坡立谷的分布与外形，和区域构造关系更为密切。通常，沿灰岩与其他岩石接触面发育的坡立谷呈长条形，谷形不对称，灰岩一侧谷壁陡，非灰岩一侧谷壁缓；沿断裂带发育的坡立谷，亦呈长条状，谷底较平坦；沿向斜轴发育的坡立谷，多呈梭形或椭圆形。

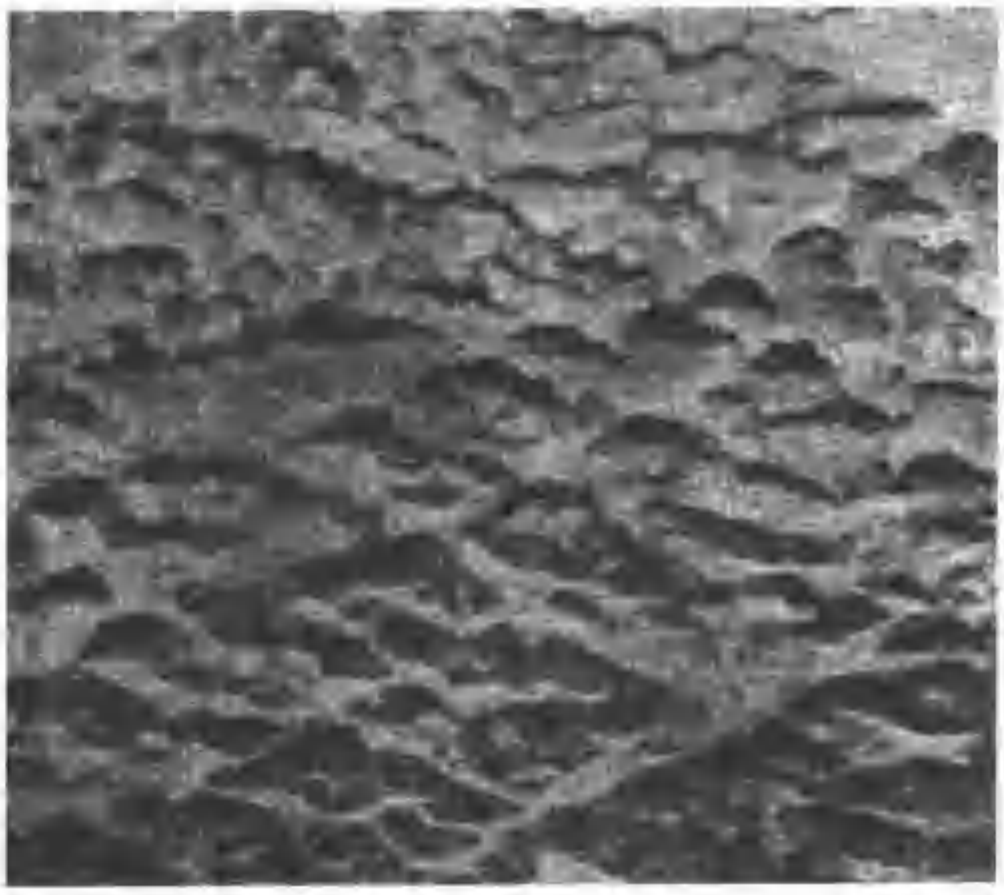


图 5—27　峰林和溶沟的菱块状组合

岩溶盆地中，常散落着峰林等岩溶地形。盆底平缓，常有溶蚀残留的黄棕色或红色粘土覆盖其上，有时还有河流冲积物，耕地、居民点亦集中其间。

在灰岩区的遥感图像上，还能看到断断续续呈线状出现的不连续河谷，是为盲谷。盲谷、干谷、成串漏斗等，在图像上呈线性展布的特征，可作为分析、判别地下暗河的重要解译标志。

图 5—28　溶蚀漏斗

六、风成地貌的目视解译

风成地貌，是由风的侵蚀和堆积作用形成的，多发育在干旱地区。

在松散岩层上，最显著的风蚀地貌是风蚀洼地和雅丹地形。它们多顺盛行风向展布，前者是大小不一的浅圆洼地，后者为无数条浅而长伸的凹槽。在坚硬岩层上，除形成局部凹槽外，并刻划扩大了那些已有的节理、裂隙和断层等软弱部分，使其构造形迹特别突出，风蚀后被沙子填充的破碎带，在影像上表现为明亮的线条。

最典型的风积地貌，是各种类型的沙丘及其组合。解译时，应首先判别出活动沙丘或固定沙丘。活动沙丘由新鲜干沙组成，具有很高的反射强度，在图像上色调很浅，峰脊线尖锐清晰，平面形态比较规则；固定沙丘生长植物，有成土过程，在图像上色调较暗，峰顶圆

浑，平面形态较为紊乱。

在一般情况下，沙丘在图像上都呈浅亮色调，只有阴影部分呈深色调；沙丘间的洼地、湿地含水多的部分，色调多为灰或灰暗，而泉水无论大小都成为明显的黑色斑点；在假彩色合成图像上带有细小红色斑点，是植被的反映。

随着所处地理环境的不同，沙丘又能发育成新月形沙丘、纵向沙垄、横向沙垄等不同类型。新月形沙丘是由单向风造成的，形似新月、向风坡缓长、背风坡陡短、两面不对称、影像色调也不一致。新月形沙丘若相互连接，可形成纵向沙垄、横向沙垄及其组合等。纵向沙垄平行于风向，横断面呈等边三角形，常有若干条平行排列；横向沙垄多由新月形沙丘组合而成，其排列方向与主导风向垂直，两坡不对称(图 5—29)。在遥感图像上，根据其组合形态和展布特征，还能判别出其他形态类型。

图 5—29　风沙地貌

七、黄土地貌的目视解译

黄土是一种黄色、质地均一的第四纪土状堆积物。在我国主要分布在北纬 34°～35°之间的干旱和半干旱温带森林草原地区。它具有质地疏松、土粒微细、性质均一、空隙较多、富含 $CaCO_3$、垂直节理发育、透水性强、易沉陷等特殊物理化学性质。所以，在外力作用下(主要是流水作用)，造成千沟万壑，地面被切割得支离破碎，出现许许多多沟谷和沟间地等负向与正向地形，即所谓黄土地貌。

黄土地貌一般可分为黄土沟谷地貌、黄土沟(谷)间地地貌和黄土潜蚀地貌(黄土喀斯特)等几种类型。

黄土地区的沟谷系统，多呈树枝状，谷坡较陡，几乎壁立。在沟谷岸边上，常有漏斗状陷穴发育，使沟谷边缘呈弧形或锯齿状，这些形态特征，在黄土地区非常突出。沟谷底部的平坦地段，称之为川，川地两旁的黄土台地谓之坪，在立体镜下都可以辨别出来。

黄土沟间地主要是指塬、墚、峁等地貌形态，它们是黄土高原平坦地面经流水切割侵

蚀后的残留部分。黄土塬是黄土堆积的高原面，多为沟谷切割，四周多被侵蚀为台地和丘陵。中心部分，地势极为平坦，倾斜不到1°，边缘地带可倾斜至5°。塬上分布着村庄和耕地，色调比较均匀(图5—30)。黄土墚是两个沟谷间的长条形黄土高地，多半是由塬地沟谷侵蚀而成的平顶丘陵。黄土峁是一种孤立的黄土丘，平面呈椭圆或圆形，峁顶为圆穹状，若干峁连接起来形成和缓起伏的墚峁，统称黄土丘陵。

图5—30　黄土地貌

由于黄土高原地势较高、地面干燥、土壤颜色较浅，致使黄土地貌在影像上色调浅而均匀，尤其是在黄土塬或黄土墚上的裸露耕地，色调更浅，一般呈灰白色调。

八、海岸地貌的目视解译

我国东部濒临海洋，岸线横跨一系列地质构造带和气候带，地理环境复杂、海岸类型齐全、海岸地貌发育。在遥感图像上，对各类滨岸海底地貌和海岸地貌清晰可辨。

通常，在无泥沙流和浑水流干扰条件下，水域色调的深浅恰恰反映了与之相对应的海底深度：不同色调的界面，常反映的是水下构造陡坎，而不同浅色色调又反映出水下海蚀台阶坎；喇叭口状的形态和从河口地段向海陆两个方向伸展的深色调所示深水部位，是水下溺谷和水下河槽的解译标志；水下沙坝和沙滩具有色调浅亮、轮廓清晰的影像特征；浅色调、轮廓较为模糊，呈扩散的烟雾状、飘带状或羽毛状者，是沿岸泥沙流的反映。

海滩是由激浪流形成的与陆地相连接的沙砾质堆积体，在像片上呈条带状浅色调；海滩上部平行于岸线的堤状地形，谓之沙堤，其影像呈明显的线状亮带。沙堤之间常有色调深暗的明显洼地，或为沼泽或为潟湖(图5—31)，深暗色调的洼地与沙堤的明亮色调，在图像上形成鲜明的对比。如有多条沙堤并存，其高度变化常反映海陆相对高差的变化，当近陆老沙堤高于近海新沙堤时，是陆地上升或海面下降的指示，若一系列老沙堤与一系列新沙堤相交，其交线可能就是活动断裂的标志。

色调、植被和微地貌起伏状态可区分不同时代的古岸线，色调浅而呈条带状的海成阶

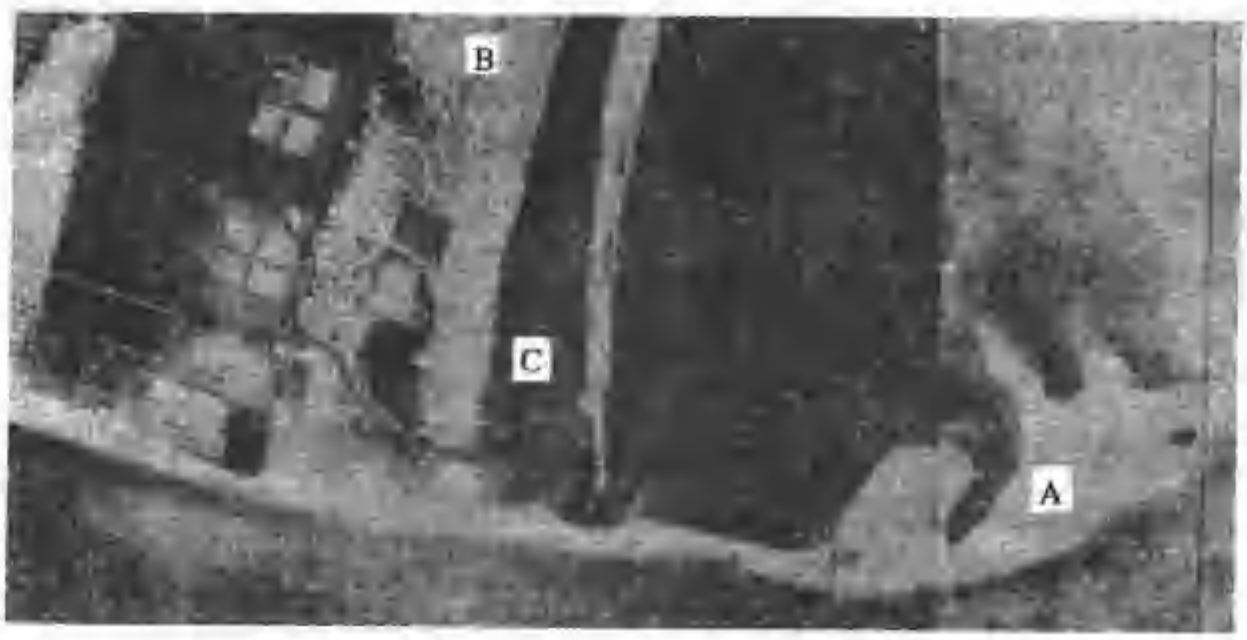


图 5—31　海岸地貌

A-海岸沙嘴;B-沙坝沙堤;C-潟湖

地，是区分古岸线与现代岸线的标志；深暗色调和密如蛛网的潮水细沟，是潮间平滩的反映。另外，利用遥感图像对河口的分类、河流动力条件、三角洲河道叉流的形成与分布规律、河口区泥沙相对含量、河口水下三角洲的分布与增长速度以及对海岸类型、特征及其展布格局与线性构造间的关系等方面研究也十分方便。

九、火山及熔岩地貌的目视解译

火山及熔岩地貌，是指岩浆喷发堆积成的锥状火山体、岩浆溢出地面所形成的熔岩台地等地貌形态。这类地貌，在遥感图像上是十分清晰易辨的。

火山锥在小比例尺图像上表现为小而圆的斑点状图形，在大比例尺图像上则是锥形山体，具有放射状水系或冲沟，火山口和火口湖。年青的火山锥，外貌保持完整，在图像上极易识别；古火山虽经长期侵蚀破坏，但仍能表现出残留的环状山形影像。有的形成以火山颈为中心呈放射状分布的火山骨架地形，有些环形断裂也可能是古火山的反映。火山锥在图像上常成群出现，其空间分布有一定方向性，常沿某些线性构造延伸方向展布或出现在它们的交叉部位，反映出它与地质构造间的密切关系。

熔岩地貌的影像特征，在小比例尺图像上表现为色调不同的斑块状；在大比例尺图像上，表现为熔岩台地。其影像形态与色调多与熔岩性质有关，酸性熔岩台地色调较浅，表面多为崎岖的渣块状；基性熔岩台地，色调较深，表面光滑，并有熔岩流动条纹，表现为纵向细沟和横向环纹。图 5—32 为中生代火山、火山锥体，基性熔岩绳状流动构造清晰可见。

第四节　水体解译

水体是重要的自然地理要素之一，它不仅对地区景观特点有重大影响，而且，也是其他地理环境要素的解译标志。色调和形态是水体的主要解译标志，其色调受制于水体的深浅、浑浊度以及光照条件，由白、灰到黑变化很大。一般浅水沙底、含沙量大而浑浊、水面结冰或光的反射作用较强时，其影像色调为浅灰或白色；反之，浅水淤泥质底或水深较大者，

图 5—32　火山及熔岩地貌

色调则深。至于水体的形态，则视其容体轮廓而定。本节仅重点介绍有关河流、湖泊和海洋等地表水体解译的有关问题。

一、河流的目视解译

河流在航空像片上表现为界限明显、弯曲自然、宽窄不一的带状，其色调暗而均匀，并常有堤坝、桥梁、船舶、码头等附属建筑物作为其辅助解译依据，非常容易识别。

有时根据解译任务的需要，还可利用航空像片对河流的流向、流速、河宽和通航情况等做出确切的判定。

应当注意，在判别河流流向时，最好是进行立体观察，以正确判定其流经地区地形的高低起伏和分水岭的位置，在此基础上确定其流向才能正确无误。确定河流流向最简单并常用的方法，是利用一些间接标志判定，其方法可参阅前面有关章节。

在航片上测算河流流速，虽很困难，但还是可以进行的。例如，根据河面上某一漂浮物体，在摄影时两次曝光间隔时间内的移动距离就可计算出来，但必须知道摄影时飞机的飞行速度，才能作出正确的测算。

河流的宽度，在经纠正处理的航片上可以直接量取；而通航情况却需根据河流沿岸码头设施和河中往来船只等进行判定。

二、湖泊的目视解译

自然界中存在着形形色色的天然、人造湖泊，它们是区域综合景观的一种表现。其形态轮廓特征、展布格局及其扩张、萎缩、变迁和岸线的演变过程，在遥感图像上都留下直观的形迹显示。所以，对湖泊的形态特征、展布格局、成因类型以及它们的发生、发展和消亡的演化规律，都能从航片上解译出来。

色调暗而均匀，轮廓呈自然弯曲的闭合曲线，这种鲜明的湖泊标志特征，在航片上一

目了然。但当湖中生有水草或其他植物时，则较难判别。

在航片上，不仅能直接量测湖泊的大小、勾勒湖岸线的平面结构和外形轮廓，而且也能清楚地判别出湖泊的发育过程，尤其是当湖泊萎缩趋近消失时更易判定。对湖泊补给区的解译，则需用像片略图。

三、海域的目视解译

这里所说的海域，是指海岸附近的浅海海域。对这部分水体的解译，是以判别海岸线、潮侵地带和高、低潮的位置等为其对象的。在图像上，沿海水域一般为暗灰色调，但由于海浪影响，色调不太均匀。

根据水涯线，就能在航片上比较清晰地把潮侵地带判别出来，这是因为该地带没有植物生长，且有较新沉积物出现的缘故。若在反光立体镜下，还能用视差杆测出高、低湖的水位高差。另外，根据河口泥沙流的方向，还能判明沿岸沉积物的搬运方向。

第五节　土壤、植被解译

从地理工作角度出发，对土壤、植被的解译目的，主要是判定土壤类型、植物群落、性状、分布范围及其分布规律，为查明土壤、植物资源及其开发利用现状与前景提供资料。

一、土壤的目视解译

由于土壤没有一定的几何形状，且又多被植被所覆盖，使其不能直接反映在图像上。即使是裸露土壤，在图像上也只是土壤表面而不是其垂直剖面的反映。因此，要根据影像特征来确定各种土壤类型、性状及其分布状况的确是不太容易的。虽然如此，但由于不同类型土壤的物理性状和化学成分不同，其光谱特性也就有所差异；又因自然界的一切现象决不是孤立存在而是与周围环境有密切内在联系的，所以，也就有可能在航片上进行土壤解译工作。实践证明，在航空像片上无论作自然土壤还是农业土壤的解译，都能取得较好效果，显示出了大、中比例尺土壤调查制图的优越性。

1. 土壤解译标志及其基本方法

色调和图案是进行土壤解译的基本标志。土壤的色调是受其有机质含量高低、湿度大小和质地粗细等因素控制的。若土壤有机质含量高、湿度大、质地细，其色调则暗；如有机质含量低、湿度小、质地粗，色调则浅。所以，砂质土壤多为浅灰色调，而粘土质土壤的影像色调则呈深灰色。

土壤影像的图案特征，也视其土壤类型而异。例如，根据菜畦和水田所形成的图案，就能比较清晰地把菜园土、水稻土和一般旱作土分辨出来。

其实，依据土壤的基本解译标志，直接从图像上解译出的土壤类型还是少数的，而大部分的土壤类型多半是根据土壤发生学的理论，按照成土因素用逻辑推理的方法判定出来的。

众所周知，土壤是在气候、植被、母质、地形以及农业生产活动等诸多因素的综合影响下所形成的历史自然体，因此，只要某些成土因素有所变化，必然也就会导致土壤的相应

变化，生成不同的土壤类型。例如，在温差大、雨量少、植被十分稀疏的我国西北大陆性气候区，多为荒漠土；而在寒温、湿润气候条件下的我国东北林区，则是灰化土或灰色森林土；到气候温暖、雨量充沛的长江以南森林地区，又出现了红壤。可见，根据区域景观特点，是能推断出相应的土壤类型的。用这种方法辨识土壤类型，尤其是判定自然土壤类型是比较有效的。

依靠对成土因素的分析，用逻辑推理的方法进行土壤解译，可按以下步骤分级进行：

(1)根据地形、植被确定区域景观类型，并勾画其界限；例如可先将其划分出山地、丘陵、平原、盆地、森林区、水稻区、旱作区等。

(2)再在同一景观类型区域内，根据地貌特点判定其母质类型，勾画出不同母质的分布范围，以判定不同的土属。

(3)根据微地貌和阴影特点推断不同土种，勾画其轮廓界限。

(4)抽样化验，确定土壤类型。

利用微地貌的差异对平原区农业土壤的判别尤具重要意义，这是因为微地貌的特点不仅对土壤质地有直接影响，而且对其水分、肥力的再分配也有密切关系。所以，微地貌的界线，往往就是不同土种的分界。

2. 不同条件下土壤的目视解译

(1)裸露土壤的解译　当作物收割后或尚在其幼苗期的农田、植被生长极为稀疏的荒漠土壤、盐渍化土壤以及其他裸地等，都能将其表面直接反映在像片上，根据解译标志，有时可以直接判别出土壤类型来。当然，凡有机质含量高、湿度大的土壤，其影像色调较暗，而盐渍化或灰化土壤，则多为浅色调。同时，根据所处的生物—气候带、地形部位及其周围的不同母质，往往就能识别出沼泽土、黑土、盐土、灰化土、石灰土和白浆土等。从其色调深浅程度上还能判定土壤沼泽化、灰化、盐渍化程度，推断出腐殖质含量的多少。

裸露土壤的图案特征，受土表结构的影响相当显著。通常，凡具有良好结构的土壤，多呈均匀棉絮状图案；板结的沉板田、白浆土和盐碱化土壤，常呈单调均一的浅色影像。

土壤质地对其影像特征也有显著影响。例如，砂质土壤常常形成明亮影像，但砂地若因遭受风蚀而高低不平，则会产生微小阴影，造成不规则的色调变化，甚至可以形成明显的沙丘和沙垄。

(2)有自然植被覆盖土壤的解译　由于这类土壤被自然植被所遮盖，不能在图像上直接反映出来，所以只好根据土壤与自然植被间密切的依存关系，来间接地推断土壤类型及其性状。

譬如，利用在图像上识别植被的有关知识，不仅很容易地能把林区和非林区区分开来，面且还可以进一步分出针叶林、阔叶林和由不同林木组成的其他林型。在此基础上，就能判定出森林土、非森林土和各种林型相对应的不同土壤类型。

对草本植物的种类虽然比较难以判别，但可依植物群落判定土壤类型。如果从遥感图像上能分辨出草原、草甸和沼泽三类群落，那末，就可以确定在草本植物下发育而成的草原土、草甸土和沼泽土等三大土壤类型。

(3)被作物覆盖的农业土壤解译　当农田作物接近封行时，地表全部被作物本身的阴影所遮盖，这时图像上所反映的主要是作物而不是土壤的影像。在这种情况下，只好依靠

因地制宜、看土种植的经验，通过作物种类和土地利用方式来确定土壤类型了。例如，华北地区，高粱一般种在低洼易涝的沼泽化土壤上；玉米多种于水肥条件较好的草甸性土壤区；花生多种于沙性土上，而小豆则常种植在高燥脊薄的土地上等。

在一般情况下，水田、旱地、菜园、果林等农业用地在图像上是很容易识别的，尤其是在较大比例尺航片上更易区分。通常，田块分割较小、四周为粗细均匀、边缘光滑、交角明显的暗色线条所封闭，且呈网状或笋节状图案特点的，多为水田影像；而旱地的边缘线条，一般较为毛糙，影像色调也相对较浅；菜园土多呈明暗相间的栅栏状；而行列整齐的圆点状图案，即是果园。

可见，对土壤的解译是比较复杂的。所以，在判别土壤类型时，不但要利用各种解译标志全面分析其影像特征，而且还要更加注意判明与土壤有密切依存关系的因素，做到相互补充、互相验证，这样才能取得较好的解译效果。

二、植被的目视解译

确定植被的解译内容，应当视其解译目的而定。就地理工作而言，主要是判定植物群落的类别、性状及其分布规律。

1. 植被的目视解译标志

在植被解译中，其形状、大小、色调、阴影以及图案等解译标志都有重要的意义和作用。但由于植被具随季节变化的明显特点，所以使某些解译标志亦随季节而变，很不稳定。例如色调，随着植被夏绿秋黄的变化则夏深而秋浅，草本植物和落叶树表现得尤为明显。另外，落叶树的树冠及其阴影形状，也随季节的不同有相应变化。故而在进行植被解译时，必须考虑植被的物候特征。

图像比例尺的不同，植被解译标志的作用也不一样。例如，在夏季拍摄的大比例尺图像上，不同树种的色调虽然差别不大，但它能明显地反映出不同树种所特有的树冠形状、颗粒大小及其本身阴影的特点，所以形状和大小就成为判定不同树种的主要依据。而在秋季拍摄的中、小比例尺图像上，由于比例尺较小，各种形状的树冠在图像上都呈现为圆形颗粒，这时，影像的形状和大小就失去了判别图像的价值，而色调差异就成了主要的解译依据。所以，在作植被解译时不仅要注意图像比例尺的选择，而且还应注意对不同比例尺图像的使用方法。

用于判别植被的形态标志，多指成熟林的树冠形状，在立体镜下可将其识别出来。若是独立树或林地背光一侧，用其落影也能判定。

此外，树种的立地条件对植被的解译也至关重要，因为不同的树种都有各自的生物学特征，从而形成了不同分布规律，可作解译参考。例如，分布于小兴安岭的云杉、冷杉和红松，单从其树冠形态和色调上是很难区分的，但若考虑到云杉、冷杉多分布在低洼的河滩地上，而红松却宜生长在排水良好的山脊和坡地上这一立地条件的差别，就能较容易地将其分辨出来，其他植被依然如此。可见，植物的立地条件是植被解译中非常有效的参考标志。

2. 几种主要植物群落的解译

为了提高在图像上识别不同植物群落的能力，现列举几种常见植物群落的目视解译

依据。

(1)针叶林　针叶林是由松、柏、杉、枞等常青树种组成的，它们在可见光波段的反射率较低，所以，不管在任何季节拍摄的图像上，都呈现深灰色调，其树冠形态常呈锥形或边缘不整齐的锯齿形，较易识别。

(2)阔叶林　阔叶林有杨、枫、榆、栎等很多类型。其影像特征受地区或成像季节的影响很大，在不同季节和地区的像片上，其树冠形状、色调和阴影都不相同。夏季，阔叶林的色调基本一致，比针叶林稍浅，在立体镜下多为棉桃状，向阳部分色调浅，背阴部分色调深。秋冬季节树叶凋落，色调变浅，与针叶林色调差别很大，常呈不规则灰色网状。由不同树种组成的杂木林，除具有深浅混杂的色调外，且常生长在山的阴坡。

平坦地区的果树林，种植较规则，排列整齐；在山区则多种植在居民点附近或农田四周土层较厚的地方。

(3)灌木丛　灌木丛一般具有颗粒细小、浅灰-深灰的均一色调，但因其种类较多，影像特征也比较复杂，所以，往往须借助其他地带性分布规律来加以区别。例如，华北地区的荆条灌丛多生长在山地向阳坡，而绣线菊等类灌丛却生长在山地背阴坡，二者的色调和颗粒大致相同，不易区分，但根据其生态环境却能把它们区别开来。

(4)竹林　竹林的色调比阔叶林还浅，呈浅灰色，图案为整齐的毛絮状。大片竹林多生长在我国南方，北方只在个别地方有零星种植。

(5)草本植物　草本植物主要是根据其影像色调进行判别。例如，草原的影像色调一般为浅灰色，干草原色调更浅，湿草地的色调相对较深。

第六节　居民地和道路的解译

一、居民地的目视解译

通常把居民地分为城市、集镇和农村 3 种不同类型。无论任何一种类型的居民地，在各种比例尺的遥感图像上，都比较容易识别。

1. 城市

城市具有面积大、建筑多、街道宽而整齐、布局严谨、路网稠密、交通便利、功能齐全等突出特点。

位置优越、交通便利是城市建设与发展的首要条件。所以，任何一个城市，都是交通道路的汇聚中心，或临江、河、湖、海岸旁而建并有码头、桥梁等建筑。这些标志，在图像上反映得非常清楚。城市在图像上另一突出特点，是其有特色的平面图形结构。由于城市的房屋、道路多而密，故排列有序、布局紧凑。或为棋盘式、或为放射式、或为综合式等的平面结构，在图像上都能较为清晰地反映出来。在大比例尺图像上，尚能根据屋顶的高度标志判定出房屋的结构。例如，层次多、落影长、浅灰色调的房屋，多为钢筋水泥结构；而砖木结构的房屋，一般较为矮小、落影较短，且为深灰色调。

如果要从图像上判别建筑物的用途、土地利用性质和城市功能区分情况，除根据特殊建筑物的形状、位置确定外，还要注意其附属建筑。譬如，商业区多在城市中心，街道整齐，

临街房屋高大，街上行人、车辆较多；工业区则多建于城市边缘交通方便的地方，常有铁路相通，房屋排列不甚整齐，院内常有水塔、烟囱、燃料堆、材料堆放场等；特别是纺织厂、钢铁厂，尚有特殊的厂房形状和高炉等标志可作解译之参考；学校的校园内都有运动场，而住宅区的房屋，却多矮小、零乱、组成小的院落，但新式住宅区则是像图案一样排列整齐的楼房。另外，在城市周围往往还有菜园分布，其栅栏状图案是菜畦特有的影像特征，较易识别。

2. 集镇

集镇一般多分布在铁路或公路沿线，常有车站建筑物。其面积较城市小，街道窄且不规则，无一定的平面图形结构，但有工厂、学校和主要大街形成的商业区，周围有农田或菜园分布。

3. 农村

农村型居民地小而分散，但其结构与分散程度，随其自然环境和历史发展条件有很大差别。一般，我国北方的农村比南方农村居民地的面积要大，也比较集中；平原区又比山区居民地的面积大而集中。由于山地耕作条件的限制，所以多为分散的小村庄。

农村的轮廓在遥感图像上是比较容易识别的。但若其房顶建筑材料与背景对阳光的反射差别不大时，其色调差别也就很小，特别是南方山区，有时只有二三户构成一个居民点，若航片比例尺再小，就很难分辨出来。在这种情况下，只好利用农田和道路等间接解译标志进行判定了。

二、道路的目视解译

道路有铁路、公路、农村大路和小路之分，解译时，是根据其路面宽度、色调和形状进行识别的。

1. 铁路

在遥感图像上，铁路通常都是转弯平滑均匀的暗灰色线状影像。其沿线有停车站、水塔等附属建筑群。有公路或大路穿越时不是立体交叉，面多为垂直通过。

在大比例尺像片上，可以直接看出单轨或双轨铁路，而在中、小比例尺像片上，却需靠量算方法才能分辨出来。单轨铁路，其路基一般宽约 5m；双轨铁路的路基，则宽达 10m 左右。

2. 公路

图像上公路影像的图形与铁路相似，均呈线状，它与铁路相互区别的主要标志是其转弯较急，曲率半径较小且与农村大路不一定成直角相交等。

由于路面材料不同，使公路影像的色调从浅灰到深灰差别很大。砂石路面的简易公路，色调较浅；沥青路面的公路，因其反射率低，故多为深灰色。公路的级别，可根据影像色调、路面宽窄及其附属建筑物的差异进行判别。主要公路多是沥青路面，宽度大，过河桥梁多是钢筋混凝土或石质结构；而简易公路则为砂石路面，色调浅，宽度小，过河桥梁却是木、石结构，用立体镜可以分辨。

第七节　其他航空遥感图像解译

由于现代遥感技术的飞速发展，在普通黑白航空像片的基础上又出现了彩色、黑白红外、彩色红外、多光谱和雷达图像，这就大大丰富了人们探测地面信息的手段，提高了影像对地物的反映精度。与普通黑白像片相比，其解译标志虽有所类同，但其中也有很大差异。本节将概略介绍这些遥感图像的有关特点和使用时应当注意的问题。

一、彩色像片的目视解译

彩色像片和普通黑白像片都是全色片，它们所反映的也都是可见光波段的信息，解译时虽然也是根据其形状、大小、色调、阴影与组合图案等判别所摄对象，但其最明显的区别是色调和色彩。普通黑白像片上的色调，是从白到黑在灰度深浅上的变化，而彩色像片，却真实地反映出被摄物体本身所固有的各种不同颜色。可以说彩色像片上，地物影像的颜色是地物天然色彩的再现，所以也把它称之为天然彩色航空像片。

应当注意的是，由于摄影时间、摄影高度、物体亮度及其表面结构和洗印技术条件的影响，有时会造成影像颜色的失真。

太阳是彩色像片的光源，投射于大地表面的阳光光谱成分，视纬度、季节、时间和天气情况有所变化。通常，夏季拍摄的像片有所偏蓝，而冬季拍摄的像片却又偏橙。即便是在同一季节，若拍摄时间不同，其颜色也有差异。所以，在解译彩色像片时，应了解拍摄时间，以正确理解像片上所反映的各种地物颜色。

地物的反射光量，随摄影高度而变。航高越大，地物的反射光量衰减越多，从面降低了影像颜色的饱和度，使颜色不够鲜艳；另外，航高越大，接受太阳短波辐射越多，从而使影像上的地物颜色都带有青、蓝或紫色成分。因此，航高越大，影像上颜色的失真就越严重。

影像颜色的深浅变化，受地物亮度的影响。地物亮度越大，其影像颜色越浅；反之，影像颜色则深。影像颜色的鲜艳程度，与颜色的饱和度有关。饱和度除受航高影响外，还受地物表面结构的影响。表面愈光滑，颜色饱和度则愈大，看起来也愈鲜艳；粗糙表面，其颜色饱和度较小，所以影像的颜色就不够鲜艳。

再则，洗印技术条件对彩色像片的影响也很明显。但总的来说，彩色像片比普通黑白像片要优越得多。实验证明，在 1∶2.5 万航片上，彩色像片的信息量要比普通黑白像片的信息量平均多 15%左右。

二、红外像片的目视解译

红外线属于电磁波谱中的一部分，位于可见光和微波波段之间，波长为 0.75～1 000μ，是非可见光(表 2—1)。其中，波长为 0.75～0.9μ 的近红外波段能被乳胶感光，所以又叫摄影红外。

目前所用的红外胶片，对 0.4～0.9μ 的电磁波较为敏感，也就是说，红外像片上既能反映可见光波段的地物信息，又能反映人眼看不到的近红外波段信息，这与只能反映可见光地物影像的全色像片相比，显然不同。

红外航空像片是采用摄影方式成像的，太阳是其直接光源，所探测的是地物近红外波段信息。红外航空像片，一般分为黑白和彩色红外像片两种。现分别说明其解译特点于下。

1. 黑白红外像片的目视解译

和普通黑白像片一样，黑白红外航空像片也是以深浅不同的色调来反映不同地物影像的。由于地物对可见光和红外线的反射率不同，所以，同一地物在这两种像片上的色调特征也不尽相同。其中以植物和水体表现得最为明显。

在普通黑白像片上，绿色植物的影像色调较深。这是因为绿色植物的光谱特性对可见光吸收得多，反射得少，在反射能量中又以绿色较多，而全色胶片又对绿色感光较弱的缘故。但绿色植物对红外线却有较强的反射率，所以，在黑白红外像片上，绿色植物多呈较浅色调的影像。尤其是嫩树叶、青草和庄稼，其色调更浅。

树种不同，对红外线的反射率也不同。例如，油松在近红外波段的反射率要比水曲柳的反射率约低 1 倍，所以在像片上油松的色调就比水曲柳的色调深。如果农作物有病虫害，其作物叶子的细胞色素则遭到破坏，使近红外波段的发射率降低，影像色调变暗，在人眼尚未直接发觉时，从影像上就能判定作物病虫害情况，为预报病虫害提供了科学依据。

水对近红外波段有强烈的吸收能力，所以，在黑白红外像片上水体的色调常呈深灰、甚至黑色。水越深、越清澈，吸收红外线的能力越强，影像色调就越深。红外像片的这个特点，对水资源的调查提供了有利条件。

由于红外线的波长较长，散射作用较弱，致使物体在红外像片上的阴影比在普通黑白像片上的色调更深，从而增强了像片影像的反差，使其影像更加清晰，这对利用物体的阴影判定地物的性质是非常有利的。但有时山体的阴影会遮挡地形的细节，给某些要素的解译带来不便，应慎加注意。

2. 彩色红外像片的目视解译

彩色红外像片所反映的地物信息，也是地物在可见光和近红外波段的信息。但地物在彩色红外像片上的颜色，却不是地物本身所固有的天然色。与地物的天然色相比，都向短波方向移动了一个色相。也就是说，反射红外线的地物，在处理后的彩色红外像片上一般呈现为红色；反射红光的地物，呈现绿色；反射绿光的地物，呈现蓝色；反射蓝光和紫光的地物，因黄色滤光片吸收蓝光和紫光的作用，却呈现灰－黑色。

然而，自然界物体对色光的反射，并不是单纯地反射一种色光，因此，彩色红外像片上的颜色往往也是叠加后的间色或复色。例如绿色植物，其反射率较大的峰值有两个，其一是绿色光，另一个为红外光，所以绿色植物在彩色红外像片上的影像色调就成为蓝色和红色叠加而成的品红色。又因绿色植物的红外反射峰值比绿光反射峰值大 3～5 倍，故其叠加色偏红。植物反射红外光能量的多少，视其种类而变，这样就使彩色红外像片上植物影像的颜色在品红和红之间变化。再则植物的生长状况随时间和季节而异，所以植物在彩色红外像片上的颜色也随摄影成像季节的不同有所区别。

由于黄色滤光片的减监作用消除了散射的蓝光，使彩色红外像片上的阴影比彩色像片上的要深，影像反差也有所提高。又因许多地物在近红外波段的反射率较高，所以彩色红外像片的信息丰富、影像清晰，具有较高的分辨率。

实践证明，彩色红外像片的用途广泛、性能优越，目前已应用于林业、农业、水文、地

质、自然资源调查和环境保护等各个领域，并取得了显著效果。

三、热红外扫描图像的目视解译

凡温度大于绝对零度(−273.16℃)的任何物体，都存在着分子的热运动，因此都能发射和吸收波长 3～1 000μ 的红外线。而 3～5μ 和 8～14μ 波段是两个重要的热红外大气窗口。由于 8～14μ 波段包含了地球表层平均温度下辐射通量的最大强度，所以热红外扫描成像多选用这个大气窗口。物体的红外辐射强度与物体温度有密切关系，故而常把电磁波谱中的红外区称为热区，把红外辐射称为热辐射。这样就把红外扫描图像称做热红外图像。

1. 热红外图像的特点

与可见光所成的图像相比，热红外图像确有其独特之处。其一，红外线对大气层有较好的穿透能力，但所成图像分辨率却比可见光差得多；其二，由于地表所有物体都在绝对零度以上，都能发射红外辐射，故无论是白天还是黑夜都能成像；第三，红外成像所记录下来的是物体热辐射能量强度，所以，只要物体的热辐射强度不同或其间有细微的温差存在，在热红外图像上都有反映。

(1)影像分辨率较差　光学扫描的瞬时视场角和航高是影响分辨率的决定性因素。瞬时视场角越小、航高越低、地面分辨单元越小，分辨率就越高。其关系如下：

$$d_0 = H \cdot \Delta\theta \qquad (5-4)$$

式中 d_0 为地面分辨单元；$\Delta\theta$ 为瞬时视场角(弧度)；H 为航高。

对于红外扫描仪来说，瞬时视场角的大小是一定的，一般是 1～3 毫弧度。若航高为 1 000m 时，地面分辨单元是 1～3m，低于普通航空像片的分辨率。

除瞬时视场角和航高外，分辨单元还受扫描角的影响。在同一航高下，随着扫描角的变化，同一扫描线上的地面瞬时视场从中间向两侧逐渐增大(图 5－33)，使地面分辨率也逐渐降低。

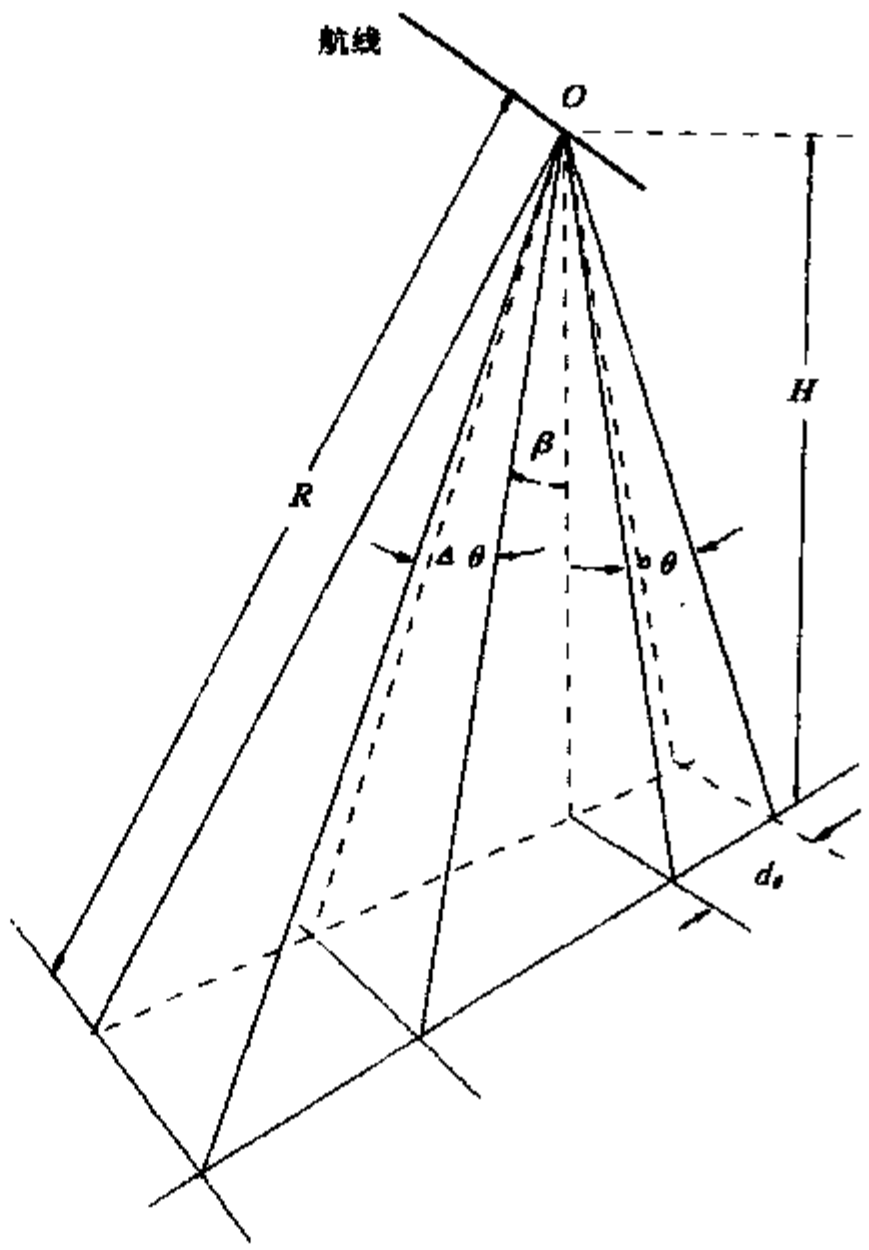


图 5－33　地面瞬时视场尺寸变化示意图

(2)昼夜都能成像　热红外扫描图像和红外航空像片的可成像时间也有所不同。以太阳为直接光源，用摄影方式成像的红外航空像片，必须在白天才能成像；但热红外扫描图像

则不然。由于它所探测的是地物的发射光谱，而地面所有物体又都昼夜不停地向空间发射红外线，所以，红外扫描传感器昼夜都能获得热红外图像。

(3)记录的是物体热辐射能量强度　热红外图像与普通航空像片记录太阳光的反射强度不同，它所记录的是物体热辐射能量强度。所以，普通航空像片影像色调的深浅，反映的是物体反射太阳光的强弱；而热红外图像上的明暗色调，却分别代表的是物体辐射温度或反射率的高低。

物体的辐射温度，取决于物体的性质。不同性质的物体，因其热特性的差异(表 5－7)导致辐射温度的不同。因此，在同样太阳光照条件下，不同物体的热辐射特征就有所不同。图 5－34 是某些物体在一日内辐射温度的变化曲线。

表 5－7　25℃条件下某些物体热特性的差异

岩　性	热导率 Cal·cm^{-1}s^{-1}度$^{-1}$	密　度 g·cm^{-3}	热容量 Cal·g^{-1}度$^{-1}$	热扩散系数 cm^{2}s^{-1}	热惯性 Cal·cm^{-2}s$^{-1/2}$度$^{-1}$
玄武岩	0.0050	2.8	0.20	0.009	0.053
湿粘土	0.0030	1.7	0.35	0.005	0.042
石灰岩	0.0048	2.5	0.17	0.011	0.045
砂质砾岩	0.0060	2.1	0.20	0.014	0.050
砂质土壤	0.0014	1.8	0.24	0.003	0.024
石英质砂岩	0.0120 0.0062	2.5	0.19	0.013	0.054
页　岩	0.0042 0.0030	2.3	0.17	0.008	0.034
水	0.0013	1.0	1.01	0.001	0.037

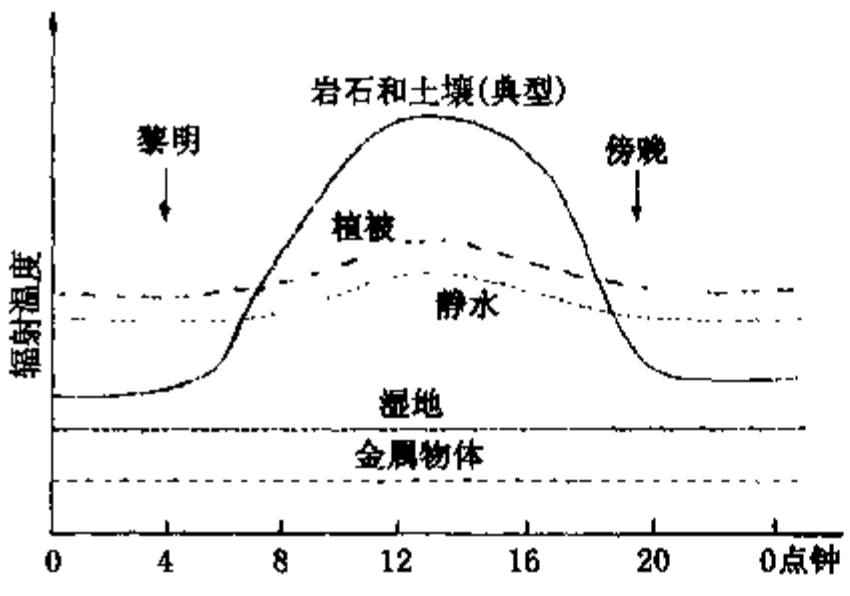


图 5－34　物体一日内辐射温度的变化

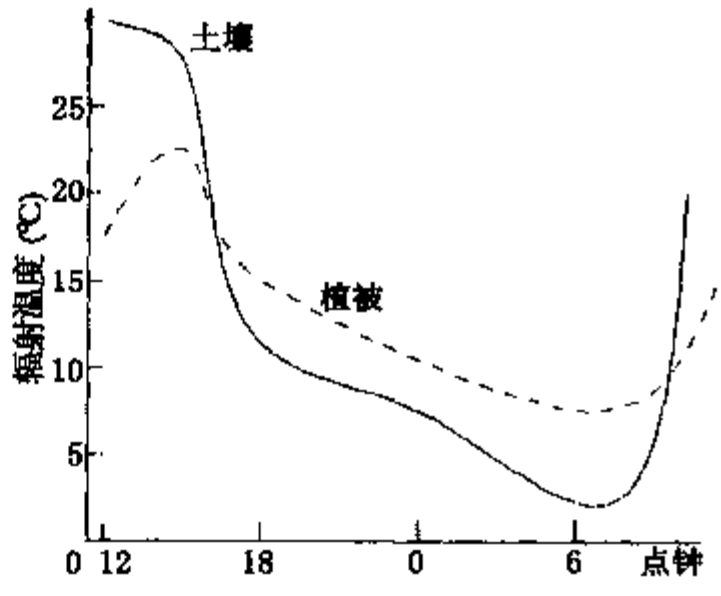


图 5－35　不同物体的辐射温度和影像色调

地物的温度与其辐射强度密切相关，温度越高，红外辐射强度越大，影像色调越浅；反之，温度愈低，红外辐射强度愈小，影像色调愈深(图 5－35)。图 5－35 中表明，土壤在黎明前的影像色调较深，中午较浅；植物的影像色调恰恰相反，黎明前浅，而中午却深。某些颜色相近的地物，在普通航空像片上因色调近同，不易分辨；但由于其温度的差异，在热红外图像上就能分辨出来。

若地物之间的温差大，影像的反差也大，影像就清晰；相反，如地物之间的温差小，影像的反差也小，影像就模糊不清。一般来说，午后 1 点和黎明 6 点前后温差最大，影像最清晰。下午 4～5 点钟和清晨 7 点日出后，地物的温差最小，地物的温度曲线在此相同，形成“热交叉点”。所以，在这时成的热红外图像一片模糊，难以辨认。中午成的热红外图像，受地形阴影的干扰太大，不如黎明前成像的效果好。据研究，在黎明前后成的热红外影像效果最好，尤其是对判别岩石类型和断裂带制图非常有用。日出后两小时成的热红外影像对构造解译效果最好。

2. 热红外图像解译

为了对热红外图像进行很好的解译，最好在远离“热交叉点”时间成像的同时，进行地面实况调查，查明主要地物的分布位置、辐射温度和发射率等实际情况，建立解译标志。若不能做到与成像完全同步，也应在成像前后 1～2 小时内进行，以确保所建解译标志的准确无误。

热红外图像上的解译标志与普通航片上虽基本相似，但也有其独特之处。它包括：

(1)色调　色调是热红外图像解译的重要依据，与普通航空像片相比，热红外图像上所记录的，是与物体温度有关的热红外辐射强度，而不是地物对太阳光的反射强度。其影像色调的变化，代表的是物体辐射温度的差别，或反射率的差别。所以，有人把用 8～14μ 成的图像称为“热量分布图”。实际上，我们就是根据这种“热量分布图”来辨别地物的。

在热红外图像上，其影像色调的深浅，受多种因素的影响。其中：

①地物热辐射能量的大小：若地物的辐射能量大，色调则浅；反之，色调则深。地物的热辐射能量，又取决于地物温度的高低和发射率的大小。温度越高、发射率越大，辐射能量越大，影像色调越浅。例如，高炉和火光等热源，其影像色调为白色；而土地的温度较低，无论白天或黑夜成像，都是深浅不同的灰色色调。有些温度相同的地物，若其发射率不同，色调也会有所差别。如大理石和石英，虽其温度相同，但大理石的发射率为 0.942，石英为 0.627，大理石的发射率大于石英，所以其色调就比石英浅。

②成像时间：物体性质不同，热容量就不同。热容量高的物体，日温差很小，热容量低的物体，日温差则大。由于水的热容量高于土地，所以，白天水体的温度低于周围土地，影像色调较周围土地就深；图 5－36 中，a 为白天成像，河流呈现黑色；b 为夜间成像，河流却变成了白色。又如绿色植物，因反射短波红外能力强，辐射长波红外能力弱，加之白天因水分蒸发温度较低，故呈深灰色调；而夜间，特别是森林有逆温现象，温度高于地面，故色调较浅。

在黎明时成像的热红外图像上，具有浅色调(暖信息)的物体有：白云岩、玄武岩、砾岩、砂岩、树林(比周围土地温度高)、水体、未翻耕的土地、有农作物生长的土地、水泥建筑物、工厂、城镇居民点、沥青路面、房顶以及具有高温的自然与人工物体等；具有深色调(冷信息)的有：花岗岩、页岩、泥岩、湿地、冲积物、风积沙、大片角砾岩、新翻耕的土地、无农作物生长的土地、草地等。

在中午成像的热红外图像上，具有浅色调(暖信息)的有：花岗岩、页岩、泥岩、风积沙、沙地等；具有深色调(冷信息)的有：水体、湿地、植物、树林、砂岩、玄武岩、白云岩、砾岩、混凝土建筑等。

经验证明，凡是潮湿、水蒸汽多的物体或地点，不论是白天还是晚间成像，都具有深色调冷信息特征。

a.白天　b.黑夜

图 5－36　白天和黑夜成像的热红外图像

可见，成像时间对热红外图像上影像色调的影响，却属显著，解译时必须慎重考虑，才能取得满意的解译效果。

③气象条件：热红外图像记录的是地物的辐射能量，所以，当太阳光被云层遮住时，地面温差减小，影像则呈均一的黑灰色调；若地面有风，不仅能使图像产生拖影状条纹图案，而且还能使一个小小的热点影像面积扩大很多，影响对地物面积的正确估计。所以，天气的阴、晴、风、雨变化，也是影响热红外影像色调的重要因素之一。

(2)形状　地物影像的形态特征，是以地物不同部位的色调所构成的地物的总体图形。在热红外图像上，有时能反映出地物的实际形状或近似实际形状；但有时也会造成地物几何图形的畸变。例如，水体、山地、丘陵、农田、道路等一些非热源的地物，一般都能反映其真实或近似真实的形状，特别是在图像中心的地物，形状就更加准确。但对某些温度较高的地物而言，却往往反映不出其真实形状，形成歪曲，扩大甚至会面貌全非。

地物图形畸变的类型有多种，产生畸变的原因也很多，但其主要原因不外以下几点：

①扫描本身的影响：扫描镜的摆动速度和角度虽然固定不变，但由于地球曲率的影响，使一次扫过的地面并不是一段平面；同时，在扫描镜的每次弧形摆动中，当摆动到飞行器的正下方时，相当于垂直摄影；而摆动到两侧时却相当于倾斜摄影。这样一来，使一次扫描在各个部位的比例尺和扫描宽度都不相同，从而形成了几何形态的畸变。结果，会使地面一条笔直公路在图像上成为“S”形。

②飞行姿态不稳：由于飞行姿态不稳定使飞机 x、y、z 轴发生变化，引起扫描带的不规

则摆动；如果飞行时遇到侧风，扫描中轴就向偏流方向移动，从而造成影像的畸变。

③气象要素的变化：不同性质的气象要素，能给地面叠加冷、暖信息、改变影像色调及其几何形状。例如：冷云会给地面叠加冷信息，使色调变深；暖云能给地面叠加暖信息，使色调变浅。刚下过雨的地面，叠加上了冷信息，色调深；而雨滴轨迹，可在影像上产生平行条状色调。风能使影像出现条带状纹形和拖影畸变；若风受到地面防风林、小山、水坝等阻挡，又能形成亮坝(暖信息)和暗坝(冷信息)等明显界限。

④飞机无线电波和电噪声的干扰：飞机的无线电波或雷达，对影像有电子干扰作用，可使影像模糊和产生波纹的干扰现象。

⑤对图像的技术处理：在处理图像过程中，由于技术水平和条件的限制，也能造成影像的畸变。例如，胶片显影剂所造成的条纹等。

(3)大小　热红外图像上所反映出的物体大小，往往与其实际大小有较大差别，有时一个小小的热点，在图像上可能产生一个比原物大几倍的影像。这是由于地物的辐射温度受空气和风的干扰所造成的。

(4)阴影　地形、树林、建筑物和其他地物在热红外图像上的阴影，与可见光图像上的阴影基本相似，面积大小也一致。不过，热红外图像上的阴影，是由于物体阴影处的温度较低，热辐射就低所造成的。所以，这些热阴影在太阳下山或被云层覆盖后仍然存在，不像可见光所形成的阴影那样能马上消失。至于这些阴影的持续时间和强度，则视物体的热惯性、热容量而变。有的可持续很久，也有的持续时间很短。

(5)背景状况或相互关系　由于热红外图像的分辨力低，所以常靠地物的背景状况或解译物体间的相互关系进行识别。例如，通过植物解译可以判别岩性；根据地热异常能发现地震构造，以进行地震预报等。

四、雷达图像的目视解译

雷达是一种主动式传感器，它是用天线向地面发射微波，再接收从地面返回雷达天线的反射能量(雷达回波)记录成像的。也就是说，地物在雷达图像上的影像，是从地物反射回雷达接收器上的电磁波强度的反映。兹作如下说明：

1. 雷达波的特性

首先，在雷达波的传播过程中具有极化(偏振)特性。所谓极化，是指电场强度矢量方向随时间变化的方式。通常以入射面为准，若电磁波的电场 E 与入射面相垂直，称之为水平极化；如电磁波的电场 E 平行于入射面，则称为垂直极化。不同极化所引起的回波能量具有不同的意义。一般来说，水平极化的回射能量信息比较丰富；面垂直极化却可突出主题。

雷达波的另一特征，是具有一定的穿透能力。在没有植被覆盖的情况下，雷达的穿透深度可用下式求得：

$$D=\left[\frac{\lambda}{g\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{0.5}\pi}\right]^{0.5} \qquad (5-5)$$

式中：D-　-穿透深度；g——导电率；ε——复介电常数；μ——地面磁导率。

雷达的穿透深度，随物质性质的差异有很大不同(图 5—37)。例如，在湿度大的地区，

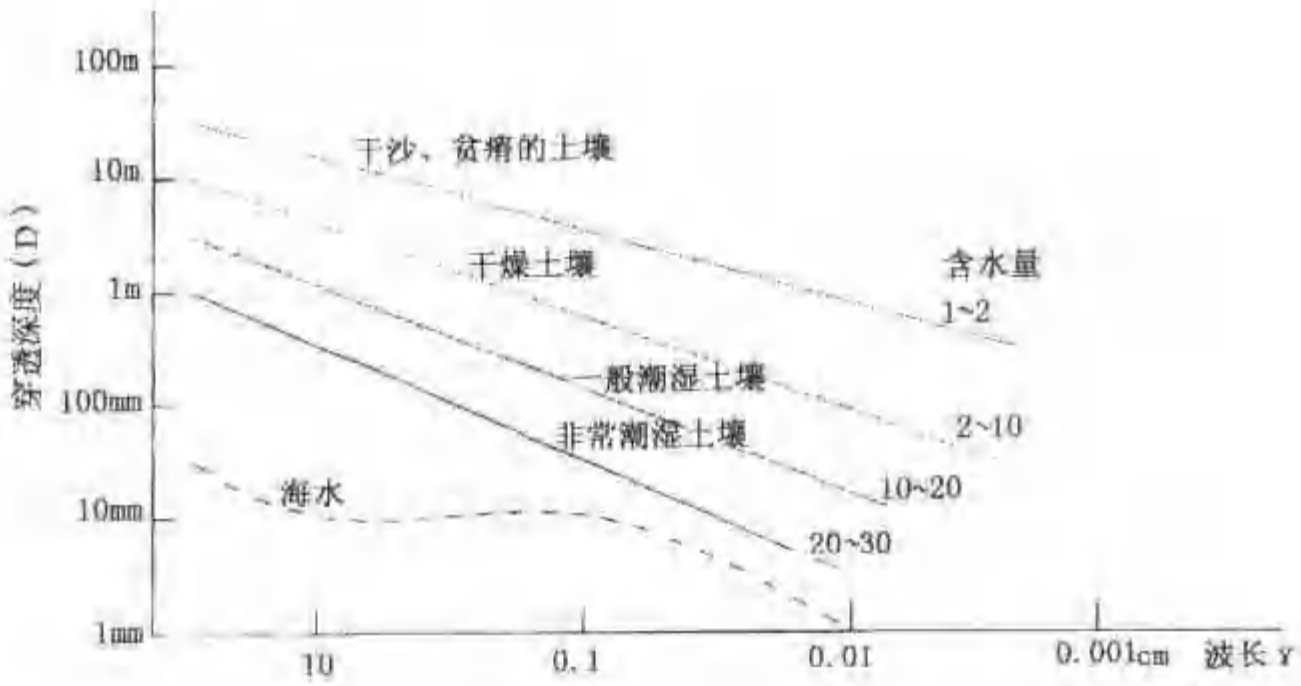


图 5－37　雷达穿透深度、波长和地表含水程度的关系示意图

其穿透深度很浅，只有几厘米到数米；而在干沙条件下，其穿透深度可达几十米，甚至上百米；对干沙层，穿透深度可达数百米。通常，对砂岩、页岩的穿透能力大于灰岩，白云岩；对岩石的穿透能力大于矿床，对淡水又大于对海水的穿透能力。

2. 雷达图像的解译

和普通黑白航空像片一样，雷达图像也是以深浅不同的黑白色调与形态反映地物影像的。同时也能得到60%的重叠率，可进行立体观察。但由于雷达图像反映的是雷达回波的强度，故其影像特征与普通航空像片并不一样。

图 5－38　火山（雷达图像）

在雷达图像上，地物影像的色调是雷达回波强度的反映。回波强度大的地物，影像色调浅；回波强度小的地物，影像色调深；没有回波的部分，则呈现黑色。影像色调的深浅，主要受雷达系统和地面特征等因素的影响。

（1）波面　在山区，凡面向雷达天线的山坡，回波较强，影像色调就浅；而背向雷达天线的山坡，由于不能直接得到雷达波的照射，回波十分微弱，色调就深。

（2）地物表面粗糙度　粗糙结构的地物表面，能使雷达波产生漫散射，引起较强的回

波，影像色调较浅；光滑结构的表面，能产生镜面反射，几乎没有回波，影像色调则深；图 5－38 中，湖泊表面和山体背后无雷达回波，所以就呈现黑色；中等结构的表面，属混合反射性质，呈中间色调。

(3)波长　对同一物体来说，由于雷达使用的波长不同，使其色调也有所不同，这是因为粗糙度是由波长和地表相对高差关系所决定的(表 5－8)。

表 5－8　波长、表面粗糙度和影像色调间的关系

象元内的地物 相对高差(cm)	Ka 波段 λ＝0.86cm	F 波段 λ＝3cm	L 波段 λ＝25m
平坦的粘土地面＜0.05	较深色调	较深色调	较深色调
平坦的粉砂质地面＞0.05	中间色调	较深色调	较深色调
平坦的粗砂质地面＞0.17	较浅色调	中间色调	较深色调
平坦的细砾石地面＞1.4	较浅色调	较浅色调	中间色调
平坦的砾石地面＞8.04	较浅色调	较浅色调	较浅色调

从表 5－8 中可以看出：除平坦的粘土地面和砾石地面的影像色调不随波长而变外，其他物体的影像色调都随波长变化。

(4)雷达波的极化状况　对极化的雷达影像来说，地物在不同的极化雷达影像上，色调是不同的。例如，在平行极化和垂直极化的影像上，草地和沼泽的色调就不一样，但水体和树林的色调却相同(表 5－9)。

图 5－39 是同一地区水平和垂直极化的雷达图像，从图像上可以看出，水平极化图像的解译效果较好，水、林、草地都分辨得比较清楚，但沼泽的解译效果较差。

表 5－9　某些地物在极化雷达影像上的色调变化

电磁波的极化状况	水　体	树　林	草　地	沼　泽
平行极化	深色调	浅色调	深色调	浅色调
交叉极化	深色调	浅色调	浅色调	深色调

(5)雷达俯角、航高和地物高度　雷达俯角、航高和地物高度，对雷达图像上的地物阴影有显著影响。例如，在远距离、俯角小的情况下，可使同一平滑面镜面反射波的强度小，或无回波；面在近距离、俯角大的情况下，镜面反射波就能为天线所接收，产生强烈的回波。另外，雷达俯角、航高和地物高度还能决定地物阴影的规模。

在雷达图像上，地物的阴影对解译影响特别大。它不仅是地物的解译标志，面且还能增加影像的立体感；但在同一像幅上，若阴影占的面积过大，又会掩盖其他一些有用信息，使解译效果降低。

(6)复介电常数　地物的复介电常数，能直接决定其影像色调。诸如铁桥之类的金属物体，或出露于地表的金属矿床等复介电常数大的地物，反射雷达波的回波强度就大，影像色调较浅；反之，则具有较深的影像色调。

地物的形态(图形)特征，在雷达图像上反映得特别清楚，且富有立体感(图 5－38)。所以它是雷达图像非常重要的解译标志。一般说来，凡平行于航向的线性物体，由于与雷达波的探测方向垂直，能产生强有力的回波，图形清晰；反之，则轮廓模糊。

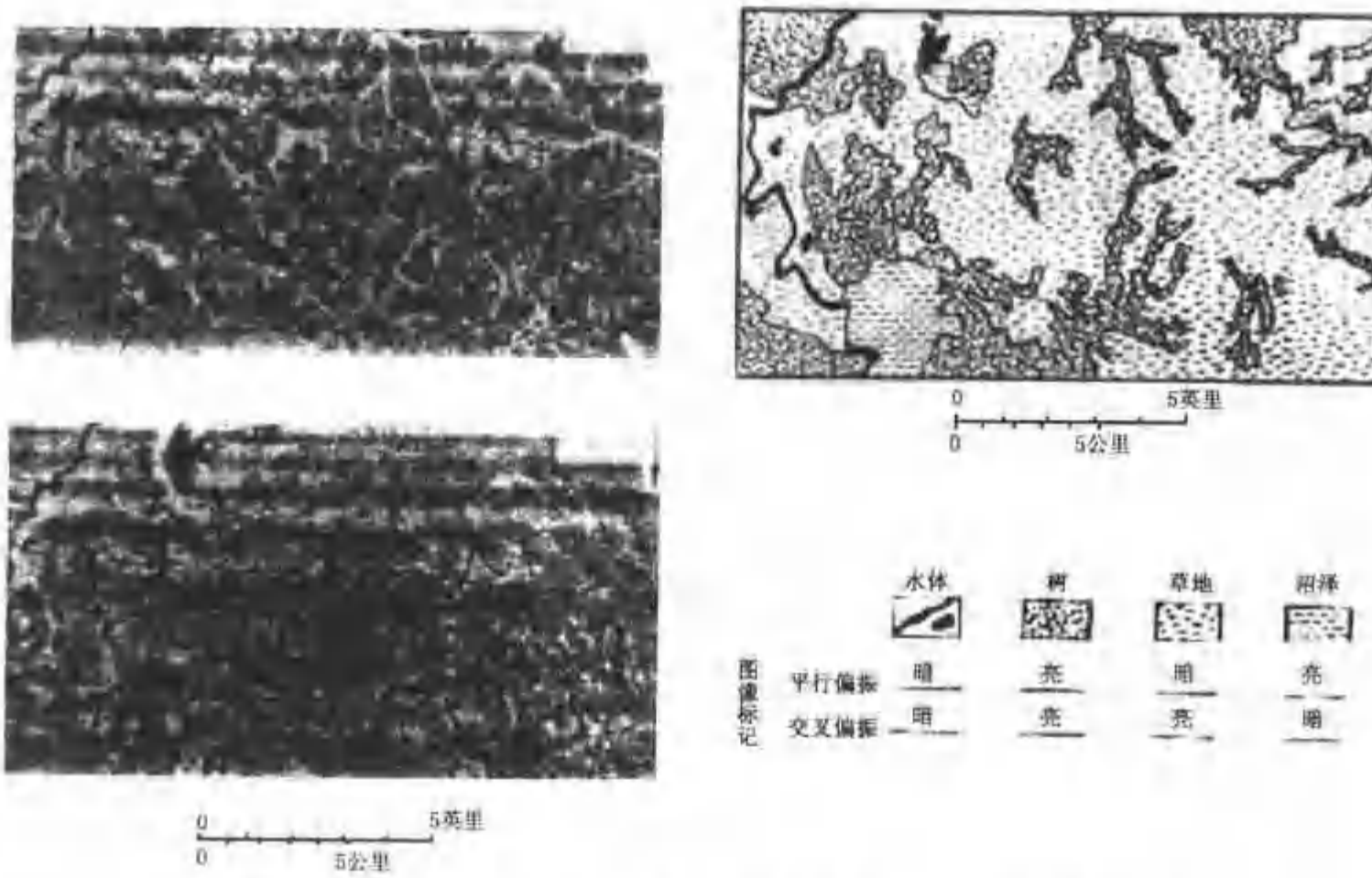


图 5－39　水平极化(上)和垂直极化(下)雷达图像及其解译(未经地面验证)
图中箭头所指表示雷达发射微波脉冲的方向

与常规摄影图像相比，雷达图像具有以下优点：

(1)图像的几何失真小，图上各处的分辨率相同，测定地表精度高，使解译效果更加精确。

(2)图像具有大面积立体感，分辨力不受距离影响。

(3)具有全天候工作能力，基本不受云、雨影响，可昼夜工作。能适应光照不足的高纬度区域成像。

(4)常规摄影不能识别云层和海水，雷达则很容易将其区分开来。

(5)具有一定的穿透深度，对揭露地质线性构造非常有利。

(6)能快速对大面积区域成像，可免去对图像的镶嵌处理。

雷达图像的不足之处，在于：

(1)与多波段图像相比，雷达图像的光谱分辨力很差，对植物和土壤的区分较难。

(2)因其分辨力较差，只能作中、小比例尺的填图。

(3)仪器设备较复杂，图像成本较高，处理较复杂、困难，目前还不适于大面积普遍使用。

第六章

陆地卫星图像

从航空遥感到航天遥感是遥感技术的重大发展。作为多种传感器工作平台的人造地球卫星，开阔了传感器的视野。它既能居高临下地俯瞰一切，又不受国界和地形限制，能对全球作连续观测，获得更为广泛的有用信息。

目前常使用的卫星有侦察卫星、气象卫星和陆地卫星3种。本章将讨论的是有关陆地卫星图像的几个问题。

第一节　陆地卫星图像简介

一、陆地卫星图像的产品类型、规格和比例尺

陆地卫星产品可分为陆地卫星图像和计算机用磁带两大类。现将其用途和区别分述于后：

1. 陆地卫星图像

它是供资源调查分析和制图使用的直观图像。其被摄地物影像较为直观可辨，易于判别和解译，是目前已被不同领域和不同部门广泛应用的产品。

陆地卫星图像的种类虽然很多，规格不一，但通常根据其成像方式分为多光谱扫描图像(MSS)和反束光导管摄像图像(RBV)两大类。每类按照加工处理的不同又分成粗制图像和精制图像两种。另外，按片基的不同又可分为胶片和像片；按影像正、负，又分为正片和负片；按光谱波段不同，则分为不同波段的黑白图像和几个波段合成的假彩色图像；按尺寸大小，又分为70mm负片、正片和240mm负片、正片；按复制次数不同，却分为第一代底片、第二代底片……第n代底片。第一代为存档底片，保留在美国戈达德宇宙航行中心。

陆地卫星图像的基本比例尺，有1∶336.9万和1∶100万两种。1∶336.9万是陆地卫星图像的原始比例尺，它是在粗制处理时根据像片中心点的卫星高度数据，把每个70mm影像的比例尺调整为1∶336.9万的。RBV图像的原始像幅是25.4×25.4mm，经粗制处理，输出为已经过几何校正和辐射校正的70×70mm胶片。

1∶100万的比例尺，则将70mm胶片影像放大3.369倍，成为240mm胶片的1∶100万比例尺的卫星图像。

此外，在应用过程中还常将其放大为 1∶50 万、1∶25 万或 1∶20 万等，以便与其他相应比例尺图件、资料对比使用。

MSS 图像，是沿轨道 185km 宽的连续条带，但为了使用方便，在由电子束记录器将视频数据转换成胶片影像时，已经以 RBV 快门曝光时间为准，把 MSS 图像分成与 RBV 相对应的像幅。所以，MSS 图像的原片大小也是 70×70mm、1∶336.9 万比例尺，放大后成为 1∶100 万、1∶50 万、1∶25 万或 1∶20 万 MSS 图像的。

陆地卫星 1、2 号 RBV 和 MSS 图像的像幅所包含的面积，一般为 185×185km。但实际图像尺寸的大小也略有出入，如 185km×178.5km (MSS 片)，其具体规格见图 6—1 和表 6—1。

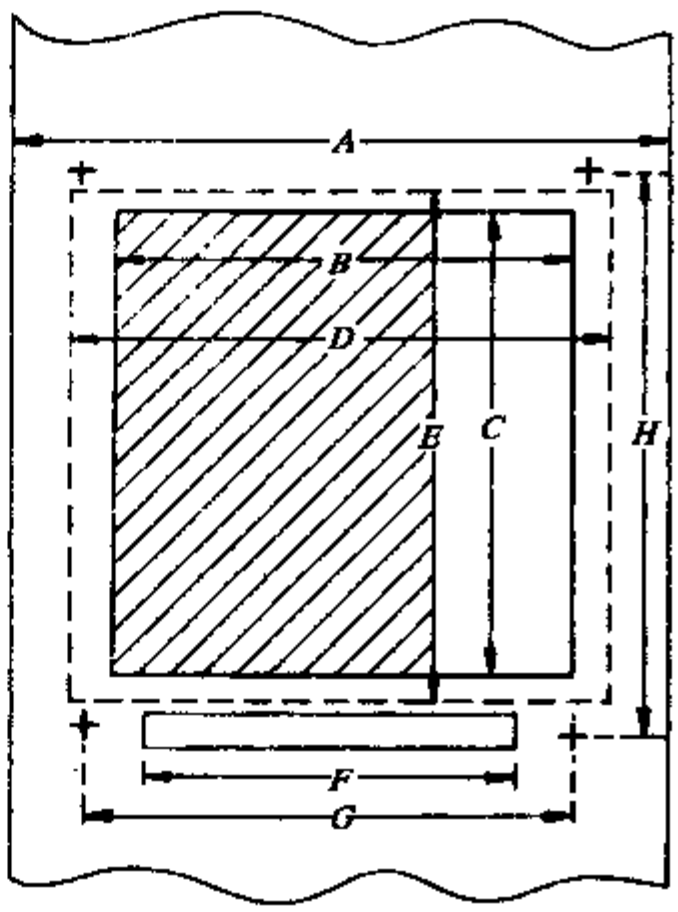


图 6—1　粗制 RBV 和 MSS 图像的尺寸代号示意图

2. 计算机用磁带

它是供电子计算机使用的图像数字化信息资料，其优越性在子它可随时将数字化磁带转换成影像，既具有陆地卫星图像的优点，又能解决图像所无法解决的许多问题。例如，它可以任意放大和缩小影像；增强影像的某些信息；消除模糊、云雾的干扰；叠加几个波段的光谱信息、比值增强，使原来难以分辨的图像经处理后易于识别解译；与图像相比，它具有更多的信息量，扩大了其使用价值，并为自动化图像识别、分类和制图提供了条件、成为可能。因此，就其使用的深度、广度和价值面言，将会远远超过图像产品。

表 6—1　Landsat 卫星图像尺寸表(单位：mm)

符号	说　明	原　片		放　大	
		RBV	MSS	RBV	MSS
A	胶片宽度	70	70	240	240
B	横过轨迹方向影像尺寸	55	55	185.3	185.3
C	沿轨迹方向影像尺寸	55	53	185.3	178.5
D	横过轨迹方向的印制区域	60	60	202.2	202.2
E	沿轨迹方向的印制区域	60	55.5	202.2	190.4
F	注记块长度	52	52	175.3	175.3
G	横过轨迹方向重叠符号间距	58.6	58.6	197.5	197.5
H	沿轨迹方向重叠符号间距	64	59.5	215.7	200.5

二、陆地卫星图像的符号及其注记

陆地卫星图像是经粗制和精制处理产生的。粗制处理分系统，将 MSS 和 RBV 数据经几何校正和辐射测量校正后加入注记，并对 MSS 进行分幅，得到 70×70mm 的原始粗制影像。而精制处理分系统，则利用地面控制点对 70×70mm 的粗制影像作精确校正，完

成精确定位，统一比例尺和印制成统一横轴麦卡托投影和极地球面投影的影像，成为1：100万的底片。无论粗制还是精制图像，其周边都印有一些标志图像物理特征和几何特征的符号与注记，这些符号和注记，对图像解译来说是非常重要而应当掌握的。

1. 粗制图像的符号及其注记

(1)重叠符号　图像四角的"+"字形符号，为图像的重叠符号(图6—1)，它是为多波段图像在作假彩色合成时，各波段影像套准用的标志。

(2)图像中心(像主点)　图像没有单独的像主点符号，而是根据四角的重叠符号"+"的中心引对角线，其交点就是图像的中心点，即像主点，以C表示。

(3)航向重叠符号　从陆地卫星2号开始，在影像左右两侧的上、下部位，有两个"T"和"—"符号，是表示航向重叠位置的(图6—2)。

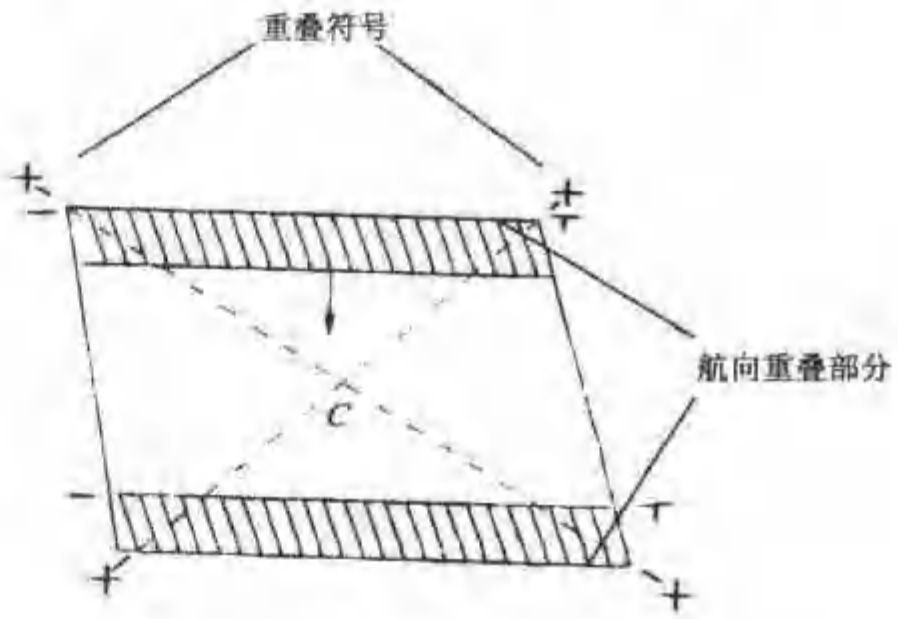


图6—2　MSS图像的航向重叠符号

(4)经纬度注记　经纬度注记标记在图幅的四边(图6—3)，"E"代表东经，"N"代表北纬。经度分别标注在上下两边，如E115—00，代表东经115°整。其前(或)后的短竖线，表示该经度线的位置。同一经度短竖

图6　3　灰标尺度及图边注记

线两侧端点的连线，就是经线。纬度注记在左右两侧，如 N40－30，表示北纬 40°30′。其注记上下的短横线，代表该纬线的位置。同一纬度短横线内侧端点的连线，即为纬线。

(5)灰标　在图幅下部的数字代码下，有一条横列的灰标，它是一个 15 级灰阶表。第 1 级为白色，第 15 级为黑色。其余各级之间的差值等于最大亮度的 1/14。

(6)成像时间、条件注记　在图像下部，有一行由代码组成的注记块。这些代码共占 116 个位置，分别代表图像成像时间、条件等内容。但第 1、2 号和第 3 号陆地卫星多光谱扫描图像(MSS)的注记与 RBV 图像的注记略有差别：

①MSS 图像注记块代码：第 1、2 号陆地卫星 MSS 图像注记块，自左至右各代码所代表的具体内容如下：

24 MAY 75：代表成像日期。表示该图像成像于 1975 年 5 月 24 日。

C N40－10/E115－51：代表图像像主点的地理坐标。表示该图像像主点(C)的地理坐标为北纬 40°10′ 东经 115°51′。

N N40－10/E115－55：代表图像像底点的地理坐标。表示该图幅像底点(N)的地理坐标是北纬 40°10′ 东经 115°55′。MSS5(或 4、6、7)：代表成像波段代号。其中 MSS 表示多波段扫描，5(或 4、6、7)为波段代号，表示第 5(或 4、6、7)波段。

R(或 A)：代表数据传输方式。R 表示延时发送，即图像数据是由卫星上的宽频磁带机存贮，待经地面站上空时再回放。A 表示实时发送，即不经卫星上宽频磁带机存贮，实时将数据发射给地面站。

SUN EL58 AZ120：代表该图像成像时的太阳高度角和太阳方位角。其中 SUN 表示太阳、EL 表示高度角(从地面算起)、58 表示 58°；AZ 表示太阳方位角(由正北起算，按顺时针方向计)，120 表示 120°。也就是说，该图像成像时的太阳高度角为 26°，方位角是 120°。

191－1692－A(或 G、N)：代表卫星轨道方位角、圈数和地面站代号。其中，191 表示卫星运行方向的轨道方位角，说明该图像成像时卫星沿轨道前进方向是 191°(从正北起算)。1692 表示该图像成像时卫星已运行的圈数。A(或 G、N)为地面接收站代号，表示该图像是由美国阿拉斯加州的苏尔班克斯地面站接收的(G 代表美国加利福尼亚州戈多茨顿接收站、N 为美国马里兰州的戈达德空间飞行中心地面站)。

1－N－D－2(或 1)L：代表该图像传输处理时的几个参数。1 表示图像是满幅尺寸。N 表示图像是按正常方式处理(或 A 表示按非正常方式处理)。D 表示图像中心点坐标是按天体历表计算的(或 P 表示是按轨道星历表计算的)，用天体历计算的坐标比以轨道星历计算的要精确些。2 表示卫星发射资料是按压缩方式处理(或 1 表示资料按线性方式处理)。L 表示低增益(或 H 表示高增益)。

NASA、ERTS：代表卫星发射机构和卫星名称。NASA 是 *National Aeronautics and Space Administration* 的英文缩写，表示卫星发射机关是美国国家航空与宇宙航行局。ERTS 为卫星名称，即地球资源技术卫星的英文缩写。

E－2122－02183－5－01：代表卫星编号和成像时间。E－2 表示第 2 号地球资源技术卫星的图像。122 是从卫星发射日算起的天数，即该图像是在卫星发射后第 122 天成像的。02183 表示成像时间是格林威治时间 2 点 18 分 30 秒(末位数字为秒的 10 倍)。5 表

示该图像记录的光谱段是第5通道。01表示视频带使用次数。

第3号陆地卫星MSS图像注记块的代码意义与前者略有不同。除用M表示MSS、用A代表AZ，并在像主点(C)和像底点(N)之间，插入了一个表示图像所在卫星轨道编号和行号的注记(如D132－32，其中D表示卫星下降，若为A则表示卫星上升，132为卫片的轨道号；32是行号)外，还在太阳高度角和方位角代码注记间加有S1S－P－NL2等代码。其中S表示系统水平校正(或U表示未校正，C表示以地面控制点为基准的几何校正)。1表示满幅(或2表示图幅为92.5×92.5km，3表示图幅为185×170km)。S(或L、P、H、U、N)表示投影名称，S为空间斜轴麦卡托投影(L为兰勃特投影，P为极地球面投影，H为Hotine斜轴投影，U为横轴麦卡托投影，N为自然透视投影)。其他代码及其意义均与1、2号陆地卫星MSS图像上的相同。

②RBV图像的数字注记块：RBV与MSS图像的数字注记基本相同，只是用RBV1、2、3分别表示仪器及其波段，并在其后注有“XA1b”。其中XA表示曝光时间(表6－2)，1b表示孔径有校正，若为0b表示孔径无校正。

表6－2　RBV曝光时间

字母代号	曝光时间(ms)		
	RBV1	RBV2	RBV3
XA	4.0	4.8	6.4
XB	5.6	6.4	7.2
XC	8.0	8.8	8.8
XD	12.0	12.0	12.0
XE	16.0	16.0	16.0

第3号陆地卫星RBV图像的注记块，把仪器RBV改为R代表。由于不分波段，4幅图像的范围相当于原来一幅RBV图像的范围，所以将注记改为RA(B、C、D)，表示A、B、C、D为一组图像。另外，在它后面的注记改为“XB1R”。其中XB仍代表曝光时间，1表示孔径有校正亦相同，R表示回放，略有改动。其余均仍相同。

2. 精制图像的符号及其注记

精制图像的注记和粗制图像略有不同。原粗制图像下部的灰标和注记块，被移至精制图像的左侧。而在其左右下角，另有一些数字注记，其内容如下：

(1)坐标标记符号及其注记　在图像影像区的外侧，有一个3mm宽的框带，框带上有两种坐标标记：

①地理坐标：图像的经纬度，是沿框带左边和顶边注记的。其度的标记是从外缘向里延伸2.3mm；30分的标记则向里延伸1mm。

②极地投影(PSP)和统一横轴麦卡托投影(UTM)坐标：极地投影坐标的经度符号及其注记与地理坐标的标注方法相同。而纬度却因其纬线弯曲均改用内部“＋”字符号标记。

UTM的标记符号，是沿左边和底边从框带内缘向外延伸。从赤道起算，累计5km向外伸长1mm，10km向外延伸2.3mm，每一标记符号宽约0.1mm，所指方向与相应南北或东西方向的误差小于±1°。

(2)内部“+”字符号标记　在影像区内,地理坐标和 UTM 与 PSP 投影坐标的交点,是用“+”字符号标明的,其线宽为 0.5mm,“+”字大小是 2mm。

在地理坐标中,若图像中心的纬度在 0°～60°间,则每隔开 30′ 标注一个“+”字;如图像中心的纬度是在 60°～70°之间,是每隔 1°标注一个“+”字;而图像中心的纬度在 75°以上时,却每隔 2°标注一个“+”字。

在 UTM 坐标中,向北、向东于每 5km 的坐标交点上就有一个内部“+”字符号。

(3)制图区位置数据　图像左下方数据块的意义分别为:

第一排为图像所处 UTM 投影带的符号(有时一张图像可能包括两个带,但仅以一个带号说明)。如果图像为极地球面投影,则注记块中会以字母“PS”标明。PS 为极地球面投影的英文缩写。

第二排表示的是根据地面控制点处理后残存误差计算确定的位置质量。以字母 A、B、C、D 分级表示,A 表示质量很好(残差很小),B 表示好,C 表示可以,D 表示差(残差很大)。

第三排是一个距图像中心最近地面控制点的近似高程,以 m 为单位,取 4 位数。

第四排是专门数据说明。P 表示用推测的星历表为依据所进行的精制处理;空格表示所采用的是最佳拟合星历表。

(4)成像数据　图像右下方数据块的第一排,是以格林威治平均时间计算的成像时间和日期;第二排为图像中心的地理坐标。

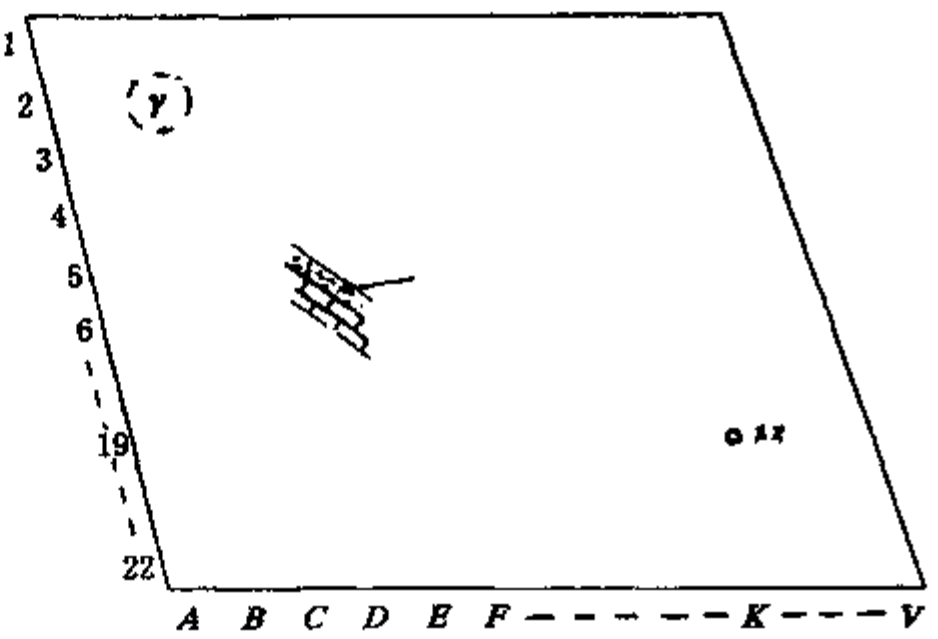


图 6－4　卫星图像解译坐标示意图

3. 卫星图像的解译坐标

在卫星图像的图册中,其影像的边框两侧,有时没有经纬度和文字注记。但为了使解译者便于记录解译目标的准确位置,而标志了所谓解译坐标符号的字母和数字注记(图 6－4),如 A、B、C……V 和 1、2、3……22 等。根据这些解译坐标符号,就能准确地判定出被解译的具体内容。例如,图 6－4 中的 B－2、B－3、C－2 是花岗岩,D－5、E－6 为砂岩,K－19 是××城镇(居民地)等。

三、陆地卫星图像编号

陆地卫星图像的编号,是由两组数字组成的。其一,代表卫星的轨道号数字,第 1～3 号陆地卫星轨道号数,是从美国东海岸纽芬兰岛东部起算的。我国领土大约处在 122～163 号轨道之间;另一组数字表示行数,是从高纬向低纬计算的。我国领土大约位于 23～25 号之间。例如,北京幅图像的编号是 133－32,意思是指该像幅是第 133 号轨道第 32 行。

第二节　陆地卫星图像的光学物理特征

陆地卫星图像是地表各种地物光谱特性的综合反映。这种光谱特性，在卫星像片上是以不同的色调及其组合影像特征表现出来的。因此，必须先了解陆地卫星图像的色调、色彩差异、光谱效应及其地面分辨率等物理特征，才能对其解译目标进行正确的判定解译。

一、陆地卫星图像的灰阶

地面上各种地物的反射强度，在黑白卫星图像上所表现出来的是色调深浅，对色调深浅的分级称为灰阶。它是划分地物光谱特征的尺度、判断地物辐射强度的标准。

MSS 的灰度尺划分为 15 级，每一级都代表地物一定的辐射亮度。把各通道最大辐射值(表 6—3)定为第一级，在正片上为白色；最低辐射能级(0 亮度)，定为第 15 级，在正片上表现为黑色，各级灰阶之间的差值相当于最大辐射量的 1/14。第 3 号陆地卫星增加的第 8 波段为红外波段，以 8 级灰阶代表其地物的温度差别。RBV 图像的灰度尺划分为 10 级，各级灰阶之间的差值，相当于最大辐射量的 1/9。

表 6—3　MSS 各通道的最大亮度(mW/cm² 立体角)

光　谱　带	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
高　增　益	0.83	0.76	—	—
低　增　益	2.00	2.00	1.76	4.60

灰阶只不过提供了概略的影像密度等级。虽然电子束记录器所产生的影像和灰阶反映了地物发射和反射能量的级差，但由于各通道的最大亮度不是等值的，所以各波段像片的级差也是一种相对概念。因此，两幅灰阶级别相当的像片，并不代表具有相同的亮度。

每幅卫星图像的边框下，都附有灰标。它是各级灰阶的视觉标志，供解译时将其灰度与影像色调对比之用。

陆地卫星的不同传感器具有不同波谱响应曲线，生成不同光谱段的图像，而不同波段图像上的灰阶，只是反映该波段的辐射强度。例如，第 4 波段图像上的灰阶，所反映的只是地物在 0.5～0.6μ 波段的反射强度，这和普通黑白航空像片所反映的地物对可见光的反射强度是不同的。因此，在对各波段图像进行解译时，决不能用一般观察地物反射强度的经验去理解卫星图像上的灰阶。

二、不同波段卫星图像的光谱效应

不同波谱段的图像影像，反映不同地面物体的电磁波特征，由于各种地物的物质成分、结构及其表面温度的差异，其光谱特性也就有所不同。所以在黑白图像上反映出色调的差异，在彩色图像上则反映出色别的不同，即使是同样的地物，在不同光谱段的图像上其色调(或色别)也会不同。

不同波段图像对不同地物的光谱效应如下：

RBV1：波长 0.475～0.575μ，属可见光波谱中的蓝、绿光波段。此波段的图像，对水体

有透视能力，一般可透视 10m 深的水体。

RBV2：波长 0.58～0.68μ，属可见光波谱中的黄、红光波段。本波段的图像，适用于辨认岩性、地形和海水中的泥沙流等。

RBV3：波长 0.69～0.83μ，属可见光波谱中的红光和近红外波段。该波段的图像，对植物、水体的分辨能力较为明显。

MSS4(1)*：波长 0.5～0.6μ，属可见光波谱中的绿光波段。这一波段的图像，对水体有一定的透视能力，能反映出水下地貌的某些情况。含杂质较少的水体，其透视深度一般可达 10～20m，有的甚至可达 100m 左右。对陆地的岩层岩性、第四纪松散沉积物的性质和分类以及植被的分布等均有明显反映。

在 MSS4 波段像片上，沼泽的色调较水体浅而比陆地深。该波段的图像对海冰研究也有较好效果，但由于大气和天空散射光的影响，图像往往显得模糊不清。

MSS5(2)：波长 0.6～0.7μ，属可见光中的黄、红光波段。此波段的图像，对水体有一定透视能力，特别是对水体的浑浊程度，如海水中的泥沙流、大河中的悬浮物质等均有明显的反映。另外，MSS5 的图像，对陆地的地貌特征也有明显反映，可根据其宏观和微观地貌特征的差别，划分地层、岩性、构造等地质体；对冰川地貌、海岸地貌、沙漠地貌、河流地貌的研究以及第四纪沉积物类型、土壤类型的划分也都有较好效果。尤其是对植被研究具有特殊作用，它能区别活树和死树，活树影像较深，而被砍伐的树、伪装的枯树、病树等色调较浅。

MSS6(3)：波长为 0.7～0.8μ，属可见光中的红光和近红外波段。本波段的图像对水体与湿地的反映特别清楚，尤其是对植被、土壤湿度的研究有较好效果。由于水体对近红外波段有强烈的吸收作用，所以水体在这个波段像片上表现为黑色。浅层地下水丰富和土壤湿度大的地段，其色调较深，而干燥的地方则具较浅色调。植被对近红外波段具有较高的反射率，所以在这一波段像片上的植被具有明亮的浅色调。有病虫害的植被对近红外波段的反射率低，故而色调较暗。对通过水分、植被来反映的岩性、地层或平原区的隐伏构造，也有较好的反映。另外，大断层、隐伏的隆起构造、和侵入体有关的多金属矿床等，在此波段像片上也常有程度不同的显示。

MSS7(4)：波长 0.8～1.1μ，属近红外波段。这个波段的图像和 MSS6 有很多相似之处，但 MSS7 更具有红外像片的特点。水体对红外波段具有强烈的吸收能力，所以水体在该波段比在 MSS6 像片上显示的更加深黑，即便是对细小水体的反映也极为清楚。在这一波段图像上，湿地色调较深，所以对水体分布和浅层地下水的研究有很好效果。同时对植被的生长情况也有明显反映。生长茂盛的阔叶树有很强的反射率，所以有明亮的浅色调，针叶树的色调略深，而有病虫害的树木色调更深。可见，MSS7 图像对解译与水的分布特征和含水贫富有关的地理事物，都有明显的效果。MSS7 图像对地形细节的表现也非常明显，单片观察时具有较好立体感，可作地形解译之参考。对第四纪沉积物的类型，洪积扇的新老时代划分，不同时期沉积物，如洪积平原与海滨平原形成的先后次序等在 MSS7 图像上也都有较明显的反映。另外，对海冰的研究和海水温度分布的调查尚有一定作用。

MSS8：波长 10.4～12.6μ，属热红外波段（只装备在第 3 号陆地卫星上）。用于植物热辐射强度测量和其他热制图。

总的来说，MSS4 和 5，MSS6 和 7，分别具有相似的光谱效应，可视其解译目的配合使用。通常在地理解译上多以 MSS5 及 7 配合使用；在作浅海和海岸地貌解译时，可以 MSS6 和 7 配合使用。

三、陆地卫星图像的地面分辨率

分辨率有影像分辨率和地面分辨率之分。影像分辨率是指像片或底片上每毫米可以显现的线条数目。它不仅受摄影透镜与感光材料分辨率的制约，同时还受运载工具运动、传感器探测元件性能的影响。所以，在评价卫星像片的分辨率时，一般不用影像分辨率这个概念，而是用以实际反映地面物体大小的地面分辨率表示。

地面分辨率是指在离开地面一定距离的空中，借助透镜组或其他电子仪器的放大能观察到地面最小物体的尺寸，也就是图像上所能显示出的地面最小物体尺寸。它和镜头、底片分辨率以及像片比例尺有关。

卫星图像的地面分辨率，视其用途的不同也有所差异。通常，以军事侦察为目的的卫星图像分辨率要求最高，目前已达 0.3m；气象卫星的地面分辨率最低，一般为 460～886m，所以，它只能分辨一些较大的山河、湖海；陆地卫星的 RBV、MSS、TM 的分辨率也各有差别(表 6－4)。

表 6－4　不同卫星图像的地面分辨率

陆地卫星编号	扫描仪器名称及波段编号	地面分辨率(m)
1、2	反束光导管摄像机 1、2、3	80×80
3	反束光导管摄像机	40×40
*括号内 1、2…为 4、5…	多光谱扫描仪 4、5、6、7(1、2、3、4)	79×79
3	多光谱扫描仪 8	240×240
4、5	专题制图仪 1、2、3、4、5、7	30×30
4、5	专题制图仪 6	120×120

一般说来，凡大于地面分辨率的物体都较为容易辨认，面小于地面分辨率的物体，辨认起来则比较困难。但在实际解译时，图像的地面分辨率尚与影像的背景反差有关。当背影反差较小时，地物往往被背景所“掩没”，因此，地物虽然大于地面分辨率也难以辨认；若背景反差较大，有些小于地面分辨率的地物反而“突出”在背景之上，能够分辨出来。

不同地面分辨率的卫星图像，具有不同的实用价值，表 6－5 列出了在不同分辨率图像上所能识别出的地物及其图像用途。

表 6－5　不同分辨率的图像实用价值

分辨率(m)	能　识　别　的　地　物
1000	大地构造、台风的移动、海洋温度、海水含盐量、海水透明度。
300	区域地质构造、风速、空气污染来源和扩散、裸露的土壤与岩石、砂土风暴、海流河流类型、山脉分布、森林分布、森林火灾。
100	详细地质图、区域地质构造、土地类型、土壤和岩石露头、土壤温度、水雪冰的分布、植被的大类型、一般森林调查。

30	矿产调查、地震破坏、一般土壤温度、沉积情况的调查、绘制河流流域图、海况图、海水污染、详细森林调查、操场调查、一般土地利用、主要公路和 1∶25 万地形图。
10	侵蚀调查、详细水污染调查、鱼群位置、成熟的果园和农场。
3	上壤调查、详细的上壤温度差异、土壤盐分、排水类型、森林密度、单株树木统计、树冠直径、主要树种、人工建筑和 1∶5 万地形图。

四、不同季节成像对卫星图像的影响

即使是同一波段的卫星图像，由于成像季节不同，其影像特征也不一样。例如，在冬季成像的 MSS5 图像上，地物的色调和形态特征信息都比较丰富，而在夏季成像的图像上，却地形缺乏阴影，立体感较差，其色调特征也因植被茂密的干扰而加深，许多线性特征也被掩盖。之所以有这种差别，乃以下诸要素所引起的电磁波特征不同的缘故。

1. 植被的差异

由于植被的多少以及植物叶绿素、叶黄素、叶红素对不同波段光谱的吸收、反射不同而造成了影像特征的明显差异。

人所共知，植物的发芽、生长、成熟、枯黄、落叶和农作物的收割等都有明显的季节性。冬季气候干冷，植物枯黄，地表裸露，植被干扰甚小。所以，冬季成像的图像能较好地反映地表物质的光谱特征；而夏季植物繁茂，覆盖浓密，干扰最大，不少物质或现象被其掩盖，因此，就很难在夏季成像的图像上反映出来，但它却有利于对植被的解译。

2. 太阳高度的影响

太阳高度不仅影响地物的影长，也影响其辐射强度。冬季，太阳高度最低，使物体的阴影最长，这对反映起伏不大的微地貌形态特征非常有利；夏季，太阳高度最大，使物体阴影最短，对反映地形起伏不利，但却有利于地物光谱特征的反映。所以，冬季成像的卫星图像上，地物的形态特征信息丰富，夏季成像的图像上，对地物光谱特征的反映比较清楚，但受植被干扰较大。

3. 水分的影响

对我国大部分地区而言，夏季普遍降雨。这不仅增大了影像色调和颜色的差异，把含水高的土壤和含水低的土壤截然分开，而且由于雨水冲刷了地表灰尘，使许多地物特征更加清晰，易于区分不同岩性地层。同时，雨后天空晴朗，消除了雾、霾的干扰，透明的大气层使影像的反差良好，地物清晰。

春秋季节少雨，影像受降水影响不大，但却受地下水和植被的影响显著。所以，凡是通过地下水和植被来反映的地理事物，在春秋季节成像的图像上都反映出较好的色调差。

冬季积雪掩盖了许多地物和现象，对解译不利。但在有积雪的山区图像上，积雪虽然掩盖了微地貌，却能使其线性构造突出出来，这对断裂构造的解译是十分有利的。

总之，不同季节成像的卫星图像，提供了各有所长的更多不同信息，因此，在解译时应根据解译任务的不同要求，选择最佳季节的图像以提高解译效果。

第三节　陆地卫星图像的几何特征

一、陆地卫星图像的地理坐标

陆地卫星图像的地理坐标，是由地面处理机构根据其成像的精确时间、卫星姿态数据、卫星运行方向等因素，通过电子计算机求得并直接记录在70mm图像上的。

陆地卫星图像地理坐标的确定，受卫星轨道倾角和卫星运行速度控制。由于卫星轨道倾角为99.125°，所以在极地附近卫星运行的轨道几乎与纬线平行（图6—5），从而使图像的上下方向成为东西方向，这与普通地图上的上下为南北方向不同。在中纬度地区，卫星轨道和经纬线呈明显地斜交，其经线的上端总是向西倾斜。面在赤道地区，卫星轨道略与经纬线斜交，所以图像上经纬线的布局和普通地图相似。

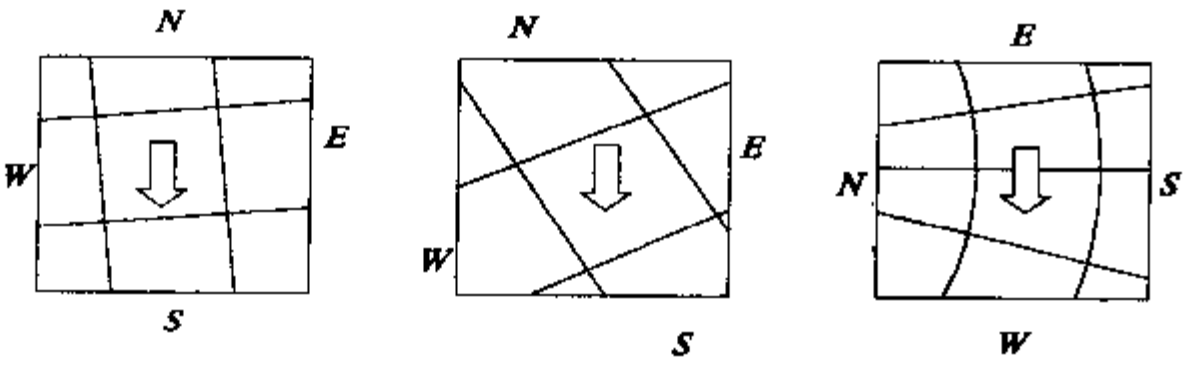


图6—5　卫星图像的经纬线网

为了使卫星图像的地理坐标准确无误，在确定其坐标过程中必须做到：

(1)在卫星图像发出的同时，要有准确的定时讯号和卫星姿态数据；

(2)地而跟踪站，要随时校准卫星和接收站的时钟系统与卫星轨道参数，及时发出指令控制卫星姿态，防止卫星姿态的不稳定；

(3)根据卫星运行特征，推算任何时刻卫星的地面投影位置。

粗制卫星图像的地理坐标，是先以轨道星历或天体历标算出像主点的经纬度，然后再以像主点的经纬度为依据扩展面成的。

精制卫星图像的地理坐标，则是经过地面控制点纠正后计算出来的。在美国共设置丁大约6000个地面控制点，供计算机计算并对比影像点位与控制点位的地理坐标，求取改正值，将图像纠正到所需精度要求。实际上，一幅精制图像就是一幅影像地图。

二、陆地卫星图像的投影性质

RBV图像是光学镜头成像，地面各点的投影光线均通过投影中心，和航空像片一样同属中心投影。

RBV粗制像片，已将卫星姿态造成的定点差和仪器造成的图像变形，通过9×9阵列的81个控制格网点进行了有效纠正，纠正后的粗制图像，可视为近似垂直投影，但它仍受中心投影规律的制约。

MSS图像是扫描成像的，每次自西向东的有效行扫描都有一个中心，一幅MSS图像需要390次有效行扫描才能扫出185×185km的地面，所以它共有390个中心，故称为

“多中心投影”。

MSS 图像并不是简单的多中心投影，而是在扫描过程中，由于扫描镜摆动使投影中心产生移动的“动态行扫描中心投影”。正由于卫星图像是在动态过程中逐行扫描成像的，因此，在轨道高度变化、卫星姿态滚动、俯仰、偏航、地球旋转和地球曲率等的影响下，使其产生的变形更加复杂化。

经粗制加工处理后的 MSS 图像，消除了一些误差和影像畸变，在解译应用时亦可视其为近似垂直投影，但它仍具有难以消除的残存误差。表 6—6 列出了 RBV 和 MSS 残存误差，也就是图像所能达到的制图精度。

表 6—6　RBV 和 MSS 的产品精度(残存误差)

图像 / 制品 / 精度	RBV(m)		MSS(m)	
	粗制品	精制品	粗制品	精制品
位置精度				
胶片产品	766	92	743	242
纸质产品	780	104	757	246
重叠精度				
全部产品	339	118	159	154

精制图像是利用地面控制点作了精确校正，并用电子计算机归算成国际通用的横轴麦卡托投影(UTM)和极地球面投影(PSP)。由于美国陆地卫星系统不可能在我国设置地面控制点，所以，精制图像只有在美国领土才有，我们只能取得粗制图像。

三、陆地卫星图像的重叠

卫星图像和航空像片相似，既有航向重叠(沿轨迹方向)，也有旁向重叠(相邻轨道间)。

1. 卫星图像的航向重叠

对 RBV 来说，卫星图像的航向重叠是在成像时就设计好的。

RBV 的快门每隔 25s 开启曝光一次，摄取一个地面景象。在此期间，卫星轨道约向前移动 159km，而其扫描宽度是 185km，因此，使前后拍摄的相邻两张 RBV 影像上下形成 26km 的重叠(图 6—6 左、图 6—7)。

MSS 图像的航向重叠，是数据处理中心在分幅处理时用电子记录器两次重复扫描形成的。重叠幅度为 16km，占像幅的 9%(图 6—6 右)。

2. 卫星图像的旁向重叠

卫星图像的旁向重叠，是相邻轨道间的图像重叠，它取决于相邻轨道的间距和成像宽度。其成像宽度是 185km，固定不变；面相邻轨道的间距，却又与地球自转有关。

卫星以恒定轨道每天绕地运行 14 圈，每圈需时 103.267 分钟，14 圈共计 1 445.738 分钟(相当于 24 小时 5 分 44.28 秒)。也就是说，当卫星由 M 天的 N 圈运行到 M+1 天的 N 圈时，地球自转已超过 360°，实际上已旋转了 361.43°。所以，卫星轨道在赤道附近地面上的投影线，就比前一天向西移动了 1.43°，相当于轨道位置西移 159km(图 6—7)，而其成像宽度是 185km。因此，前后两天在赤道任何相邻轨道上所拍摄的图像，都形成了

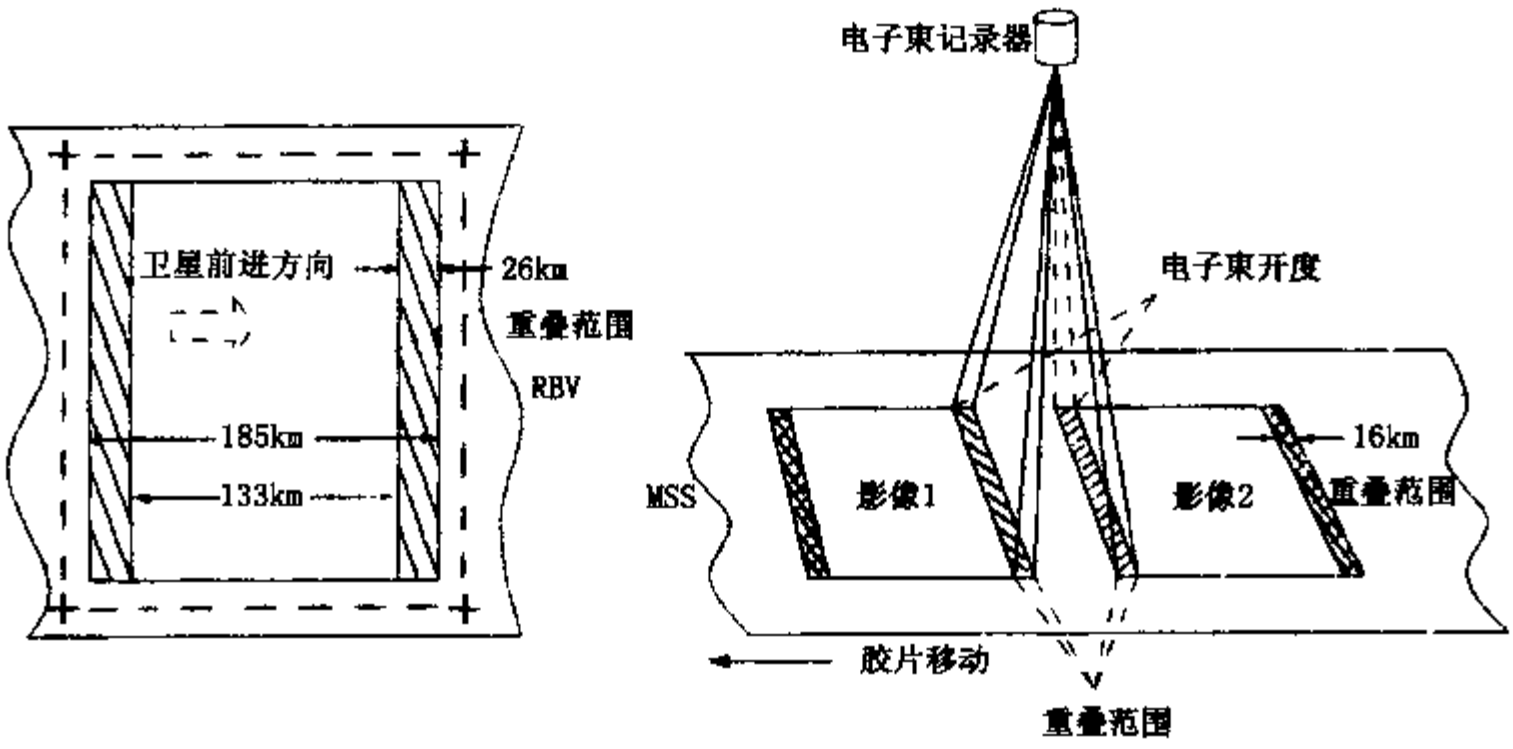


图 6－6　RBV 图像的航向重叠(左)、MSS 的动态分幅及重叠度(右)

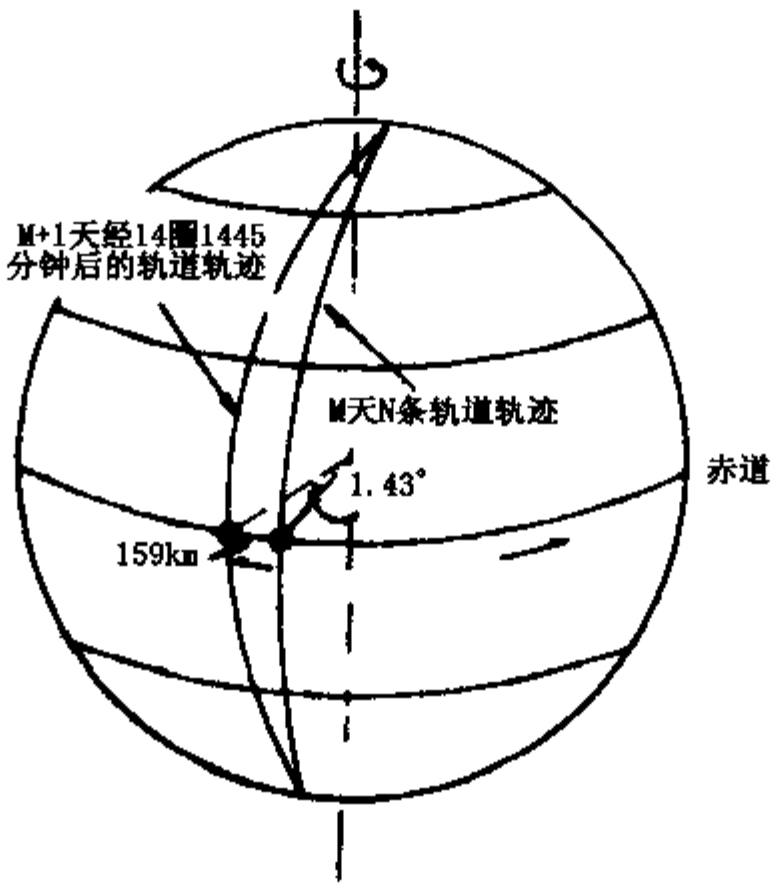


图 6－7　卫星拍摄轨道日变化示意图

26km 的旁向重叠，重叠部分占整个像片的 14%。

由于地球是一个椭球体，卫星轨道在两极上空相交，所以相邻的轨道间距从赤道向两极逐渐缩短，而卫星对地面的扫描宽度却不变。故而，使图像的旁向重叠从赤道向两极渐增(表 6－7)。

旁向重叠是从两条轨道上对地面扫描成像形成的，因此，可作立体观察和量测。但在南、北纬 55°之间的卫星图像，因其重叠率不大，不能看到全部立体图像；只有在超过 50% 重叠率的高纬度地区，相邻卫星图像才能构成立体像对，可供立体观察和量测之用。

表 6—7　陆地卫星的旁向重叠与垂直夸大系数

纬　　度	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
旁向重叠率%	14	15.4	19.1	25.6	34.1	44.8	57.0	70.6	85
摄影基线长(km)	159	157	150	137	122	100	80	54	28
基线轨道高比	0.174	0.172	0.165	0.150	0.134	0.111	0.088	0.059	0.031
垂直夸大系数	1.22	1.20	1.15	1.05	0.94	0.77	0.60	0.40	0.21

第四节　陆地卫星图像的处理

陆地卫星图像必须经过某些处理后，才能送到用户手中使用。其处理内容包括图像复原、图像增强和信息提取等 3 个方面。

一、图像结构及其图像处理功能

1. 图像结构

任何一幅图像，都是由排列有序的极小面面积相等的图像单元组成的。对遥感图像中的这些图像单元，称之为像元(Pixel)。每个像元都可用 X、Y、Z 三个量来描述，其中 X、Y 决定像元在图像上的位置，Z 描述它的亮度，从 0(最黑)到 255(最白)。这样就可把任一图像用严格的数字形式在三坐标体系上表示出来。陆地卫星图像，就是用这种数字格式记录在磁带上的。我们也可把任意一幅原来以照片的形式记录在胶片上的图像，通过图像数字转换装置把它转换成数字格式。

图像数字转换的目的，是为了能够应用计算机对数字化了的图像资料进行各种处理后，达到图像复原、增强和信息提取的要求。

以数字形式将图像直接记录在磁带上，是陆地卫星多波段扫描成像的一大优点。在 185km 长的扫描线上，记录了被扫地物的反射比值曲线(图 6—8)。其横坐标代表沿扫描线方向的距离，纵坐标代表来自检测器 79×79m 面积地面分辨单元的反射太阳能数值。这种反射比曲线称为模拟显示，对模拟显示定距取样，并在每个取样点用数字形式记录下来，就变为数字显示。

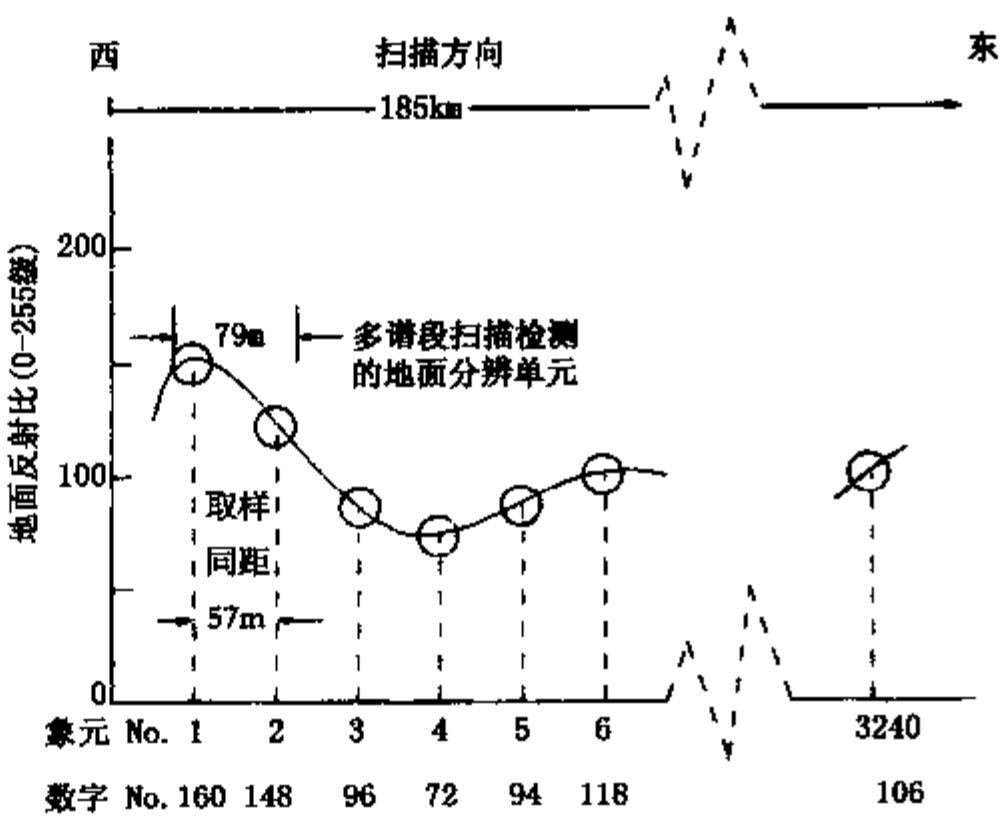


图 6—8　陆地卫星沿一条扫描线的地面反射比曲线

在陆地卫星上，模拟信号是以 57m 间距取样转换成数

字资料，用计算兼容磁带(CCT)将图像资料传输给地面接收站的。

每幅陆地卫星图像画面，是由2340条扫描线组成的。每条扫描线上以57m间距取样，所以就产生3240个像元。每个像元都有一个对应于地面反射比的数字，故每个波段的单张画面含有7.6×10^6个像元。以图像左上角为坐标系原点，就得出图6—9的排列格式。

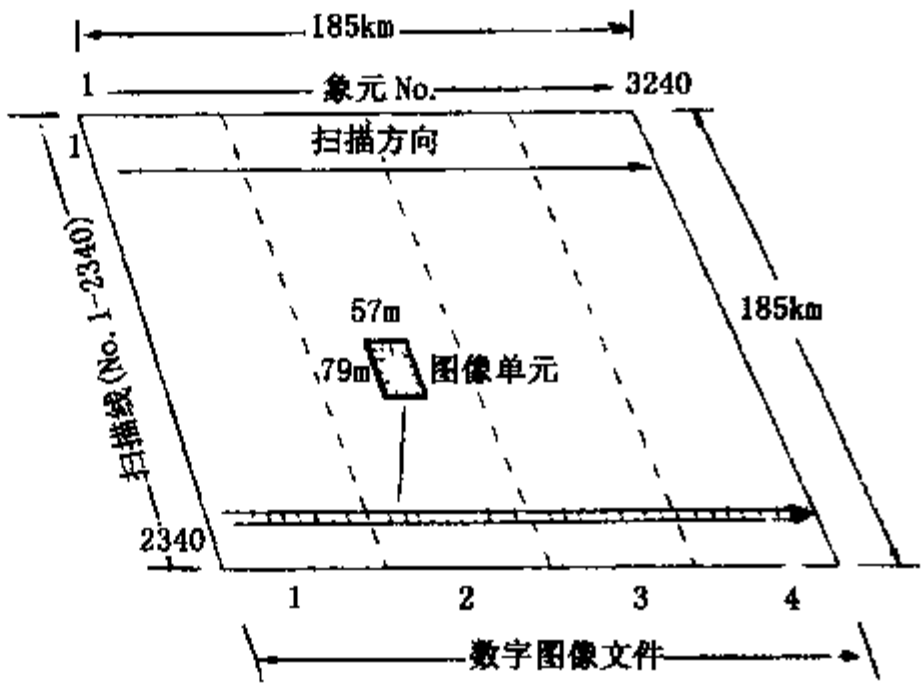


图6—9 陆地卫星多光谱扫描图像的格式

由于地面反射光谱是在成像板上被分成4个波段同时为检测器接受的，所以CCT磁带也是用隔行扫描方式同时记录来自4个波段的数据。因此，每盘磁带都包含4个波段各1/4幅画面的信息，即代表了东西宽46km、南北长185km的一个条带。单一波段的整幅画面分别包含在4盘磁带里面，所以，在图像处理前，大都把这些磁带变换为每盘磁带包含单个波段的整幅画面。

2. 图像处理功能

处理陆地卫星图像和类似图像的数字系统，都需要专门的程序和软件。由于处理对象和应用范围的不同，所需程序、设备和处理系统也就不一样。综合这些处理系统的应用范围，图像处理功能可分为图像复原、图像增强和信息提取3种。可处理内容包括：

(1)图像复原　图像复原包括第六线脱落和第六线箍；大气散射校正与几何校正等；

(2)图像增强　图像增强包括光学增强技术和计算机数字图像增强技术。光学增强技术有多波段图像的彩色合成技术、等密度分割加色技术、图像相关掩膜技术等；计算机数字图像增强包括彩色增强、反差增强、合成立体图像、数字镶嵌等；

(3)信息提取　信息提取包括比值图像、空间和定向滤波、多光谱分类、变换检测图像等。

当然，上述分类原则并不一致，如有的把比值图像归于图像增强，也有的把所有图像的复原及增强都归于预处理，然后再按需要进行各种方式的信息提取研究。所以，以上分类仅为说明图像处理功能提供参考。

二、图像复原

在扫描和传输过程中，由于仪器本身问题或大气散射与航天器的姿态、高度及速度变化等因素的干扰，致使图像产生多种误差。图像复原的作用，就是通过对这些误差进行辨别、补偿和校正，来减少图像的失真程度，保证图像质量。

1. 第六线脱落和第六线箍校正

第六线脱落，是由于设备的原因使来自6个探测器中某一个的数据未被记录下来，从而使计算兼容磁带上的每组第六条扫描线，在图像上成为一条黑线或脱落为零线。这一缺

陷，可用与脱落线中每一像元相对应的相邻上下两行像元的算术平均值，代入校正。

第六线簇，是指标定好的 6 个检测器中的一个，随运行时间变长出现零点漂移，造成其增益或振幅的倍增，从而使每组某一扫描线亮(或暗)于画面平均值一倍。与脱落不同之处，在于这些有缺陷的扫描线含有有效数据，必须对其进行纠正后，才能与整个画面相匹配。其校正方法有二，一是测出每一象元值的振幅，辨别出画面上任一周期性的偏离，计算出校正系数加以纠正。另一种是作出 6 个检测器数码值的直方图，用各直方图中均值和中值的差数识别其偏离值，据此进行校正。

2. 大气散射校正

大气对电磁波的散射作用与电磁波的波长有关，波长愈短，散射愈严重(图 2－12)。所以，MSS4(0.5～0.6μ)波段的散射作用要比 MSS7(0.8～1.1μ)波段的散射作用强得多，因此，MSS7 的图像就比 MSS4 的图像清晰得多。如不设法改正这种影响，则不利于对图像的彩色合成。

校正时，通常都把红外波段(MSS7)看成基本上不受大气散射影响，用 MSS7 的水体或阴影部分的数码值作为零值，当作校正标准，再求出其他波段相应像元数码向较高数码方向的偏移量加以校正。统计表明，对第四波段面言，其偏移量为 11(五波段是 7、六波段是 3)，因此，从四(或五、六)波段所有像元中减去与之相对应的偏移值即可。

3. 几何校正

扫描过程中，有一系列系统的或非系统的畸变也进入了图像数据之中。这些畸变在制出原版图像时已作了校正，但在计算兼容磁带上并不包含这些校正。

非系统畸变，是一些不恒定也不能预测的几何畸变。它主要是由航天器姿态、高度和速度的变化造成的。一般来说，这类畸变是根据陆地卫星跟踪资料和地面控制点进行校正的。

系统畸变，是效果恒定并事先能够预测的几何畸变。它包括扫描仪畸变、扫描镜速度的变化和扫描歪斜等 3 种。这 3 种畸变方向都与航向直交。前两种可根据已知资料进行校正；后一种，则可用沿扫描线方向比沿航向有更高的取样速度加以补偿。

三、图像增强

图像增强，就是利用光学或计算机技术，使原来的遥感图像变得更清晰，令图像上目标物体的解译标志更明显突出，易于辨认，以提高其解译程度。图像增强处理虽然没有增加图像的信息量，但却改善了图像的解译条件，提离了图像的可辨性，是对遥感图像分析研究的一种有效手段。其方法不外光学增强和利用计算机增强两类。

1. 光学增强

随着多波段成像技术、光化学和电于光学技术的应用，图像光学增强处理也得到了进一步发展。遥感图像经光学增强技术处理后，可提高目视解译的分辨能力，完善解译效果。目前，光学增强的技术方法很多，常用者包括：

(1)多波段图像的彩色合成技术　人眼对消色(黑白)物体影像只能有色调深浅变化的感觉，而对彩色物体影像却能觉察到其色彩、亮度和饱和度 3 种不同的特性。因此，人对彩色图像的分辨能力要比对黑白图像的分辨能力高得多。所以，若把黑白遥感图像处理成

彩色图像，自然也就能提高解译效果。

多波段图像的彩色合成技术，就是根据彩色合成原理，把不同波段的黑白图像合成为彩色图像的。常用方法有下列几种：

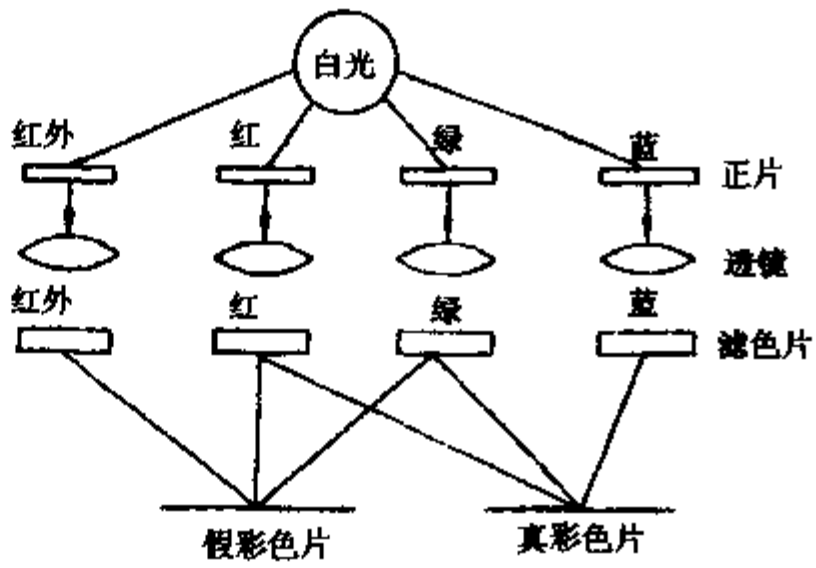


图 6—10　彩色合成光学原理

光学法：光学法是根据加色法原理进行彩色合成的。由于在进行多波段摄影时，用蓝、绿、红及近红外滤色片，把被摄物体反射出来的蓝、绿、红和近红外光，记录在各波段摄影胶片上，经显影后得到各波段的黑白影像，再拷贝成正片影像。所以，每个波段的正片影像，都已经记录下拍摄时地面各处密度不同、相应于蓝、绿、红 3 种色光的光量数值。故而，只需在各个光通道的镜头上放置与成像时相同的滤色片。就能在仪器屏幕上显现出和原来相同的彩色图像(图 6—10)。

如果变换各种正片及其滤色片组合，就能产生包括真、假彩色图像在内的各种彩色图像。因为陆地卫星图像缺少蓝光波段，但有红外波段，所以，只能合成假彩色图像。

通常，多采用 4、5、7 波段的正片，分别配以蓝、绿、红滤色片合成为标准假彩色图像。在这种图像上，植被显示为红色、城镇为蓝灰色、河流为蓝色、雪和云为白色等。当然，为了突出图像中所需辨认的地物，也可用其他不同组合方案进行合成。

若需保存或复制合成的彩色图像，尚可用摄影机翻拍成彩色负片，再根据需要放大成彩色图像。

光学法操作简单、合成的图像清晰，所以它是图像光学增强的一种主要方法。

分层曝光法：分层曝光法，是利用普通放大机，根据三元色分层曝光的原理，进行多波段遥感图像加色合成的。这种方法具有设备和工序简单、合成周期短、成图质量高的优点，故简单易行，便于推广。

分层曝光，就是把 3 张黑白分色负片，通过红、绿、蓝滤色片，先后对同一张彩色放大纸的 3 层感光乳剂分别进行曝光。

彩色像纸的片基上，涂有感色性能不同的 3 层乳剂。其中，第一层只感受蓝光。因其含有黄色染料成色剂，所以，当感蓝光后，经显影呈现黄色；第二层只感受绿光。因其含有品红色染料成色剂，故当感绿光后，经显影呈现品红色；第三层只感受红光。因其含有青色染料成色剂，经感红光显影后呈现青色。另外，在一、二层中间，还设有一层黄色滤光膜，以防止蓝光干扰二、三层；最底层有防光晕层，以防止片基反光的干扰。这样，采用三元色光进行放大 3 次，经分层曝光的结果，就能生成一幅假彩色合成图像。

印刷法：印刷法是根据减色法原理，利用普通胶印设备，采取彩色制版和印刷工艺进行假彩色合成的。

由于多光谱图像的底片已分成不同的光谱段，所以在制作多光谱合成图像时，可省略分色摄影工序，直接用多波段遥感图像的分色底片制作出网目印刷版，再分别用黄、品红

和青 3 种油墨，按规定的版色要求套印成假彩色图像。通常，MSS4 用黄色、MSS5 用品红色、MSS6 或 MSS7 用青色。当然，也可使用其他的组合方案，用三色或两色合成。不过，使用以上组合所合成的图像，更能接近于天然色彩。

印刷法具有成本低廉、复制快速、适用于大批生产等优点。但由于其制版印刷过程需经多次翻版，且受印刷工艺限制，故使影像信息损失较大。

染印法：假彩色合成染印法是根据减色法原理叠加而成的。其工序与彩色印刷法相类似，但它不用挂网目片，而把 MSS4、5、7 多波段黑白负片拷制成分色浮雕膜片（正片），再分别按其互补色将浮雕膜片用黄、品红、青 3 种染料依次染色，叠加转印在空白接受纸上，形成假彩色合成图像。

浮雕膜片是用浮雕片经投影晒印和显影加工制作而成的。浮雕片是染印法专用的一种感光胶片，和一般感光胶片一样，在片基上都涂有感光乳剂；不同之处，在于它除涂有感光乳剂外，还涂有具吸附有机染料特性的明胶层。曝光后，经显影、热洗处理，其感光部分生成影像留下，未感光部分则被热水洗掉。由于地物亮度不同，曝光时乳剂的感光程度和明胶层的厚度也不一样，从而形成凹凸不平的浮雕（图 6—11）。经分别染色转印叠加到接受纸上，则生成假彩色图像。

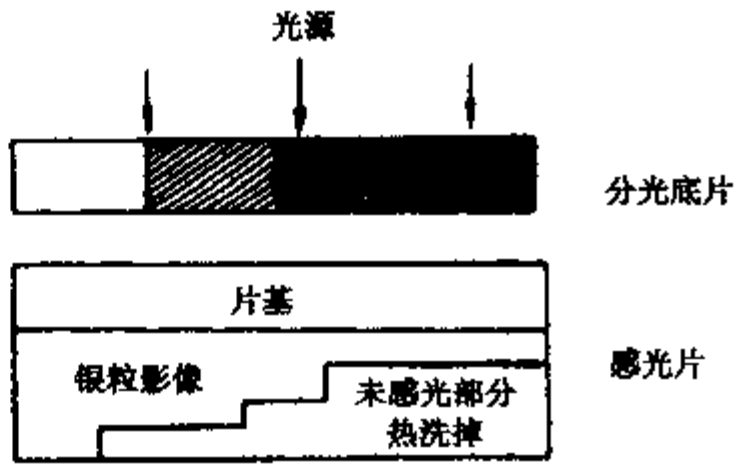


图 6—11　浮雕片成像示意图

染色法与印刷法相比，具有工艺简单、设备要求不高、成本低廉、影像清晰、色彩鲜艳、信息损失少、分辨率高、保存性好、成图周期短、适于小批量生产和易于普及推广等优点。

重氮法：重氮法是一种非银盐成像方法。它是利用重氮盐在 0.3～0.5μ 光的作用下发生分解，分解后再与一些耦合剂发生化学反应就可生成不同颜色的特性，经曝光和耦合作用，复制出不同色光的单色透明片。然后，再按彩色合成原理及其增强需要，把 3 张单一颜色的透明片重合在一起，即可得到一张重氮彩色合成图像。

重氮合成设备，是由重氮印像机和重氮显影机两部分组成的。晒印时，先把底片压在重氮感光片上放进重氮印像机内，利用能发射 0.3～0.5μ 光的紫外光灯曝光，在重氮盐发生光化学作用下，印制出与底片影像一致的潜影图像；再把印好的潜影图像放进重氮显影机中，经氨水熏蒸，进行显影，即得到一张单一颜色的透明片；然后，把 3 张单一颜色（黄、品红、青）的透明片重合在一起，就能得到一张用重氮法制成的假彩色合成图像。

在正常（标准）情况下，一般把 MSS7 印在青色重氮片上，MSS5 印在品红重氮片上，MSS4 印在黄色重氮片上。但为了不同需要或突出所需内容，也可进行其他方式的组合。

用重氮法合成图像，不需要在暗室内进行操作。而且，它具有工艺简单、成本低廉并无污染等优点。

（2）假彩色等密度分割　假彩色等密度分割技术，又叫单软片—电子光学技术或等密度分割加色技术。它主要是通过光电变换，把黑白图像的色调变化，划分成不同等级，再分别用不同颜色表示不同密度，从而得到假彩色等密度分割图像的。

对遥感图像分析和解译的主要依据，是地物波谱特性及其在各波段遥感图像上所记录的灰阶密度。灰阶密度的差异，甚至是它的微小变化，都代表着各种不同类型的地物。然而，人眼所能分辨出的灰阶密度等级是极为有限的，因而在鉴别多波段图像上的各种地物时受到限制。但借助于假彩色等密度分割仪器，就能对图像的密度等级进行有效的分割，提高对图像的识别能力。

假彩色等密度分割处理，要先用光导摄像管对单张黑白底片或图像进行扫描，拾取底片或图像上各点的光信号，再将其转换为电压信号，并按电压信号强弱划分为不同等级，分别用不同色彩显示在彩色电视屏幕上，从而形成一幅假彩色等密度分割图像。密度分割的等级，可根据需要选择。不同密度分割仪能把密度划分为 8、12、16、32、64 级，甚至更多。有的仪器还能用数字把某一颜色所代表的绝对密度及其面积比率等数据显示出来。这样不仅能使彩像轮廓突出，提高了图像的分辨能力，表示出各级密度的分布情况，而且还得到了某一颜色所代表的绝对密度值及其分布面积所占的百分比等数摄，为定量分析计算提供了条件。

假彩色等密度分割的优点，在于它能较为鲜明、精确地显示出图像色调差异及其分布，突出了某些地物的轮廓，提高了人眼对色调变化的分辨能力，较快地计算出某种颜色的绝对密度及其所占面积比率。因此，在环境监测中圈定污染范围，识别和分析隐伏地质构造以及在寻找地下水等方面得到广泛应用，并取得了较好效果。

假彩色等密度分割技术的缺点，是由于光照条件、地形起伏或其他因素的干扰，使同一地物的色调变化不均，致使同一地物或现象被分割成不同的颜色显示出来，这显然不是地物本身辐射特征的反映，故其颜色差异并不代表地物本身的不同；有时，那些性质不同、但有相似反射率的地物，反面显示出相同的颜色或密度，因此，在判定地物类别时，很容易发生错误。所以，如遇有这类情况，最好先对图像做比值分析处理，待排除干扰后，再进行密度分割，以防误解。

(3)相关掩膜增强　相关掩膜增强技术又称蒙片技术或密度分层技术。它是利用摄影方法，把原图像制成不同曝光量的蒙片(膜片)，或用不同波段的负片或正片，以不同组合方式相互叠加制成另一种新的影像，达到图像增强的目的。这种方法，能使影像密度分层清晰、影像细节得到增强且不需特殊设备，简单易行，便于推广。其处理方法如下：

反差增强：先把底片晒印成两张或 3 张不同反差的正蒙片，使其一张(如正 a)的反差尽量与原图像的反差一致，另外两张(如正 b 和正 c)，使其一张晒印成高反差，呈现 2～3 级灰阶即可；另一张晒印成低反差，可呈现 4～5 级灰阶。然后，把所晒印成 3 张反差不同的蒙片叠加在一起(图 6－12)，待准确叠合后，用适当的感光片曝光，即印制成一张反差得到增强的底片。

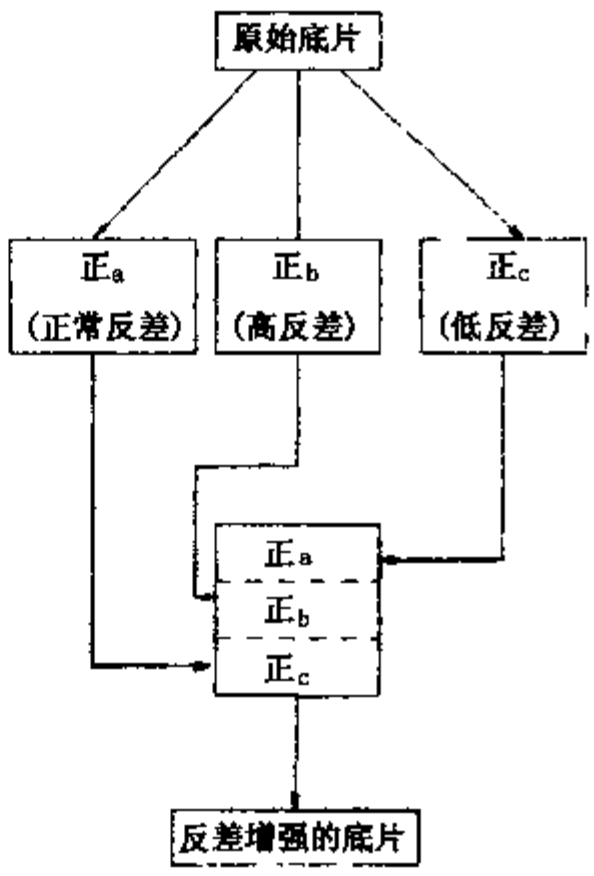


图 6－12　反差增强示意图

另外，也可用一张全色底片，分别制成曝光量不足、中等和曝光过度的底片，或制成一系列曝光量的底片，再选取适当间隔的底片，采用光学法或染印法等叠加合成一幅彩色图像。这种合成图像，能增强影像色差、突出地物轮廓，对海岸带泥沙流的浓度、展布特征表现得更为清晰。

再者，还可用两张或多张不同波段的负片（或正片）叠加后，经不同方法合成处理形成多波段密度分层的彩色图像，同样也能取得密度分层清晰和影像增强的效果。例如，用6、7波段的负片，配以红、绿滤色片的组合，叠加合成的彩色图像，对突出居民点、道路、河流、富水区以及与植被、水分有关的地理现象等都有较为显著的效果。

图像反差增强的方法很多，可根据不同要求进行选用，以提高对图像的识别能力，增强解译效果。

边缘增强：边缘增强技术，是把同一波段同一影像的正、负片，使其药面相对地重合在一起，在曝光印像时，将其错动一定距离，使入射光通过错动窄缝产生折射，从而增强影像边缘。或者将其药膜相背的叠合在一起，使其隔着两层片基的厚度，用斜射光曝光，也可取得同样效果。

用边缘增强得到的图像，边界清晰突出，富于立体感，犹如雕刻出来的影像，故又称浮雕法，得到的照片为浮雕片。浮雕片可制成黑白片，也可制成单色或复色合成的彩色片。

浮雕片能增强线状要素和突出不同影像的边界轮廓，提高微弱信息的解译程度，达到边缘增强的目的。但在制作过程中，应当注意所制作的正片密度要小，正、负片的叠加错位要适当，并应尽量使其错动方向与图像中主要轮廓线成线形构造线垂直。否则，会造成影像线条模糊不清，缺乏立体感，失去边缘增强的意义。

2. 数字图像增强

图像增强处理的目的，在于使图像更为清晰，目标地物更加突出，易于判定解译。因此，从方法上说，就是要突出一些有用信息，摒弃一些不必要的信息，以达图像增强目的。这项工作，除以上所谈各种光学增强技术外，尚可将数字化的图像输入电子计算机，由计算机经变动图像的原来数码值来完成各种增强处理任务。

(1)彩色增强处理　彩色增强处理，包括彩色合成和假彩色等密度分割两种。彩色合成，是根据每个像元数据值的大小和性质，分别归入计算机规定的程序中，先将编排好的赋色编码表输入计算机，再让计算机自动检索处理每个像元不同波段的数据值，并按编码表规定赋予每个像元以一定的颜色，经计算机处理，待图像的每个像元都得到赋色后，输出的就是按顺序排列成的彩色像元点阵，也就是一幅几个不同波段的彩色合成图像。

假彩色等密度分割，同样也是先规定不同密度等级的彩色编码表，并将其输入到计算机中，经计算机处理后，就可显示出一幅假彩色等密度分割图像。

(2)反差增强处理　分辨率是图像质量的主要指标，然而，分辨率相同的各幅图像，若反差不同，其解译效果也会有很大差别。因此，改善反差是图像增强最常用的方法之一。

利用计算机进行数字图像的反差增强，是把一幅图像中过于集中分布的像元数据值拉开，进行再分配，以增加图像的层次。因此，反差增强必须先对原始图像的像元数值进行统计，作出亮度值的直方图，然后，再根据直方图的特点和需要，将过于集中段的像元值延展拉长，以达到改善反差的目的。

最简单的反差增强方法是线性反差增强，此外，还有非线性反差增强（又称直方图式伸展）和高斯伸展等。但无论哪种方法的反差改善，都会由于像元值过于集中段的延展拉长，而削弱或丧失一部分数码值（信息）为代价的。所以，在作反差增强处理时，要随时注意其中的相关变化，对增强什么、减弱或丢弃什么要做到心中有数，根据需要采用不同方法，以获得比较满意的图像增强效果。

（3）合成立体图像　由于陆地卫星图像的旁向重叠率小（在赤道地区只有14%），基线——高度比小导致垂直夸大不够，以及构成相对两张图像的成像时间往往相隔太久，有时竟相隔好几个月，致使季节和天气的差异遮掩了图像的细节等原因，所以使大部分地区的多数图像不能进行立体观察。但数字处理技术，可以根据统一的投影方式重新组合陆地卫星单张画面的像元，“制造”出具有与原图像构成立体像对所要求的像点位移和垂直夸大的人工合成图像。

在进行立体图像合成时，先把陆地卫星画面上的地面控制点与相应的地形图套准，以获得高度信息。然后，再用一种数学模型把全部像元重新标绘成新图像，并使其与构成立体像对的另一幅图像相匹配，就可得到一幅立体图像。这种合成立体图像，可以进行立体观察，但处理费用较高。

（4）数字镶嵌增强　和航空像片一样，常规陆地卫星图像的镶嵌，是根据某些标志把几幅单幅图像拼接成一幅镶嵌图像。但由于相邻图像间的反差和色调差别所引起的棋盘格状图案，会严重地干扰解译，所以，必须通过数字镶嵌增强技术对其加以改善。

数字镶嵌增强，首先是把要镶嵌的陆地卫星图像的数字资料合并到一个数字文件中，并根据图像重叠部分的地面控制点，使其邻接部分相互套准，从几何上把像元调整到所要求的地图投影。其次，是从数字磁带中除掉图像重叠部分的重复像元。然后，再把最佳反差伸展运用到所有像元上，从面构成一幅外貌均一的镶嵌图像。

四、信息提取

图像复原和图像增强，只是利用计算机对数字图像进行校正、改善以提高图像质量，并没让计算机来鉴别、判定图像信息的性质。但信息提取，却利用了计算机具有对图像信息作识别、判定的能力，来鉴别和提取特定部分的信息。为此，操作人员必须提供训练资料、建造专用软件并对所提出的信息含义作出估价。所以，在技术上要比图像复原和增强复杂些。

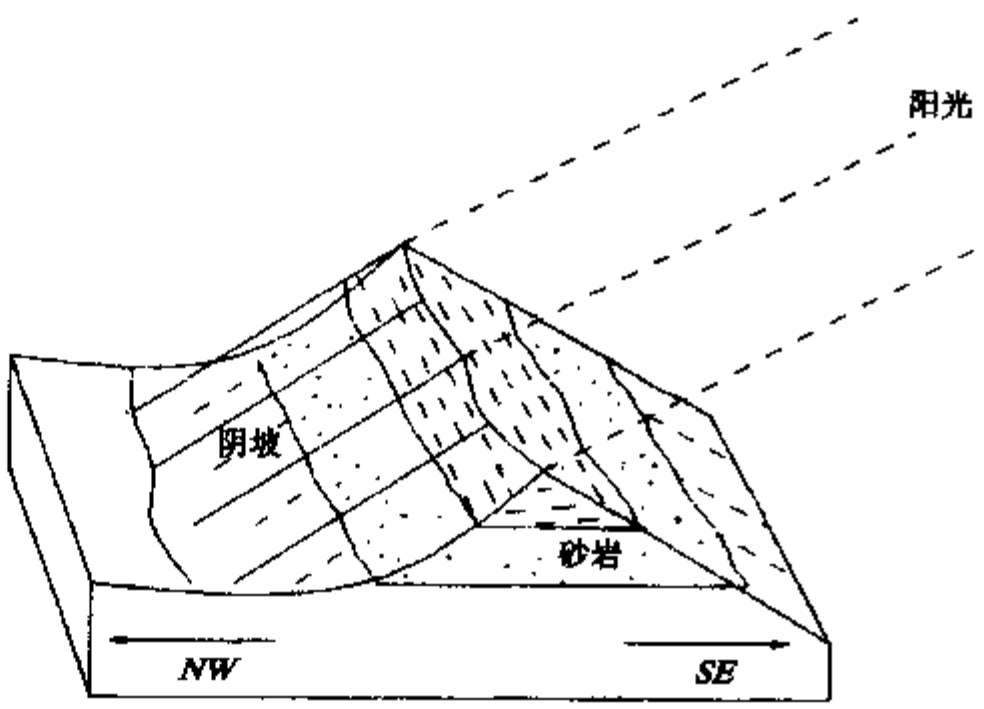


图6—13　砂岩在向阳与背阴坡光照差异示意图

1. 比值图像：

比值图像，就是把图像上每个像元的某一波段的数码值，与同一像元的另一波段的数码值相除，用

所得比值作为该像元的新数值，重新显示图像，即成比值图像。这种图像的最大优点，是不论光照条件如何变化，一种物质在图像上总是具有相同的色调，从而消除了因光照条件所产生的影响。

如图 6－13 所示，一层砂岩出露于山体的阴坡和阳坡两侧，由于阴坡受山体阴影的干扰，使砂岩在 4、5 波段图像的反射率都低于阳坡。所以，在单波段图像上，虽同是砂岩却形成两种不同色调，用等密度分割加色技术处理，也同样显示为两种不同色彩，极易误解。但在 MSS4/MSS5 的比值图像上，阴坡和阳坡的砂岩比值却趋于一致（表 6－8），消除了地形阴影的影响。

表 6－8　砂岩反射比

光照情况 \ 反射率或比值 \ 波段	MSS4	MSS5	MSS4/MSS5
光照区	28	42	0.66
阴影区	22	34	0.65

陆地卫星多光谱扫描图像的每个像元有 4 个波段的数值，可以组合成 12 种比值图（MSS4/MSS5、MSS4/MSS6、MSS4/MSS7、MSS5/MSS6、MSS5/MSS7、MSS6/MS7 和它们的 6 个倒数），在这些图像上，色调深浅所反映的是两个波段光谱反射率的比值差异。因此，不同地物在不同比值图像上可以被突出，也可以被压抑。应根据需要选择目标地物比较突出、图像较为清晰的比值图像供解译使用。

除了以上波段比值外，还有一系列的其他比值。例如，用图像中同一像元不同波段的数值，进行加、减、乘等混合运算后的结果，作为像元数据，显示出不同图像，可极据解译需要进行选取。另外，还可把不同比值的图像作为分光底片，制造出不同组合的彩色合成图像，对解译也是很有实用价值的。

2. 空间和定向滤波

任何一幅图像，都是由顺序排列的像元所组成的许多条扫描线构成的。如果以扫描线上规则排列的像元为横坐标，以像元的数码值（灰度值）为纵坐标，将其标绘出来，就可把每条扫描线绘成图 6－14 左面那样的曲线。可以看出，这是一个由许多各具其恒定波长的简单曲线所构成的复式波。空间和定向滤波，就是把这种复式波形通过计算机用空间滤波的数学程序，把它分解成许多不同波长（频率）的简单波形曲线（图 6－14）。并根据需要，拼弃不需要的频率波形曲线，选择适宜的频率波形，重新组成新的图像，以突出不同的地物。

频率滤波器可根据通过的空间频率分为高通滤波、中通滤波和低通滤波。像对于波长以数十公里计的山脉这类地物，由于其形迹具有较低的空间频率，亦即具有非常大的波长，故应采用低通道滤波器加以增强。也就是把具有高频率和中等频率形迹的曲线滤去，只通过低频率的形迹曲线构成图像，突出表示山脉的形迹。像对波长以公里计的一般背斜和向斜，因其具有中等空间频率，故应采用中通道滤波器；而对波长以几十米、几百米计的节理、裂隙和小型地质构造，因其具有较高频率，所以要采用高通道滤波器来增强。

利用频率增强处理，还可以对图像某一方向的频率增强，以突出表现这个方向线形地

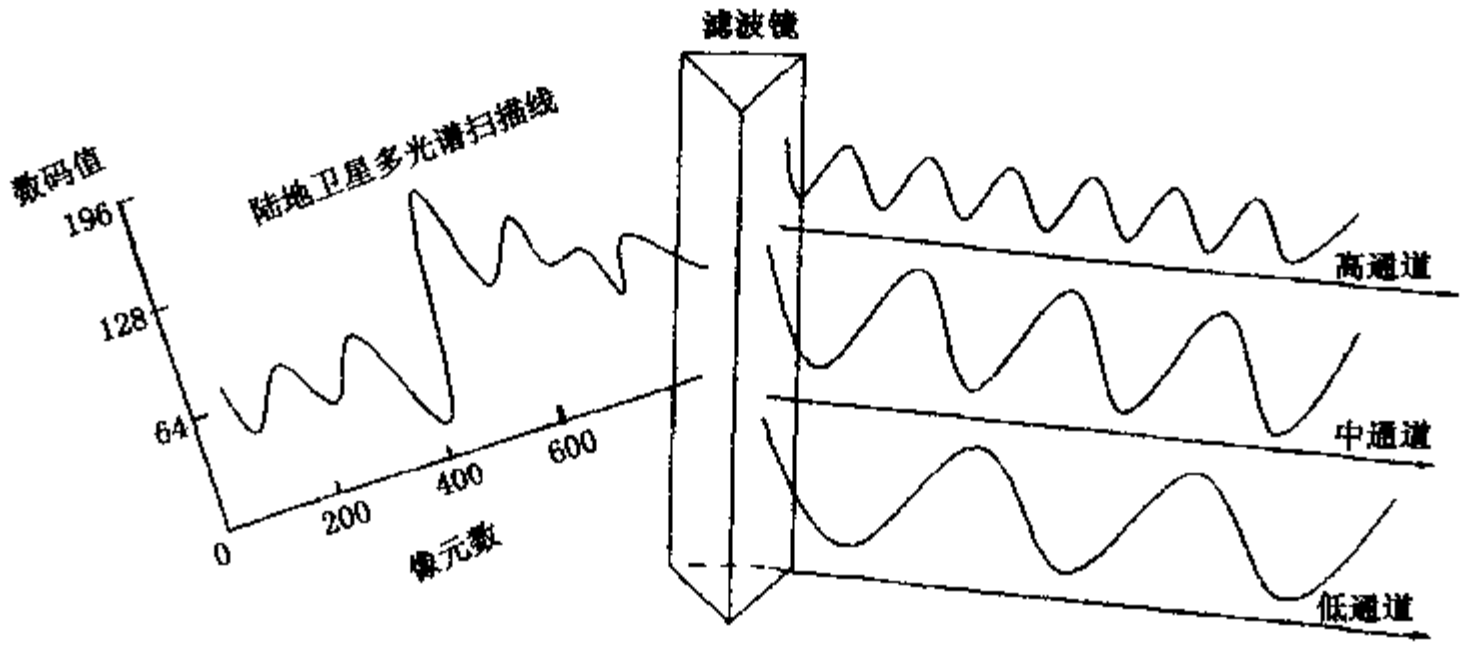


图 6－14　频率(滤波)增强示意图

物。另外,滤波本身有可能产生人为的线性影像,必须把它与真正的地面形迹区分开来。

3. 多光谱分类

每一类地物,都具有自己的反射波谱曲线,不同地物的光谱特性,通过陆地卫星图像上不同的像元数值反映出来。利用计算机对像元数据进行统计、运算、对比和归纳,以实现对地物的识别和分类。多光谱分类就是这样一种信息提取程序,它能分析各种类型的光谱特征,并根据其类似特征对像元进行分类。

图像的分类,在数学上可归结为选择适当的判别函数或建立物体的数学模式。其途径有二,一是从已知类别中找出分类参数和条件,从而确定判别函数,称之为监督分类法;另一种,是在缺乏已知条件情况下,根据数据的自身规律总结出分类参数和条件以确定判别函数,即非监督分类。

(1)监督分类法　监督分类法又叫训练场地法,是一种先学习后分类的方法。它是先选择具有代表性的典型试验区,用已知地而各种地物的光谱特性来训练计算机,使其求出每种类型对像在各波段中的统计特性参数(如均值、标准偏差、离散度等),从而取得识别分类的判别规则(或模式),并以此为根据,再对未知地区的遥感数据进行自动分类识别。

监督分类法是一种简单实用、运算量较少的方法,但其分类识别成败的关键,是事先必须建立各种已知地物(或标志)的参数或特征函数。因此,对样本参数或特征函数的确立,不仅必须建立在有足够样本的统计数据基础上,面且,还应考虑到由于环境的复杂性以及干扰因素的多样性和随机性,由训练场地所取得的光谱特征,只能代表一定时间和一定地区的情况。所以,必须选择和使用多个训练场地,才能取得具有代表性的各种地物的特征参数,进行有效的识别。

(2)非监督分类法　非监督分类法,又称边学习边分类或自适应法。这是一种仅利用图像数据的统计性质为分类基础,用计算机来规定分类范畴的方法。操作时,计算机对直接输入的各个像元点的数据进行运算处理,并分别将其归纳到与波段数相等的多维空间的若干积群中(图 6－15),再经野外实地调查确定每个积群的含义,达到分类的目的。

例如,对陆地卫星图像的每个像元来说,它们都有四(或五)个波段相对应的 4(或 5)个数据,相当于四(或五)维空间的一点。凡具有类似光谱特性地物的像元点,会积聚在同

一空间区域内形成积群，而不同类型地物的像元点，它们将散布在不同位置空间中，形成另外的各自积群。图 6—15 是陆地卫星图像的三维空间(4、5、7 波段)像元点积群示意图，图中 A、B、C 为 3 类地物散布于不同空间位置。而同一类型者，却集聚于同一空间范围内。因此，可以用数理统计或其他数学方法，把积群的分布状态、界限等计算出来，归纳出一定的数学模式，以用来进行自动分类和识别。

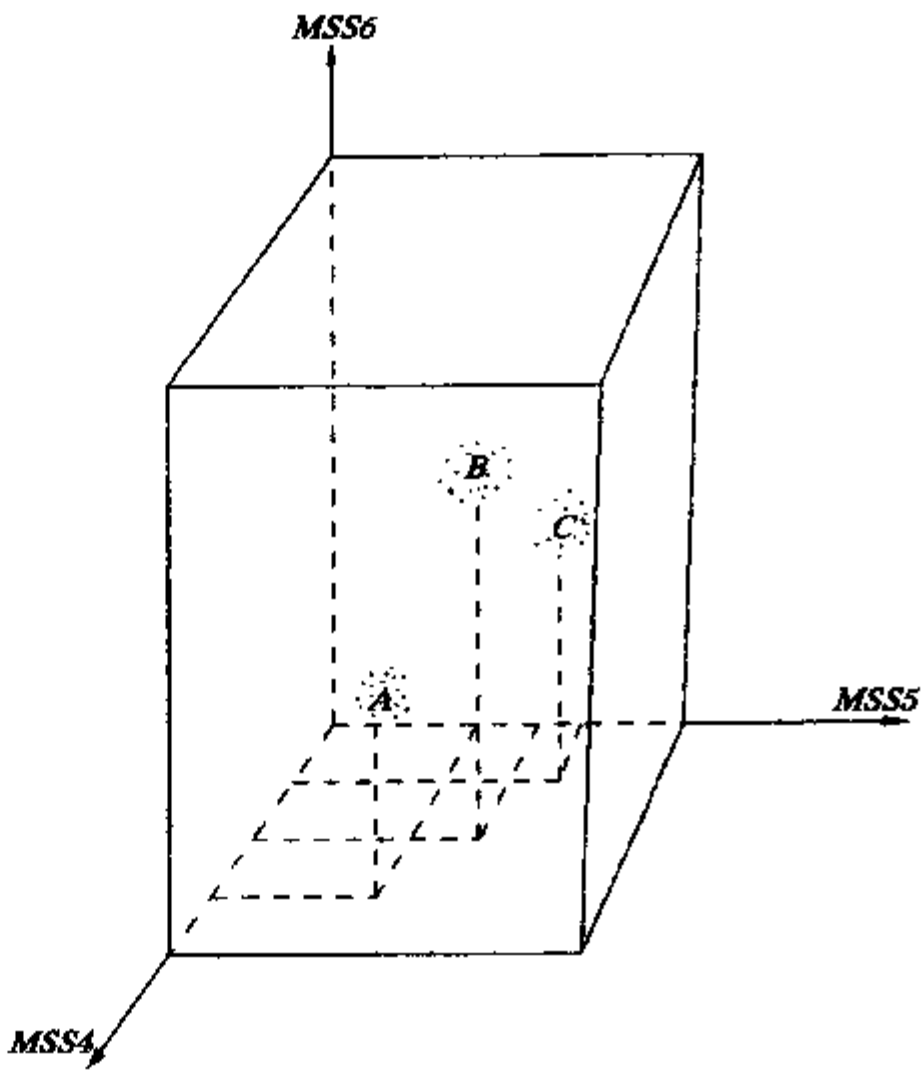


图 6—15　三维空间积群示意图

非监督分类不需要对解译地区作事先了解，可减少人为的干扰，并节省时间，成本亦较低廉。

4. 变换检测图像

用变换检测处理的方法，可以把一地区与时间因素有关的暂存信息(如作物生长收割、洪水泛滥等)，通过该地区不同时期成像的两张或多张图像对比提取出来。其方法，是先将不同时期图像上同名地面控制点进行地理对准。当两张图像套准后，求出两张图像像元数码之差，再以此值标绘出一幅新图像，就是变换检测图像。

把变换检测图像与原图像对比，可清楚地看出被摄地物的动态变化。因此，变换检测已在火山活动、洪水泛滥、地震灾害等方面的动态监视中得到应用，并取得了较好效果。

变换检测处理，也可应用到陆地卫星以外的图像中去。

第七章

陆地卫星图像的目视解译

目视解译是对陆地卫星图像最基本的应用方法，也是运用计算机进行图像处理的基础。例如，前面所讲的诸如确定训练场地、选择样本以及计算机自动分类决策的预估等，都应建立在目视解译的基础上才能取得事半功倍的效果。

和航空像片的目视解译相类似，对陆地卫星图像的目视解译，也是根据影像的色调、形态、图案组合等解译标志来识别地理事物和地理现象的。但由于陆地卫星图像和航空像片的成像系统和成像方式不尽相同，所以，对陆地卫星图像的目视解译又有其自身的特点。

本章将介绍对陆地卫星图像目视解译的方法步骤及各地理要素的解译实例，以帮助读者系统掌握有关卫星图像目视解译的方法和技巧。

第一节　陆地卫星图像目视解译的方法和步骤

目视解译是对卫星图像最简单、最“原始”也是最基本的解译方法。为了能正确地解译卫星图像，有必要从方法学上对卫星图像的目视解译作扼要介绍。

一、卫星图像的目视解译原则

1. 从知到疑

这是解译人员在建立解译标志，识别、判定各种地理事物或地理现象时应当遵循的基本原则。其含义有二：

(1)用“知”直接判定“疑”　这里所提的“知”，是指解译人员熟悉的有关地理科学理论知识和解译区域地理环境的具体情况；所谓“疑”，就是卫星图像上所显示的地物影像。

操作时，可将解译者已知的地理事物或现象，和卫星图像上所反映的遥感影像进行对比、分析，以判定该影像所反映的地理事物。在此基础上，再进一步找出图像上由色调、色彩、结构、图形等反映特定地理事物的影像特征。这些影像特征，可以作为其他地区相关地理事物的解译标志。

(2)从“知”推断“疑”　就是以从卫星图像上所建立的目视解译标志为依据，来判断、解译其他地区的类似影像。

总之，从知到疑，是所有卫星图像目视解译都必须遵循的原则，不容忽视。否则，就会

造成解译缪误的后果。

2. 先易后难

先对影像清晰、色调鲜明、图形完整、易于辨认、出露于地表的地物加以确认，再对模糊、含蓄、深处、隐伏和近似难辨的目标分级逐次判定，以达解译之目的。先易后难，表现有几种不同情况：

(1)先清晰，后模糊　一般来说，对影像清晰的地物先作判定，而对地物与环境背景的发射光谱基本相近、难以分辨的目标放至次后甚至最后再作解译。

(2)先山区后平原，先陆地后海边　实践证明，山区和陆地由于基岩裸露，影像清晰，不但易于解译，而且也易于判定其解译成果的可靠性；但平原和海边却多受地面覆盖或人类经济活动所造成的干扰，增加了解译难度，甚至有些解译对象需经反复推断、验证、核查后，方能判定。

(3)先整体，后局部　在单幅卫星图像上，有时只能包括某些地物的局部，但在遥感镶嵌资料上，却能一目了然地反映出地物的整体。所以，仅凭单幅照片进行解译，往往容易造成解译者的判断错误。故而，应充分利用遥感镶嵌资料先对其整体特征作出判定，再进而对局部细节进行解译。这样既易于判断，又能防止解译成果的缪误。

(4)先宏观，后微观，再超宏观　对在单幅或几幅遥感图像上有全貌表现的地理事物或地理现象，易于辨认；但对那些在单幅或几幅图像上只能显示其局部的超宏观对象，却因看不到它的全貌或大部影像，而无法辨认，难以解译。然而若用遥感镶嵌资料就能看到它的大部或整体，使解译变得又容易多了。对许多被干扰因素模糊了的影像，反而远看比近读更能发现问题。因为远看能看出更多的宏观信息，而近读则被许多细节混淆了视线。

3. 逐步近似

对卫星图像的目视地理解译，是一项较为复杂、细致的工作，不可能“一步到位”地把影像所含信息全部解译出来。尤其是对那些影像模糊、分辨率低、干扰严重、难以判定的部位，更应以“边解译、边验证、边校准、边修订”的方法，逐步使解译成果趋于完善，达到解译目的。

实际上，对卫星图像的解译过程，就是逐步积累解译标志、不断完善解译成果的循序渐进、趋近目的、完成任务的过程，若急于求成，只会导致欲速则不达的严重后果。

4. 边解边绘

根据解译任务要求所完成的各种解译图，是卫星图像目视地理解译的最终成果。边解边绘，就是获取这一成果既简捷又准确的方法途径。当然，在边解边绘过程中，应当把主要精力放在解译上，待对解译内容有了概略认识之后，再将其画在聚脂薄膜上成其草图，以备清绘之用。

二、卫星图像的目视解译方法

1. 直接判定法

是利用直接解译标志，验证被摄物体的影像特征，从而直接识别解译目标物的方法。然而，由于卫星图像是在宇宙空间的轨道上成像的，故其成像高度大、比例尺小，使图像上所反映的地物细部特征不如航空像片清楚。除较大地物个体(如大的水体、岩体、海岸线

等)能在图像上反映出形状外,多数影像所反映的是群体中占优势地物的综合光谱特征。也就是说,除较大地物外,卫星图像的影像大部分是地物群体的综合反映。所以,根据直接解译标志对卫星图像进行直接目视解译时,只能判定出地物群体的综合轮廓,而很难辨认其个体要素。例如,在岩溶地貌十分发育的高温多雨石灰岩地区,峰丛、溶丘、干谷、洼地等正负岩溶地形纵横交错,构成了卫星图像上深灰色麻点或菱形网格状图案。据此,可直接判定出岩溶地貌的分布范围,但对其中的孤峰、溶丘、干谷、洼地等细部形态,就很难辨认出来了。再如,我国黄土高原,因水土流失严重,沟谷纵横,地表被切割得支离破碎,造成卫星图像上大面积浅灰色调的细密树枝状图案,根据这一突出特征,可直接判定出黄土地貌的分布区域,但一些较小的沟谷等地貌单元,却融合于综合图案之中而显现不出来,自然也就无法加以区分了。

应当指出的是,直接目视解译决不能只根据孤立的一二个影像特征去识别某种地物或现象,而应当根据区域地理特征把各种地理要素(地质、地貌、水文、土壤、植被等),作为一个统一的整体在卫星图像上所反映出的色调、形状、阴影、纹形结构等标志进行综合分析,从中概括出比较典型的影像模式作为目视解译的依据。

2. 对比分析法

对卫星图像的目视解译,应尽量"弃其之短,纳其所长",采用多方法、多方向、多类别、多手段的观察对比(如不同波段、不同时相、不同比例尺、不同组合方案以及图像与已知实测资料或仪器分析成果等的对比分析),以互验互补,找出影像间的差异,从图像上提取更多的有用信息,使解译成果更加准确可靠。

目前所使用的陆地卫星图像,是由多波段成像的。而不同的地物和现象在不同波段又具有不同特征。所以,利用不同波段的图像进行对比分析,就有可能把不同地物和现象从影像中分离出来,达到判明被摄地物之目的。例如,单从影像上是很难直接区分大豆和玉米这两种作物的,但若用不同时相的图像作对比分析,可能就会将其区分开来。图 7—1 是大豆和玉米两种作物的反射光谱曲线随时间变化情况。由图可知,在播种 30 天前后,这两种作物光谱曲线的差异最为明显。因此,如选用该时间的图像资料,则能把种植大豆和玉米的土地区分开来。无疑,这对提高目视解译质量是有所助益的。

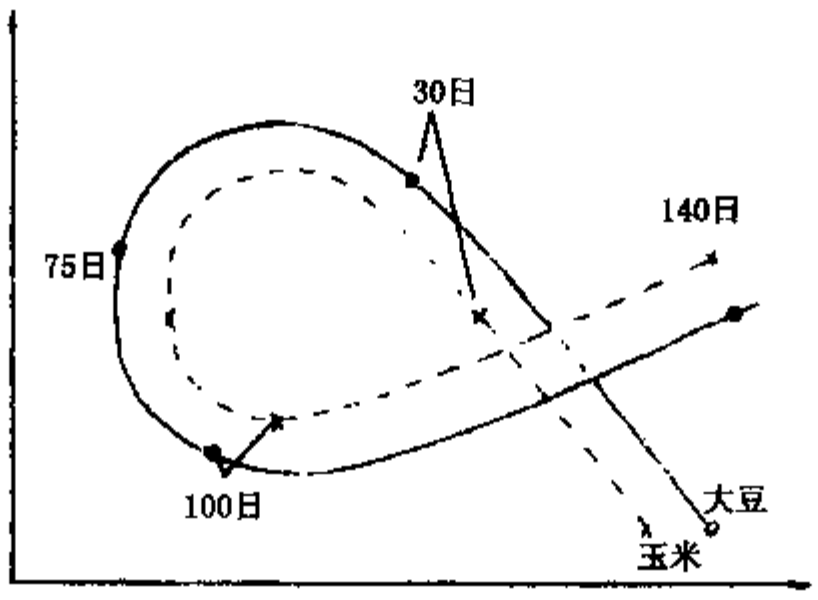


图 7—1　大豆、玉米反射光谱曲线随时间变化情况

若用不同期次、不同时间重复拍摄的遥感资料作对比分析,则可了解事物的发展变化

情况及其变化速度。这对地理事物动态变化的研究是十分有效的。目前，在沙丘或冰川的移动，雪冰覆盖与地下水、地表水的补给关系，洪水蔓延，污染源分析，泥石流活动以及石冰川的蠕动等灾害研究中，都取得了比较理想的效果。

3. 逻辑推理法

卫星图像受比例尺小、地面分辨率低所限，对许多地物和现象的反映较为模糊，难以辨认。所以，就要依靠地学规律对各地理要素进行综合分析，藉其相互依存、相互制约关系，经演绎推理后，才能揭示出更多或具重大潜在意义的有用信息来。例如，从水系的分布格局，可推断出基岩岩性和地貌类型的有关信息；从植被类型，可推断出土壤类别的有关信息；从基岩岩性对土壤和植被的制约，又可推断出土地利用特点的信息等。

显而易见，运用逻辑推理的方法辨别地理事物，要靠解译人员渊博的专业知识和丰富的解译经验。否则，是很难从易于被人们忽视和潜在或微小的图像差异中发现识别地物依据，建立解译标志，进而提取重要有用信息的。

当然，在对影像特征进行演绎推理时，必须把各种地理要素作为一个统一整体，运用色调、色彩、图形等各种信息及其解译标志综合分析，据其内在的逻辑关系作推理判断，才能作出正确解译。不然，过分依赖任何单项标志的做法，都可能导致判断失误，造成错误的解译后果。另外，在进行逻辑推理时，还需尊重图像的客观现实，对图像上所反映出的每个微小差别和具有潜在意义的信息，都应查明原因，作出合理交代。对一些疑难问题，要结合野外实地观察验证解决，防止主观无据的推测。只有这样，才能不断提高解译质量，得到较为完善的解译效果。

4. 逐步近似法

对一些分辨力低、影像模糊、难以判定的部位，可采用逐步近似的方法进行解译。逐步近似法又分为比例近似法和判定近似法两种。

(1)比例近似法　是按遥感图像比例尺大小的不同进行观察分析，找出影像相互近似的标志，对其细节作出判定的方法。在具体操作时，最好是用不同比例尺的遥感图像相互配合、同时使用。这样既能同时观察到解译对象的影像轮廓特征，又能看到它的细小部位；既能远观，又可近看。根据“自然取舍”的原理，把图像中的有用信息提取出来，以增强解译效果。

(2)判定近似法　这是一种经多次反复解译、总结、修正、再解译，使之逐步完善的方法。操作时可从积累解译标志开始，逐步增加解译信息，待取得全区初步解译成果后，进行野外实地验证、修改与补充解译标志；然后，再重新解译、验证、修订、补充。经这样反复解译、归纳、总结、修改后，使所建解译标志更加完善可靠。据此，可提高解译成果的可信度，完成解译任务。

三、卫星图像的目视解译步骤

对卫星图像的目视解译，大体可按事前准备、图像解译、校核验证、成图总结等 4 个步骤进行。

1. 事前准备

在对卫星图像进行目视解译之前，尚有大量的准备工作要做。只有在有了充分准备的

基础上，才能顺利地进行图像解译。

(1)制订工作计划　工作计划既是图像解译的依据，又是对解译成果鉴定、验收的标准，因而，制订工作计划就成为解译工作中不可忽视的重要环节。解译人员应根据所接受的具体任务，进行慎重、严密、具体、详尽的拟定。一般来说，解译工作计划应包括目的任务、技术手段、人员配备、工作进程、经费预算、提交成果等项内容，其详略情况，可视所受任务要求而定。

(2)收集相关资料　收集、熟悉与掌握工作地区的相关资料，是卫星图像目视解译的基础。在进行图像解译之前，应尽力把有关资料收集齐全并加以整理、分类列出索引以备使用。应当收集的相关资料包括：

①不同时期、不同波段、不同类型的卫星图像和航空像片；

②工作地区的各种地图，包括各种专业地图和图件；

③有关解译地区的文献和其他文字资料；

④典型地物的光谱曲线；

⑤根据解译区域范围拼接、镶辑的卫星图像略图；

⑥按最后成图需要，在透明聚酯薄膜上印制好相应比例尺的线划底图，以备解译时套合使用。

(3)熟悉相关资料，掌握区域特征，明确重点解释内容　为了顺利完成解译任务，在进行卫星图像的目视解译前，必须对已收集到的工作地区所有资料作认真阅读分析，熟悉该地区的地理环境，掌握被解译事物的性质、特征、分布及其变化规律，了解解译地区地理概貌，明确重点解译内容，对其区域分布特征要胸有成竹。

(4)辨检光谱数据　卫星图像的影像，是地物电磁波谱的客观反映。所以，在作目视解译前，应当对遥感资料上有关地物影像色调和色彩的亮度与光谱数据，进行分辨、检测，并对黑白和彩色图像上各种地物影像色调、色彩组合的辐射测量资料，进行分类、描述。因为，这些反映地物电磁波谱特性的数据，是进行目视解译和使用光学处理或计算机图像识别的基础。另外，还需辨别各种类型地物波谱曲线在空间分布上的对应关系，鉴定地形、水系和地表覆盖的型式，为分析、判定与建立解译标志做好准备。

(5)建立解译标志　解译标志是判定解译目标的依据、完成解译任务的基础。可以说，它是关乎卫星图像目视解译成败的关键。

在做这项工作时，首先应遵循从易到难的原则逐步进行。开始时，可选择影像较为清晰、突出的典型地区，根据解译内容和区域地理特点，确定影像与地物之间的对应关系。当遇有影像特征不明显或难点较多的地区，应参照航空像片或到野外作实地验证，经对比、核实后再进而确立解译标志。

其次，可根据专业解译要求的差别，采用不同合成方案作出假彩色合成图像，分别突出不同地物，这对建立解译标志是很有帮助的。

另外，在建立解译标志时，还应充分考虑区域地理特征，进行典型地物光谱特征的分析，使解译标志建立在具有充分科学依据的基础上，以提高解译标志的可信度，确保目视解译质量。

2. 影像解译

影像解译是地理遥感方法的基础，也是整个地理遥感解译的中心工作，只有反复进行和利用综合性解译标志，才能取得良好的解译效果。室内初步目视解译，要依据遥感图像的解译标志，结合航空像片和已有地面资料、图件逐项进行。工作中应当注意：

(1)从影像最清晰、图像最明显的地段入手　对遥感图像的初步解译，应以已建立的解译标志为基础，根据解译任务和内容，遵循从“知”到“疑”、先易后难、由大到小的原则，先选择影像最清晰、图像最明显的地段开始工作。如果发现相同地物有不同影像特征或不同物体具有相似色调与形态特征时，再进一步利用其他要素作对比分析，以排除其他因素的干扰，建立间接解译标志。对重点部位或难以判定的地方，可参考航空像片或已知地面资料进行解译。

(2)要合理利用原有地面资料　原有地面资料，是前人辛勤劳动的成果，解译时既要与之对比酌情采用，又应避免受其所限。要客观地进行分析对比，弃伪存真。尤其要注意那些在原有资料和图件中没有反映，而在卫星图像上却已显示出来的特有信息，更应慎重地作出科学的判定。

(3)注意分析地物的光谱特性及其环境因素的干扰　在初步解译时，应当注意对不同地物光谱特征及其在不同环境条件下的变化作充分分析，尤其要注意在红外波段的分析，因为这是识别不同地物的可靠科学依据。

环境因素能直接影响地物影像的光谱特征，所以在作地物光谱特征分析时，要考虑到地物的发生发展规律与地理环境间的关系。这样能从中总结出典型的影像模式来，它将会有助于提高解译效果及其质量分析水平。

(4)争取利用各种光学增强技术　在条件许可时，应尽量应用光学增强技术来处理遥感图像，借助彩色合成、假彩色等密度分割、边缘增强等技术，使影像更加清晰，解译标志更为突出便于识别，以提取更多有用信息，提高解译效果。

(5)对典型地物的解译标志最好能在野外进行现场建立　建立解译标志，是利用遥感图像识别地理要素、进行编图的工作基础。解译标志的可靠性直接影响解译成果，影响成图的质量和效率。因此，最好携带卫星图像到野外进行现场建立解译标志，以提高所建解译标志的可靠性。

(6)填绘解译专题地图　目视解译专题地图是室内目视解译的初步或果，也是下一步工作的参考资料。填绘时，可将解译出的内容，依次标记在透明聚酯薄膜或转绘到统一印制的线划底图上。凡能确定的地理事物及其界限，应尽可能详尽、精确地绘出，以减少重复工作。对解译时所遇到的问题，要列表归档，以便总结经验，编写报告。

3. 校核验证

尽管遥感图像的解译有其优越之处，但仍需配合其他方法作校核验证，只有经过校核验证的解译成果，才是确切可靠的。校核验证阶段的工作内容包括：

(1)校核验证解译成果　首先应利用航空像片和已知地面资料进行校核，作初步订正。在此基础上，进一步确定验证重点和疑虑难解的地区，进行野外实地验证。

野外实地验证是在室内工作的基础上，抽样验证和解决解译中的疑难问题。实施中，应先制定抽样验证地区的野外工作路线，再根据验证要求，在各抽样地点实地校核解译成果，尤其是对那些疑虑较多、解译困难的地区，要重点观察地面结构、对比影像特征，以解

决室内解译存在的问题。

(2)增订目视解译标志　解译标志是目视解译的主要依据,其正误关系到对卫星图像解译的成败。因此,应反复校核验证、修改补充,不断建立新的解译标志,这是野外实地抽样验证的重要内容。通过它可确保所建解译标志的客观性、科学性、准确性、真实性,为订补解译成果、判明地区图像提供依据,奠定基础。

(3)采集必要实物标本　采集一些必要的实物标本以备化验分析,既是野外实地验证所需,也是为教学、科研和生产服务的要求。所以,要根据解译与教学、科研和生产任务的要求,尽量收集所需实物标本,以供化验分析之用。

(4)订补初步解译成果　在野外验证工作结束前,要对遥感图像及其初步解译成果作一次全面复查、修改,并对野外验证所取得的各种资料,经室内整理后,将其补充到解译图中去,使其解译成果更加充实可靠,解译图面更为合理,尽量减少野外验证后仍然存留的缺点,为最终编绘解译图件提供可靠资料。

当然,由于目前验证技术手段所限,对有些解译成果尚难验证,仍会留下一些尚待证实的认识,这也只好"存疑待解"了。

4. 成图总结

成图总结工作,是总结解译区域各地理要素解译标志及其分布规律,绘制各种专题解译图件,编写总结报告和评审验收。这一阶段的主要工作有:

(1)编绘专题解译地图　遥感图像具有要素齐备、客观精细、形象逼真、连续性强、逻辑结构自然合理并有某些深部的透视信息等特点,故利用遥感图像所编绘的各种专题解译地图也应具有客观、详尽、准确、真实、可信的优点,能满足各个部门不同专业的要求。

卫星图像的信息量是相当丰富的,不可能把所有信息绘制于一幅图件上。这就要在编制专题解译地图时,本着去粗取精、弃繁从简、保留细节、突出重点、避免图面负担过重的原则,根据解译任务选取所需内容,将其填绘到透明聚酯薄膜上。

经验证明,在从图像上提取信息填绘成图时,最好用"单项提取、系列成图、择需套合、综合分析"的方法,逐次作出单项要素解译成果图,然后再根据专业需要,将其套合在一起作进一步综合分析解译。这样既有利于从图像中提取更多的有用信息,又能使解译工作从易到难、由浅入深地按序进行。待将所绘图件全面核查复验无误后,按成图要求绘制成所需正式图件,附以文字说明,以备评审验收。

(2)编写总结报告　在编绘完所有解译图件并按制图要求绘成正式专题解译地图后,还需根据解译任务对本地区解译特点、经验和存在问题等进行全面总结,写出书面报告。对所解译的图件,也要附以有关区域概貌、解译项目分类标准以及解译标志等文字说明,准备审查验收。

(3)评审验收　待解译任务全面完成后,要广泛征求各方面的意见,重点审查解译标志、各地理要素界限和解译精度。验收后,根据所提意见再作逐条研究,修改补充。最后,将解译成果提交给有关部门,印刷出版。

四、卫星图像解译工作的操作要领

(1)了解卫星图像的成像技术参数　解译时,必须阅读卫星图像边框上的注记。从中

了解图像成像时所使用的仪器、波段、太阳高度角、成像季节、投影方法、成像时间等技术参数。因为这些参数会影响对卫星图像的正确解译。

(2)进行正立体观察解译　使图像阴影朝向自己的观察，谓之正立体观察。只有正立体观察，才能获得与真实地物影像一致的正立体像。否则，所显示的则是一幅与真实地物影像相反的"反立体像"，如若这样，很容易形成对某些地理事物或地理现象的解译作出错误判断。

(3)采用多种图像作影像对比　如果有条件，应采用不同比例尺、不同季节、不同颜色、不同太阳高度角、不同曝光强度成像的图像进行对比。对多光谱图像，要将不同波段的像片进行分析对比。一般卫星图像多以 5 波段和 7 波段为主，其他波段则作为参考。对成像时间、成像波段和波段组合的选择，应视解译任务而定。这样才能取得较好的解译效果。

(4)要作逐步近似解译　对影像模糊、分辨率低、难以解译的部位，应采用逐步近似法进行解译，切忌心情烦躁，急于求成。要专心致志，精力集中，循序渐进，步步深入地从图像中抽取有用信息，增强解译效果的可信度。

(5)从不同方向不同角度进行观察　对一些模糊不清不易看出的现象，可从不同方向不同角度，对同一地段或同一影像特征作反复观察。特别对小比例尺、大区域、地物现象密集地带的图像，用这种方法最为有效。

第二节　水体解译

在陆地卫星图像上，水体较其他地物影像的色调、色彩和形态都较为直观且易于解译。而且，水体与其他地理事物、地理现象也有密切关系，并对其能起到定点、定位作用，可作为目视解译的基础。

由于水体有吸收、反射和透射太阳光的能力，故其影像色调、色彩随着水的深度、浑浊度及其水底情况的不同有很大差异。在标准假彩色图像上，深而清澈的水体多呈黑或蓝黑色；水浅者多为浅蓝色；含泥沙浑浊者颜色更浅，若含沙量过高则呈乳白色；有水生植物者却呈红色或红色斑点。一般宽度大于 15m 的江河，才能在卫星图像上解译出来，但若在背景反差大的地方，虽小于 15m 的宽度，也能解译出来。

一、水系解译

水系是由地面上大小互有联系的河流构成的。从卫星图像上不仅可解译出水系的形态特征及其密度，而且，由于水系的形态与地质构造、岩性以及地貌特征密切相关，所以，借助于对水系的解译，尚可得到其他十分丰富的地理信息。

例如，树枝状水系，多发育在岩性均一、基岩软弱地区；放射状水系，多分布在火山、孤山或穹形隆起地区。这种规律，我们在对青岛遥感图像的目视解译中得到证实。附图 4 是蓬莱、青岛幅的镶嵌图，从图中很容易地可以看出，树枝状和放射状水系是青岛水系形态的主要特征。其中，树枝状水系主要分布在冲洪积平原、剥蚀平原、剥蚀丘陵地区，大沽河水系尤为典型。而放射状水系，则分布在平度、即墨、崂山和胶南具有穹状隆起的侵蚀、剥蚀中、低山地区。

在有些卫星图像上，还可解译出有关河流变化后的遗迹。如湖北沙市幅荆江段的长江河道，是江河自由曲流表现的最为典型的地段。从图像上可以看到，沿长江两岸都有牛轭湖存在(图 7—2)。与牛轭湖相联系的古河道，虽然没有流水，但其色调比周围要深，也能很容易地将其解译出来。通过古河道与牛轭湖的分布情况，可了解到有关河道的演变过程。

图 7—2　长江下游荆江段曲流解译图

二、近海水体解译

由于水和陆地的光谱特性有明显差异，所以，近海水体在各个波段的卫星图像上表现得都十分清楚，解译效果也较好。例如，利用四波段图像，可根据其水体色调的深浅分析出近岸水体的深度；依照五波段图像的水体色调变化，可看出泥沙流及其移动规律；在七波段图像上，对海陆边界和滩涂的分布情况表现得比较清楚。因此，针对解译目的对近海水体可作以下判别：

1. 海岸形态　海岸形态是海陆交互作用的结果，一般平原区海岸的影像色调是由岸边向外渐变的，其沙滩为浅色调，泥滩色调较深，向海中延伸的乳白色条带或舌状影像，多为砂咀；而山地海岸，在其海陆交界处的色调却有十分明显的差异，根易辨认。

2. 河口三角洲和岸边泥沙流　河口水体深浅的变化、泥沙含量的多少、水舌形态、沿岸泥沙流的扩展规律以及河口三角洲的发展特征等，在假彩色合成图像上都能比较清楚地反映出来。一般较深的水体多呈深蓝色，浅蓝色者表示水体较浅，如果河水呈现乳白色，说明含沙量很大，水舌的形态、色调多与水流强度和含沙量有关，而岸边的泥沙流则多为浅色烟雾状，其扩散方向与水流方向一致。

图 7—3B 是 1976 年 6 月 22 日黄河口幅 MSS4 正片/MSS7 负片叠加而成的比值影像(图 7—3A)的解译图。图中对海岸高低潮界线、潮间带地貌特点、海岸类型、泥沙流的形状、移动方向及其扩散范围、河口地段浑水舌向低潮线伸展的特点、沿岸河流流水之有无、砂咀砂坝及其发展趋势、乃至隐伏油田地表之“透视”信息等都显示得较为清楚。如果运用不同时相的卫星图像，还能判断出河口三角洲及其入海泥沙的扩散与发展速度。附图 1、2、3 分别是 1986 年 6 月 5 日、1991 年 5 月 28 日和 1995 年 5 月 29 日 3 幅黄河三角洲的 Landsat—5 假彩色卫星图像，它十分清晰地反映出黄河入海口的十年变迁情况，并据此得知由于泥沙的淤积使其每年向海中延伸约 3km。

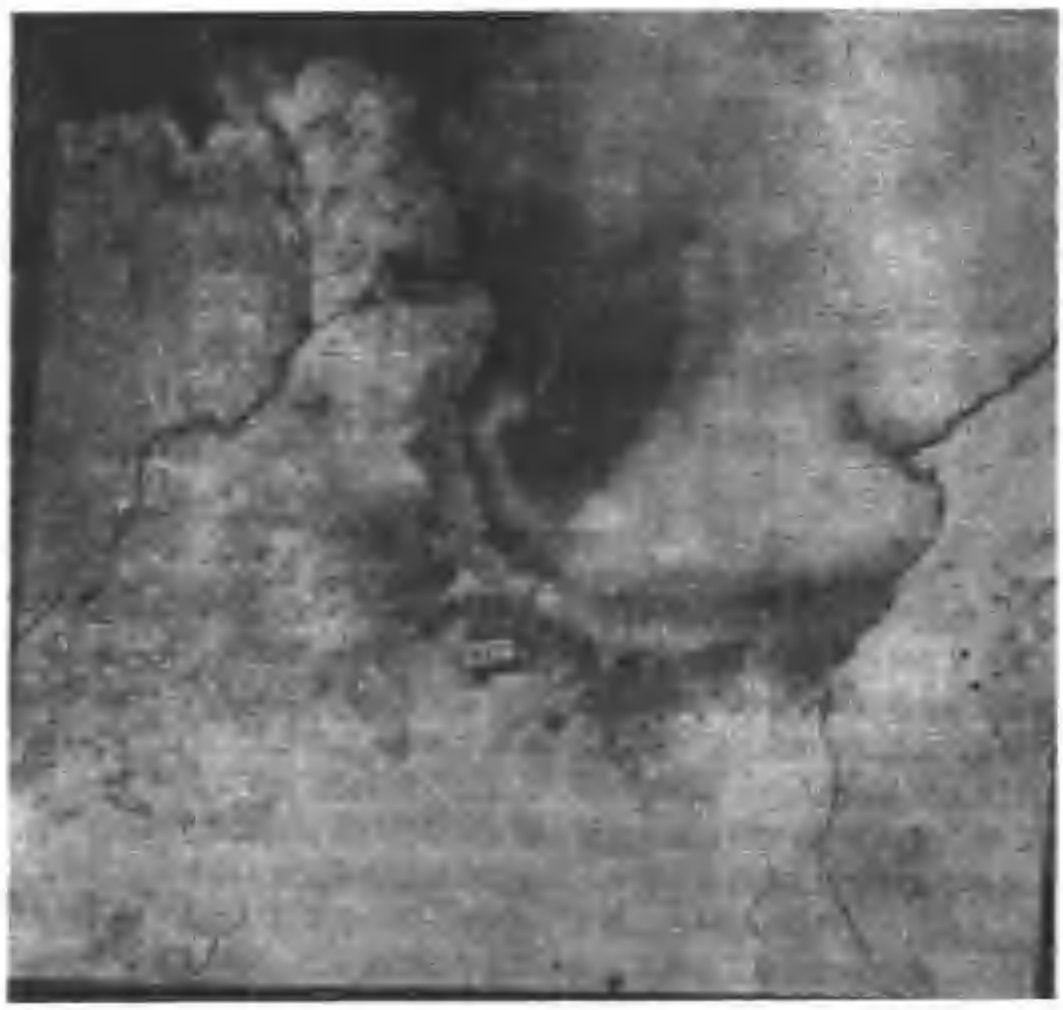


图 7—3A　黄河口幅陆地卫星(MSS4 正片/MSS7 负片)比值图像

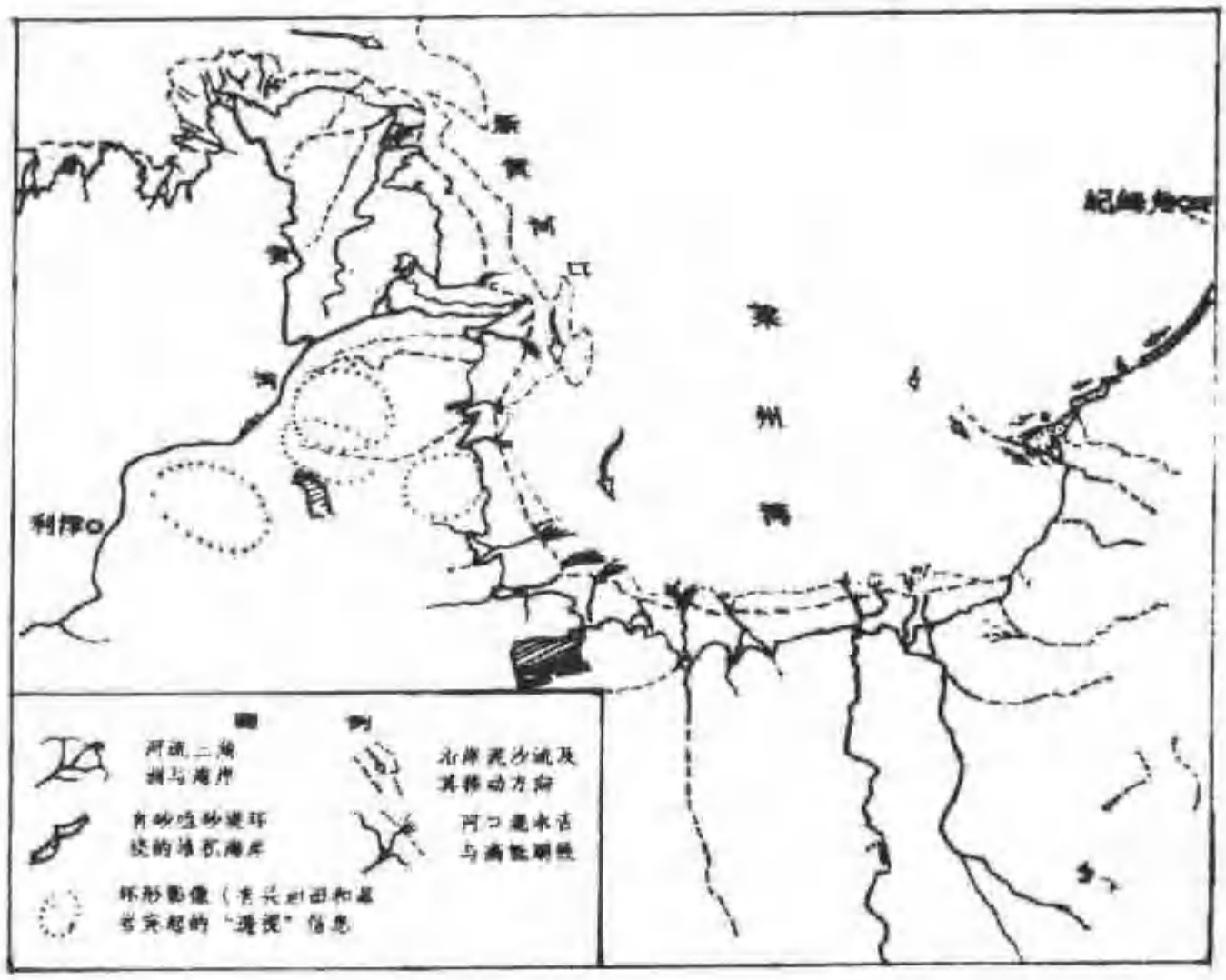


图 7—3B　黄河口幅陆地卫星(图 7—3A)的解译图

3. 滨海水体的动态变化　实践证明，卫星遥感数据及其图像对滨海水体动态环境的监测与研究具有明显的实用价值。

我们曾选用与胶州湾平均高潮位、平均潮位和平均最低潮位相应的 3 个时相、3 个波段的 TM 数据，遵循地图投影的数学法则，运用遥感计算机图像处理技术，把真实的电磁波数据转换成了信息丰富、现势性好、数据来源稳定、处理精度可靠，既能以深浅不同的蓝色色调清晰地反映出近岸水体不同深度的等深线，又能表现出水体动态变化特征的假彩色合成影像地图，并据此解译出胶州湾水域面积及其特征等深线的量测地图，量测出了胶州湾总体的水域面积、平均潮位水域面积、最低潮位水域面积、平均潮位线以上泥滩面积和胶州湾的岸线长度，其精度达到了制图要求。

三、地下水、局部富水地带和隐伏含水层的解译

与地表水体的解译不同，对地下水、局部富水地带及其隐伏含水层的解译，不但要注意分析对比卫星图像上所显示出的直接解译标志，面且，还应对那些区域构造、岩性和地貌特征等，能形成地下水地质空间环境的间接解译标志给以充分的注意。然后，通过对卫星遥感图像的分析，用逻辑推理的方法将其解译出来。现仅以青岛市为例说明如下：

1. 解译依据

为了利用卫星遥感图像，分析解译青岛市地下水体和隐伏含水层与局部富水地带，以供合理开发利用地下水资源之需，我们收集到了以下资料作为对卫星遥感图像的解译依据：

(1)陆地卫星 MSS 和 TM 图像

①1976 年 11 月 28 日和 1978 年 10 月 4 日成像，1∶10万青岛幅 MSS 假彩色图像；

②1985 年 4 月 24 日成像，1∶20 万青岛和蓬莱幅 MSS 假彩色图像；

③1985 年 4 月 24 日成像，1∶20 万青岛幅和蓬莱幅 MSS4、5、6、7 的黑白图像；

④1986 年 11 月成像，1∶20 万青岛、蓬莱幅 TM 假彩色镶嵌图和部分子区假彩色图像。

(2)文献资料

①平度、莱西、即墨、胶州 4 市的水资源调查评价与水利区划报告；

②1∶50万山东省地质构造图及其说明；

③1∶20 万山东省沿海地貌图；

④1∶20 万山东省沿海地带水文地质图及其调查报告；

⑤1∶20 万青岛、莱阳、高密、潍坊、日照等地市地质图；

⑥青岛市基岩裂隙水 24 口深井的出水量。

(3)有关构造、岩性及其节理裂隙等野外踏勘资料。

2. 构造及其力学性质与地貌特征

在 MSS 和 TM 图像上，都十分清晰面直观逼真地从宏观上显示出，由一系列北东、北北东、南北、北西和东西向并分别具有压扭性、压性、扭张性与张性力学性质的断裂所构成的多字型与棋盘格式的经向构造骨架，和南北是山区中为平原景观的地貌特征。

利用不同时相不同波段影像的分析比较，很容易解译出 179 条主要断裂(表 7—1)。从表所列频数可知，其中以 31～45°和 316～330°两组断裂最为发育，331～345°次之。以规模而论，31～45°断裂一般可长达 10 多 km，最长者竟达 50km。另外，从影像上还可以看到

在本组断裂带内发育着大小不一的圆形、椭圆形或半圆形的环形构造，反映了深部隐伏岩体或封闭断裂(图 7—4)，从崂山水库至东温泉一线就发育着规模较大的 6 个环形构造，其中有两个被北东向断裂切穿，形成“Φ”字型的经向断裂，这是深部热水传导至浅层的必要条件，是形成热泉地质构造的空间环境，东温泉和西温泉的溢出就是受其控制的。

表 7—1　青岛市构造解译统计表　　(据冯文珍)

走　　向	条　　数	占总条数的百分比(%)
0°～15°	11	6.1
16°～30°	6	3.4
31°～45°	26	14.5
46°～60°	15	8.4
61°～75°	14	7.8
76°～90°	5	2.8
270°～285°	11	6.1
286°～300°	14	7.8
301°～315°	12	6.7
316°～330°	23	12.9
331°～345°	19	10.6
346°～360°	13	7.3
EW	4	2.2
SN	6	3.4
合　　计	179	100

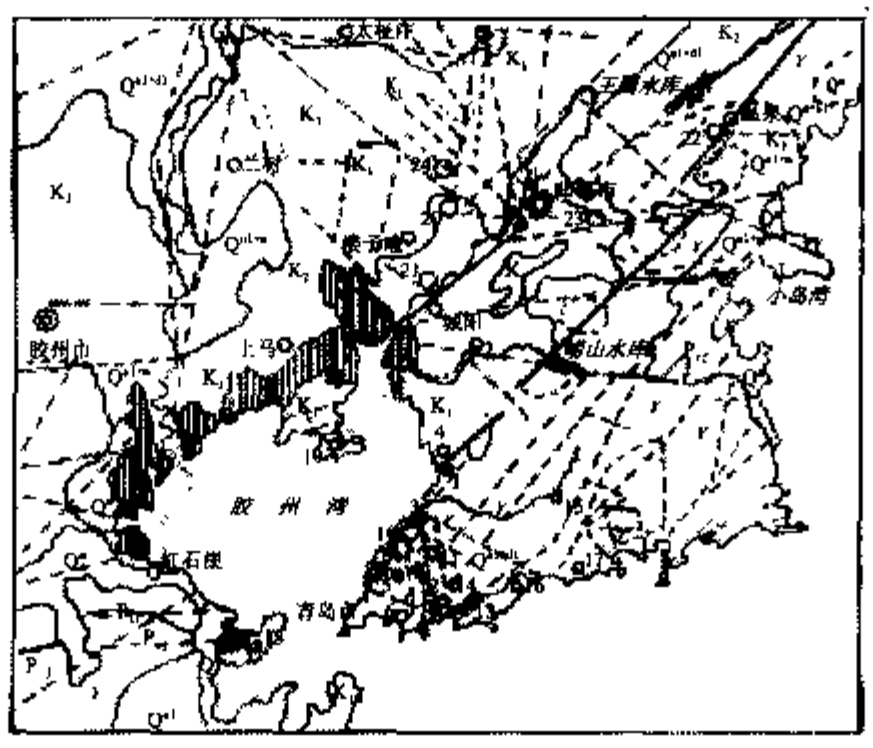


图 7—4　青岛市局部富水带与 NW—NWW、EW 向断裂构造关系解译图　(据冯文珍)

3. 地下水类型

根据卫星图像分辨率和含水层的含水性与富水性，可将本区地下水划分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙-裂隙水、侵入岩类裂隙水、变质岩类裂隙-岩溶水和喷出岩类孔洞裂隙水等几种类型，并将其影像形态、色调、水系、地貌特征及其分布范围列于表 7—2。

表 7—2　MSS5 波段青岛市主要含水层的影像特征　（据冯文珍）

含水层类型		时代及其成因		分布范围	色调	图案形态	水系	地貌特征
松散岩类孔隙含水层	山间河谷冲积孔隙含水层		Q_4^{al}	大沽河、小沽河、胶莱河等大小河流两侧。	灰白	带状分布		山间河谷
			Q_{3+4}^{al}	落药河至白沙河东侧、昌里～门封一带	深灰	深灰色背景上散布着白色斑点		平坦
	山前洪冲积孔隙含水层	第四系	Q^{al+pl}	平度以南、胶莱河以北、白沙河以西，灰埠～三堤一带。	灰-灰黑	片状分布	水系发育，密集斑点状及白色条带	洪积平原、山间谷地、地形平坦
	冲坡积孔隙含水层		Q^{al+dl}	即墨三里庄、崂山惜福镇、莱西周格庄、夏格庄以南。	灰白、灰黑	片状分布	水系不发育	低山丘陵、山麓地区及低洼处
	海积平原孔隙含水层		Q^{m}、Q^{al+m} 或 Q^{m+al}	沿海一带、胶州湾、崂山湾、丁字湾及胶州一带	灰黑-黑	扇形、新月形	水系不发育	滨海海积平原、地势平坦
碎屑岩类孔隙－裂隙含水层		白垩系上统	K_2	胶莱盆地	浅黑背景上分布灰色斑点	面状分布	不发育	侵蚀剥蚀平原、波状起伏残丘、垅岗
		侏罗系	J	胶州以南、鳌山卫、洼里、店集以南	灰白	长条状或具几何形状	水系发育、稀疏树枝状	剥蚀丘陵
喷出岩类孔洞裂隙水		白垩系下统	K_1	大沽河东侧、即墨西北、西、西南和丁字湾、北湾、薛家岛、胶州湾一带	灰色	具有一定方向性的带状分布	不发育	剥蚀平原、丘陵
变质岩类裂隙—岩溶水	碳酸盐类裂隙－岩溶水	元古界粉子山群	P_{tf}	平度明村、马戈庄一带、王哥庄西北、薛家庄、红石崖一带	灰白	块状分布	稀疏树枝状水系	丘陵
	非碳酸盐类裂隙水	元古界胶东群	P_{fj}	胶南、胶北隆起区	灰白	块状分布	密集树枝状水系，二级水系呈平行排列	丘陵、剥蚀平原
侵入岩类裂隙水		燕山期	γ	崂山、青岛、胶南、平度、莱西	黑色、灰黑	块状分布	水系密集，呈树枝状、环状、放射状分布	侵蚀、剥蚀中、低山

在上述几类地下水中，以山间河谷冲积孔隙水和山前洪积孔隙水最为丰富，且开采方便，是目前工农业供水的主要水源，其单井涌水量可达 1 000～3 000m^3/日。其次，水量丰富的就是碳酸盐类裂隙—岩溶水，单井涌水量大于 1 000m^3/日。而其他各含水层却水量贫乏，除坡冲积孔隙水的单井涌水量在 500～1 000m^3/日外，其他各含水层的单井涌水量一般都小于 100m^3/日。

4. 局部富水带和隐伏含水层

卫星遥感影像，提供了寻找局部富水带地质背景的大量宏观信息，那些断裂带的交汇处和断裂带与环形构造的复合部位，岩石破碎，构造裂隙发育，特别是第四系地层覆盖地

区的隐伏断裂带地段，可能就是局部富水地带。我们将青岛市基岩裂隙水 24 口深井位置圈点在卫星遥感水文地质图上，则发现那些出水量丰富的深井位置恰好位于两组或 3 组断裂交汇处（其中必有一条北西向张扭断裂），或北西向断裂带上（图 7—4）。

从卫星遥感影像图上分析，在明村—门村一带和昌里地区的第四系覆盖层下赋存着粉子山群的岩溶—裂隙水，这是本区唯一水量丰富的基岩含水层，在 MSS 假彩色合成图像上呈现浅蓝色。

第三节　地貌解译

地球表层的地貌形态，是地球内、外营力共同作用的结果。随着时间的推移，遵循一定的演变规律，形成不同结构的地貌类型、地貌组合及其空间分布规律。

呈然卫星图像的比例尺较小，很难直接反映出微地貌特征，然而，它却突出了大地貌形态及其界限，对从宏观上研究大地貌类型及其分布规律是非常有利的。一般说来，地貌在卫星图像上的反映比较清晰、直观，所以，对卫星图像的地貌解译，已成为研究地貌的一种先进手段和自然地理诸要素的解译基础，在作地质、土壤、植被和土地利用状况研究时，都需充分考虑地貌条件。

对卫星图像的地貌解译，主要根据其影像色调、形状、结构、图案花纹等进行。

一、地貌形态解译

卫星图像以深浅不同的色调和以不同色调构成的各种几何图形表现地貌特点。尤其是利用卫星图像镶嵌图，可从宏观上观察较大地区的全貌，有利于大地貌类型的划分。解译时，要从分析图形的点、线、面、体等特点开始，以宏观形态特征，结合其成因类型，分辨出制图规范所提出的第一、二级陆地地貌类型，即平原、高原、盆地、丘陵和山地，再依从宏观到微观、从整体到局部的法则，逐级分析其形态结构、组合，确定其空间分布范围和规律。

1. 平原和高原

由于平原和高原具有形态平整、受光均匀、地表多被第四系松散物质覆盖的特点，故图像上呈现出色调均一、常有水系发育形成的花纹、耕地形成的色斑和不同色调所表现出的城镇、居民点等特点。解译时，要从其宏观形态着手，既要注意其整体宏观轮廓，又要注意其表面起伏形态和图形细节，以揭示其组合结构的内在联系和空间展布规律。

2. 山地

地表起伏不平且形成以岭脊为界线的阴阳坡是山地的突出特点，故此对阳光的反射强度有明显差别，使图像上的色调有显著不同：阳坡色调浅亮，阴坡色调深暗。山势愈高，切割愈深，色调差异也就愈大。影像直观、醒目，极易辨认。解译时，要从山地宏观形态特征，特别是山地平面轮廓形态、表面起伏形态、高程和切割状况等综合图形特征入手，从图像中揭示出山地的整体轮廓和展布规律，再结合成因类型逐级缩小，依次划分。

3. 丘陵

丘陵是平原和山地的过渡地带，起伏变化较小，除高度接近低山时可显示出脊线和阴阳坡色调有别的影像外，低者则无明显脊线，只能从影像色调、图案花纹和位置特点等方

面与平原、山地区分开来。

4. 盆地

盆地的形态轮廓及其与周围环境色调的差异，在图像上是较为直观、清晰、明显的，但解译时除应注意其整体轮廓和展布特征外，还需注意其表面形态、盆底埋深、倾斜方向以及盆地边界与构造间的关系，最好能结合地质资料与构造解译同时进行，以确定其成因类型。

二、地貌类型解译

对自然界中千变万化地表形态所构成的地貌类型的分类，众说纷纭，至今仍没有一个统一的标准。除前面各有关章节对遥感图像不同地貌类型解译所作的介绍外，在此仅从自然地理解译的角度，依照一般分类方法对几种地貌类型的卫星遥感图像解译简作说明。

1. 流水地貌

流水地貌在地表分布最广，同时，也是地质现象常用的解译标志，其影像色调、图像花纹及其形态特征，是流水地貌的主要解译标志。利用它，可对河流曲流、古河道、河成阶地、山区谷型、平原河型、冲积堆、洪积扇、三角洲、河中泥沙和河流作用过程以及湖泊地貌等进行辨认。

在 MSS5 遥感图像上，除对河流中悬移质与泥沙的相对含量以色调深浅显示出来、并以一缕缕较浅影像色调显示出泥沙运动外，对三角洲的物质组成、湖岸地貌类型和湖中泥沙浊流等也表现得很好。若用同一地区不同时相的遥感图像对比分析，还能看出河流上游侵蚀、下游堆积、凹岸侵蚀、凸岸堆积的变化与河床中心滩或江心洲的移动形迹等动态变化。在 MSS7 近红外图像上，河中水流表现为深色调，而河床中的推移质则为浅色调，据此色调深浅变化，可解译出推移质的运行情况及其演变形迹，对湖泊边界轮廓的表现也清晰可见。另外，用 MSS4 假彩色合成图像还可研究三角洲和湖泊的水下地形。可见，卫星遥感图像在流水地貌的解译中，确实有其独特的实用价值。

2. 风沙地貌

卫星图像上的风沙地貌，主要是以色调、内部花纹和所在位置特征等 3 个方面表现出来的。由于沙的反射能力较强，所以，除面定、半面定沙丘会因地下水位上升或植物生长使其色调较暗外，其他流沙在各个波段图像上的色调都较浅。尤其是流动沙丘色调更浅。河、湖、海边的沙滩，比周围地物的色调较浅亮，土壤的影像色调，也会因其含沙量的增高面变浅。

风沙地貌大多分布在干旱地区，在江、河、湖、海岸边也有零星分布。

表征风沙地貌形态特征的轮廓界限，与其周围地形、地物有关。一般和山地、耕地相邻者，轮廓界线非常明显；但当与草原交界时，却出现一个相当宽的渐变过渡地带。至于沙丘的形态特征，只有当沙源十分丰富、沙丘相当高大时才有明显地显示，一般情况下是很难分辨出来的。

另外，在风沙地貌地区水系稀少，图像上只能显示出一些较大的主干河道面缺少细小支流。利用不同时相卫星图像的分析对比，还能看出类似沙丘移动方向、速度以及沙漠内部风蚀、堆积等情况的动态变化，这对难以到达的大沙漠地区的调查和制图是有很大帮助的。

3. 黄土地貌

黄土具有质地均一、反射较强和因垂直节理发育而抗冲蚀能力弱所形成的陡峭、密集沟谷形态特点，在卫星遥感图像上也就呈现出色调浅而均一和密集型树枝状水系花纹图案的特有解译标志。这种典型黄土地貌的影像，在比较干旱黄土分布地区的卫星图像上是

经常可以看到且较易辨认的。

4. 岩溶地貌

岩溶地貌是在炎热多雨石灰岩地区发育而成的一种地貌类型，因其受地质构造的严格控制，故具有定向排列的空间分布特征。峰林残山和溶蚀洼地或作直线展布、或呈既没明显岭脊又无明显走向的交错格状排列，形成色调较深、边界明显和独具特色的“花生外壳”或“痘包状”花纹图案的影像特征，在遥感图像上极易识别也最为常见。

岩溶区的水系，主干河流两侧支流多受构造控制，且沿溶蚀洼地或连续或间断展布。

寒冷干旱的石灰岩地区，水系稀疏，呈树枝状，地貌形态崎岖陡峻，影像色调较浅，岩溶不发育。

5. 冰川地貌

现代冰川在卫星图像上呈白色色调，多在高山、高纬地区，易于辨认。但由于图像比例尺小，很难区分其具体形态，只能宏观地观察其分布概貌。

利用现代冰川的明亮色调和特殊外形，在遥感图像上很容易判明其分布范围、覆盖面积、冰的储量，确定不同高度、不同气候带的冰川类型。根据 MSS4 图像，尚能区分出冰蚀区和冰碛区。若对比不同时相的遥感图像，尚可进行冰舌进退、雪线变化和冰川累积与消融的研究。

如能配合大比例尺航片，还可识别出如冰川槽谷、悬谷、角峰、刃脊、冰斗、冰舌、冰裂隙、冰碛物等冰川地貌的形态细节及巨大的古冰川地形和冰碛地形。

在我国喜马拉雅山、天山、祁连山等高大山系和西部高原地区，都有较大的现代冰川，发育着典型的冰川地貌，而卫星遥感图像就为研究这些人迹罕至地区的冰川地貌开辟了广阔前景。

6. 火山熔岩地貌

在小比例尺图像上，火山堆的影像是比较明显的，其小而圆的斑点状图形和放射状水系，是判别火山堆的主要标志。年青的火山堆，外貌保持完整，易于识别；古火山即使是长期经受破坏而目全非，但其残留的环形山形是可以看得出来的。

熔岩地貌的影像特征，在小比例尺图像上，表现为色调不同且中间有突起的斑块状图形，多分布在火山周围。

从吉林省天池和广东省海口幅卫星图像上，能分别看出具有巨大堆状火山、巨型火山口所形成的天池和海南岛、雷州半岛的玄武岩熔岩地貌。

三、综合区域地貌解译

就以上所述，只是几种典型地貌的主要解译标志和判别方法，在实用上，就以青岛市遥感地貌图的解译编图为例，来说明一些区域综合地貌解译的有关问题。

1. 解译依据及其地貌类型的划分

对青岛市卫星图像的地貌解译，其主要依据是 1986 年 11 月 5 日美国陆地卫星(Landsat－5)数字资料，经计算机处理用 2、3、4 波段合成的 TM 影像地图、地面验证资料和常规调查的地貌图。图像上所反映出的主要解译标志，是地貌的影像色调和形态结构。其中，色调的差异反映出不同地貌体的波谱特性，而影像纹理及其形态结构却反映了地貌的形态类型。

按比例尺制图要求，可尽量突出中地貌类型组合，略去地貌结构形态和微地貌，参照全国海岸带调查规程对地貌形态高程指标的限定，可把青岛市陆地地貌类型划分为表

7—3 所列的 3 类 8 种。

表 7—3　青岛市地貌类型的划分(据李成治)

一级类型	二级类型	
	绝地高程(m)	地貌类型
低山	500～1000	低山
丘陵	200～500	侵蚀剥蚀高丘陵
	<200	侵蚀剥蚀低丘陵
平原	<50	侵蚀剥蚀平原
		冲积平原
		洪积冲积平原(含坡洪冲积成因及晚更新世和全新世沉积平原)
		海积冲积平原
	<5	海积平原

2. 各地貌类型的空间分布

图 7—5 是青岛市卫星遥感地貌解译图，从图中可以看出，侵蚀剥蚀低山主要分布在青岛市区东侧和胶州湾的西南部。在崂山、小珠山、铁橛山、大泽山、磨锥山等低山中，以崂山最为典型。它是由中生代白垩纪晚期崂山花岗岩燕山期侵入体，经喜山运动隆起，由北东-南西平行大断裂切割而成的断块山。因北东、北北东华夏与新华夏构造压扭断裂，导出北西向张性断裂形成了棋盘格式构造格局，控制着青岛沿海地貌形态的发育。

在低山区的周围，海拔 200m 以上的丘陵，属侵蚀剥蚀高丘陵，其岩性和地貌特征与低山一致，仅海拔高度不同，因沟谷不甚发育，地貌形态较为单调。

区内分布较为广泛、且与陆域所有地貌类型衔接者，就是海拔 200m 以下的侵蚀剥蚀低丘陵。它主要分布在低山和高丘陵的边缘地带，其下界直接与各类平原或海滩相接，青岛市区就坐落在本地貌类型区内。

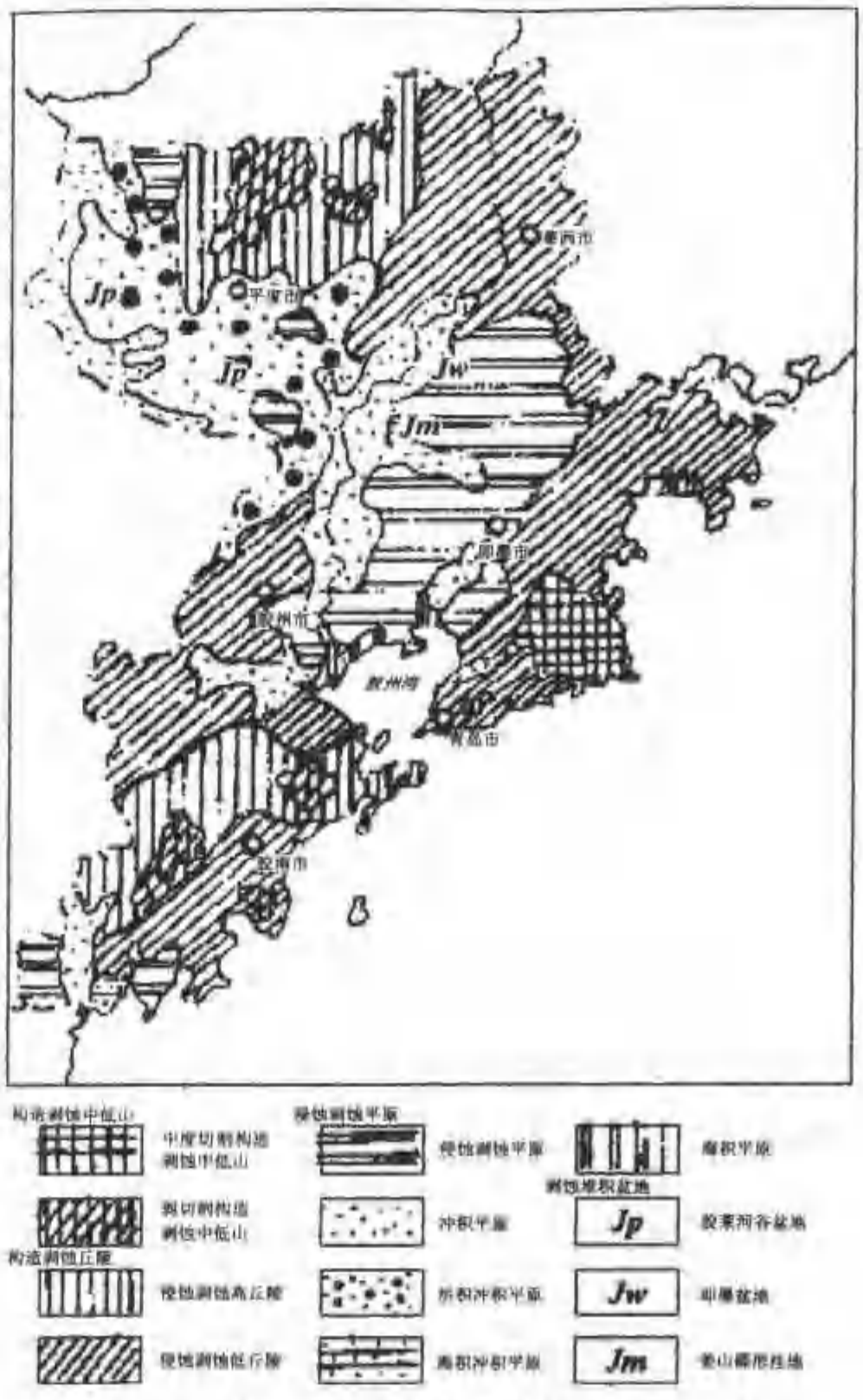


图 7—5　青岛市卫星遥感地貌解译图　(据李成治)

分布在即墨市、崂山区西侧，胶州市北部以及丁字湾、崂山湾、灵山湾沿岸等地的是侵蚀剥蚀平原，多系白垩系火山杂岩，构造断裂发育，侵蚀剥蚀强烈，形成微有波状起伏的平原形态，其上有残丘地貌零星分布。

冲积平原，主要分布在大、小沽河，泽河、胶莱河、洋河、白沙河、李村河、石桥河、白马河等河流的下游地区，多属由较粗河流冲积物堆积而成，且具河谷平原性质的冲积平原。在河流出口处可见河口冲积扇。

洪积冲积平原，在海拔 40～5m 内分布广泛，沿河谷中上游均有分布，多由坡洪积、洪冲积与坡冲积物质构成，表现出明显的台地或缓坡地貌。

大沽河冲积平原的东西两侧及其近河口地段，本为河流冲积物充填的冲积平原，但因中全新世受到海侵，全新统海相地层厚达 6m，海退成陆，构成海积冲积平原。

海积平原规模较小，仅局限在海湾沿岸的低平地区。其地势平坦，地貌单调，前沿直接与盐田、潮间浅滩衔接，内侧多连接冲积平原和洪冲积平原，卫星图像上能明显地区分出来。

第四节　地质解译

地质解译主要包括构造、地层、岩性等内容，除在第五章航片地质解译中已作过的有关介绍外，现着重说明陆地卫星遥感图像的地质解译知识。

一、构造解译

陆地卫星多光谱扫描仪所使用的近红外波段，能较为清楚地显示出地下水、地表湿度和植物生长的变化，从而较为突出醒目地把构造形态在图像上揭示出来，甚至能反映出一些隐伏的构造形迹，使构造解译取得了较好效果。目前，常用卫星遥感图像作如下构造解译：

1. 单斜构造

在小比例尺卫星遥感图像上，水平产状的岩层是很少见的，最常见的是指向同一方向倾斜的岩层，即所谓单斜构造。

单斜构造的解译标志，是由倾斜岩层形成的相互平行且疏密相间、色调不一的条带状影像特征。在一般情况下，根据卫星图像只能辨别出岩层的走向，但当岩层较厚、走向稳定、倾角适宜、光照条件较好时，也能看出岩层三角面，并据此可以判定岩层的倾向和倾角。

在单斜构造发育地区的图像上，常常形成大面积单面山和猪背岭地形，若岩层直立或接近直立，可形成平行直线状的垅脊、山梁与沟谷，使影像上呈现出栅状纹形。

2. 褶皱构造

褶皱构造是由地壳构造运动所引起的背斜、向斜褶曲群体的总称。在我国西北、西南一些地区的卫星图像上，可以看到形态非常完美的褶皱构造。例如，在经增强技术处理的柴达木盆地西部卫星图像上所显示的褶皱形态，比地面详测资料更为逼真，内容也更加丰富。

褶皱构造的典型解译标志，是由以褶皱轴为中心，对称分布的不同色调条带状花纹所构成的闭合环状、同心圆状、弧状或绸带状影像特征。据此确定褶皱存在后，再进一步分析、解译背斜和向斜。

在卫星图像上区分背斜和向斜是比较困难的，但并非无规律可循。一般说来，背斜具有核部色调较深，多呈椭圆形或长条形，在其转折端的内带转折较尖，外带转折较缓，各带宽度由内向外渐窄，并具有放射状或梳状水系的影像特征。向斜则不然，其核部色调较浅，多呈叶瓣状形态，在转折端的内带转折缓而外带转折尖锐，各带宽度却由核部向外逐带加宽，有向心状水系发育。

从卫星遥感图像上还可区分出紧闭型、宽展型和平缓型等组合类型的褶皱。紧闭型褶皱的图形特点，是由背斜、向斜平行紧密排列而成的长条带形图案。其褶皱狭窄，成排排列，峰谷紧密相邻，向斜、背斜交替出现，转折端很不明显，发育有完全受构造及岩性控制的平行状水系。

宽展型褶皱的形态，多呈长条形或环带形交替出现的图案和受褶皱控制的平行状水系，但其规模却较紧闭型褶皱要小。

平缓型褶皱的解译标志，多表现为零散分布的环形或同心环形图案和放射状、环状或向心状水系。

3. 断裂构造

在卫星遥感图像上，不同色调和几何形态的线状影像特征是较为清晰、醒目的。当然，呈线状影像特征的并不完全是断裂构造，然而，线状影像特征却是断裂构造的直接解译标志。

对断裂构造的解译，主要依靠影像的色调和图形形态两类标志。由于断裂作用使其两侧的岩性、地下水位和植被类型有所差异，从而在图像上显现出断裂两侧具有深浅不同色调的界面，在均一的背景色调上现出一条狭窄、深浅有别的影像色调，是断裂构造的重要解译依据。

辨别断裂构造的形态标志，是断裂两侧的山系、水系错断、错位等不协调影像或地貌类型的突然变化，这是由于水系、地貌类型等受构造控制的结果。另外，湖岸、海岸成直线状或湖泊、泉水、火山岩、侵入岩体等成线状排列，也可作断裂构造的一种解译标志。

在西安幅卫星图像上的渭河北侧，能清晰地看到由两种不同色调界面所显示出的断裂构造；安庆幅卫星图像中，郯庐断裂的影像界线平直且长，两侧具有一为山地、一是平原截然不同的花纹图案。

除运用色调和图形形态外，当然也不能忽略阴影、大小、位置、岩性、地下水位、植被类型等与断裂关系密切相关的间接解译标志。例如，当发现图像上有一条长达百公里由地质构造引起的线状影像异常时，决不会将其解译成节理；同样，在冰川上若出现无论多么明显的裂隙，也不会把它看成是断裂构造。可见，在解译实践中，根据区域地质特点，建立符合解译区实况的综合解译标志，才是区域构造解译最可靠的依据。

二、地层、岩性解译

由于卫星图像上的地层、岩性解译标志比较模糊且具多解性，所以，利用卫星图像进

行地层、岩性的目视解译是较为困难的，特别是当对解译地区的区域地质情况了解不多时尤为不易。

卫星图像上对地层、岩性直接解译标志虽然显现不多，但若能对影像色调、地貌、水系形态、植被类型和土地利用特点等多方面进行认真的分析，是可以将其分辨出来的。

地层、岩性的色调随环境而变化。如能根据环境条件对岩石色调影响的变化规律作分析对比，则可区分出色调相近的岩类。例如，华北地区的凝灰岩和灰岩色调相近，但灰岩区植物不易生长，面凝灰岩区却能生长植物。所以，在植物生长季节的卫星图像上两者的色调差异较大，故用不同时相的卫星图像进行对比就能把它们区别开来。

成分和构造不同的岩层，都具有各自的外形轮廓和内部花纹图案。面外部轮廓和内部花纹图案的特点，又不受植物生长状况和湿度变化等自然环境的影响，具有相对的稳定性。所以，可根据峰脊形态、大小、宽窄、走向、水系形态及其密度等因素，对岩层影像作形态分析，再运用其与岩石有关的影像特点进行逻辑推理，就可将其区分出来，但在解译时却不可忽视区域特征。

沉积岩中的砾岩、砂岩和页岩多是互层的，在卫星图像上显现出不同色调和花纹图案的条带状影像特征。若在缓倾斜或水平岩层地区，其影像所表现的是出露岩层的特点。大片砾岩在卫星图像上并不多见，砂岩出露较多，具有节理发育、树枝状或格状水系以及方山、单面山的形态特征。粉砂岩和页岩易受风化剥蚀，呈现出植被发育较好、支流多而密集的树枝状水系和低矮浑圆、波状起伏的“馒头”山形态特征。湿热地区的碳酸岩，具有较深色调和岩溶地貌的独特花纹，而寒冷干燥地区的碳酸岩，多呈基岩裸露、山峰尖峭、水系稀少、植被不发育的花纹图案。

岩浆岩中侵入岩的外形轮廓，多呈圆块状，具有较明显地与围岩的接触界线，色调因岩性面异，一般酸性和硷性岩的色调较浅，中性岩色调稍深，基性和超基性岩的色调最深。喷发年代较新的火山岩，多保留有火山口，喷发年代久远者，多因表面风化严重，不易辨认。火山碎屑岩，是呈深浅不一的灰色色调和宽窄不同的条带状或斑块状纹形，或构成山地、陡峻山脊，或形成低缓盆地中的小丘与岗地。玄武岩多具深色调和圆形、块状的影像特征，地貌上表现为台地、陡坎或定向排列的小丘与岗地，较易区分。

三、综合区域地质解译

根据解译标志，从卫星遥感图像上解译出的构造成分和地层与岩性类型，是非常宝贵的地质资料。然而，若不将其与区域地质背景联系起来，则失去了解译意义。所以，应当针对解译目的，把解译出的单个构造成分及其地层岩性类型与区域地质环境紧密联系起来，从其空间分布、发展历史、地质成因等方面进行综合区域地质分析。只有这样，才能掌握解译区地质构造和地层岩性类型的区域特点、成因及其发展历史，从而得到与解译任务有关的区域地质认识，达到解译目的。

图 7—6 是根据美国陆地卫星(Landsat－5)1985 年 4 月 24 日的 MSS 和 1986 年 11 月 5 日的 TM 图像，进行解译并参考用常规方法编制的区域地质图和 1∶20 万遥感地质图编制而成的背岛市地质解译图。现仅就图中反映出的青岛地区地层、岩性和构造等方面的内容作如下简要说明：

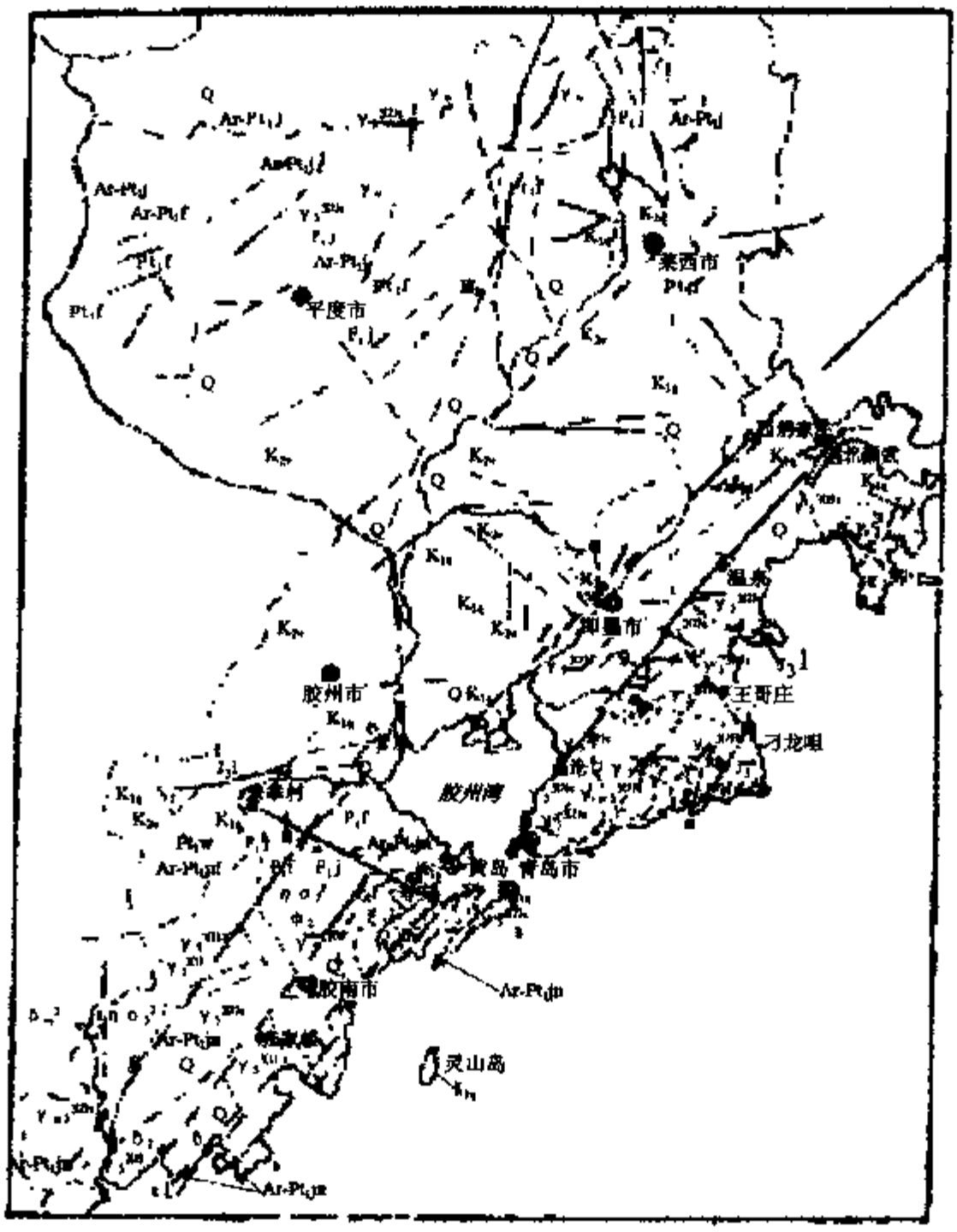


图 7—6　青岛市地质解译图　（据刘忠敏）

1. 地层、岩性

图中反映了中下元古界、上侏罗系、白垩系和第四系地层。

(1)中下元古界　属粉子山群(P_tf)和胶东群(P_tj)的一套变质岩系，多为绿色片岩-角

闪岩类。主要分布于平度、莱西和胶南境内，其他地区也有零星出露。

(2)上侏罗系莱阳组(J_3l)　是一套河湖相碎屑岩类，多为砂岩、砾岩、砂砾岩和页岩，出露于胶州、胶南、崂山头、山东头等处，与下伏地层呈不整合接触。

(3)白垩系(K)　可分为上下两统：

①下统青山组(K_1q)：为陆相碎屑岩及火山岩类。其下段多为粉砂岩、砂岩，中段是安山岩、流纹岩，上段属流纹安山岩和珍珠岩。分布在王台以西、马格庄以南和红岛地区者，是中酸性喷出岩和凝灰岩；在城阳、即墨一带者，为中基性喷出岩和凝灰岩。

②上统王氏组(K_2w)：属陆相碎屑岩类。多为红色砂砾岩、粘土岩，中上部夹有玄武岩类。分布于胶州湾西部与胶莱河、大沽河两岸。

(4)第四系(Q)　为淤泥质粉砂和粉砂质淤泥。晚更新统以残坡积为主，分布于河流两岸及诸小沟谷；全新统以海积、冲积为主，分布在胶州湾和滨海平原区。

2. 岩浆岩

本区出露最多的是酸性岩浆岩类，此外，尚有部分中酸性及少数中基性和碱性岩类，以胶州湾东部的崂山和南部的小珠山、大珠山一带分布最广，其类别可分为：

(1)元古代花岗岩类　属黑云母花岗岩，出露于图幅之北端。

(2)燕山早期侵入岩　为石英二长岩类，出露于图幅东北部的小块地区。

(3)燕山期艾山阶段　有似斑状花岗闪长岩，出露于胶南南部；正长斑岩类，出露于图之东北角；闪长斑岩和闪长岩类，出露于图之西南部。

(4)燕山期崂山阶段

①$\gamma_5^{3(2)a}$：中粗粒花岗岩及黑云母花岗岩，出露于崂山，大、小珠山等地。

②$\gamma_5^{3(2)b}$：中粗白岗岩和钾质白岗岩，又名崂山花岗岩，出露于崂山。

③$\gamma_5^{3(2)c}$：正长白岗岩，又名青岛岩，出露于青岛市区。

④$\gamma_5^{3(2)d}$：中细粒黑云母花岗岩，出露于崂山及沧口地区。

⑤$\gamma_{\pi5}^{3(2)e}$：花岗斑岩，出露于崂山、石湾等地。

3. 构造

在大地构造上，本区属华北地台胶莱隆起带的南部。位于鲁北隆起区的胶莱拗陷，胶南隆起的东部，胶北隆起的南部，以断裂构造为主。从卫星遥感图像上，我们解译出了179条线状构造(表7—12)和多组环状构造(图7—6)。现将较为显著者列述于下：

(1)线状构造　卫星图像上形迹明显的线状构造有北东、北北东向，北西向，北东东及近东西向和近南北向等几组。其中，影像线迹明显、延伸较远、最为发育者当推北东及北北东向断裂。在此组断裂中，尤以下列长达数十公里至百公里以上的各组最为醒目。

①北颜武-西温泉-崂山水库-沧口大断裂：此断裂在胶州湾西部的黄岛前湾口-烟台前-崔家潞湾-陈家贡湾等处也有线迹出现，长达百余公里。

②北高家庄-西躬家庄-即墨-红岛大断裂：此断裂线迹明显，亦长达百公里。

③莱西-大沽河断裂：是本次解译新发现的隐伏断裂，长达数十公里。

④营房-丁家大村-安门庄大断裂和胶南-张家楼-泊里-棋子湾大断裂等。

较大的北东东及近东西向的断裂，有胶州境内的断裂带、洋河断裂带以及解译发现的流浩河、五沽河、惜福镇-东台村断裂带等。此组断裂带延伸长，呈微波弧形线状。

本次解译新发现的近南北向断裂较多，它们线迹隐晦且呈等距出现。较明显的有大沽河、吉利河和五龙河等断裂带。

北西向断裂多局部出现，较典型者有即墨北西向断裂带、刁龙咀-王哥庄-东台村北西向断裂带、洼里-驴岛北西向断裂带和西于家河-辛安-韩家寨-河西郭-朱季村断裂带等。

(2)环形及弧形构造　环形与弧形构造，在本区卫星遥感图像上亦清晰可见，如由一束半环状弧形断裂带组成的小珠山环形构造；受侵入岩体控制的沙子口环形构造，王台-洼里环形构造；呈弧形帚状的崂山水库环形构造；以及呈弧形线状弯曲且被北西向断裂切割的即墨弧形构造等均属之。它们都以独特的形态轮廓，反映出了深部的隐伏岩体或封闭断裂。

第五节　土壤、植被解译

卫星图像的土壤植被解译，实际上是一种根据其自然环境之间的关系，遵循地学规律作相关分析和逻辑推理的过程。因此，它是一项多学科的综合分析解译。虽然与利用直接解译标志就可判定的水系、构造、岩相和地貌相比，要复杂一些，但仍有规律可循。

一、植被解译

1. 植被解译的依据

卫星图像上所反映出的植被色调及其形态，并不是植被的个体特征，而是其群体的分布状况。它是植被类型、疏密程度和植物生长状况等多种因素的综合反映。所以，在作植被解译时，既要注意植物的光谱特性，又要对影响其光谱特征的各种因素作综合分析，慎重判别。

(1)植物的光谱特性　绿色植物的光谱特性，受其自身色素、叶片组织构造和水分含量的控制。实验证明，绿色植物的光谱反射率，具有随波长而变的明显特性。一般在可见光波段内，其光谱响应受自身各种色素的支配。由于叶绿素的影响，使其在 0.45μ 和 0.65μ 处有两个吸收带，而在 0.54μ 处却有一个小的反射峰。但在近红外波段的 0.76～1.3μ 波段内，受其叶片组织结构的影响，却很少吸收辐射能量，吸收率不超过 5%，但反射率和透射率却高达 45%～50%。而在 1.3μ、1.9μ 和 2.73μ 处为水的吸收带，故在此波段内，植物叶片水分的含量就成了影响其光谱特性的主要因素。随着含水量的增大，其反射率明显降低。

图 7—7 是收集了 700 种植物的光谱曲线，从图中可以看出，所有绿色植物都具有在可见光波段以吸收为主，在近红外波段以反射为主，并在 1.3μ、1.9μ 和 2.73μ 处有 3 个明显水分吸收带的特性。因植物特点不同，其反射率也就有所差异。虽然它们在可见光波段差异较小，不易分辨，但在近红外波段却有较大的差别。

(2)影响植物光谱特性的因素　植物的光谱特性，除受其自身色素、组织结构和水分含量的影响外，还与其疏密程度、物候期差异、下垫而特征以及病虫害等因素有关。

不言而喻，植物覆盖指数高低，直接影响图像上所反映出地面信息的多少。一般认为，当叶面指数(植物群丛叶片累加总面积与地面单位面积之比)大于 5 时，才能消除地而背

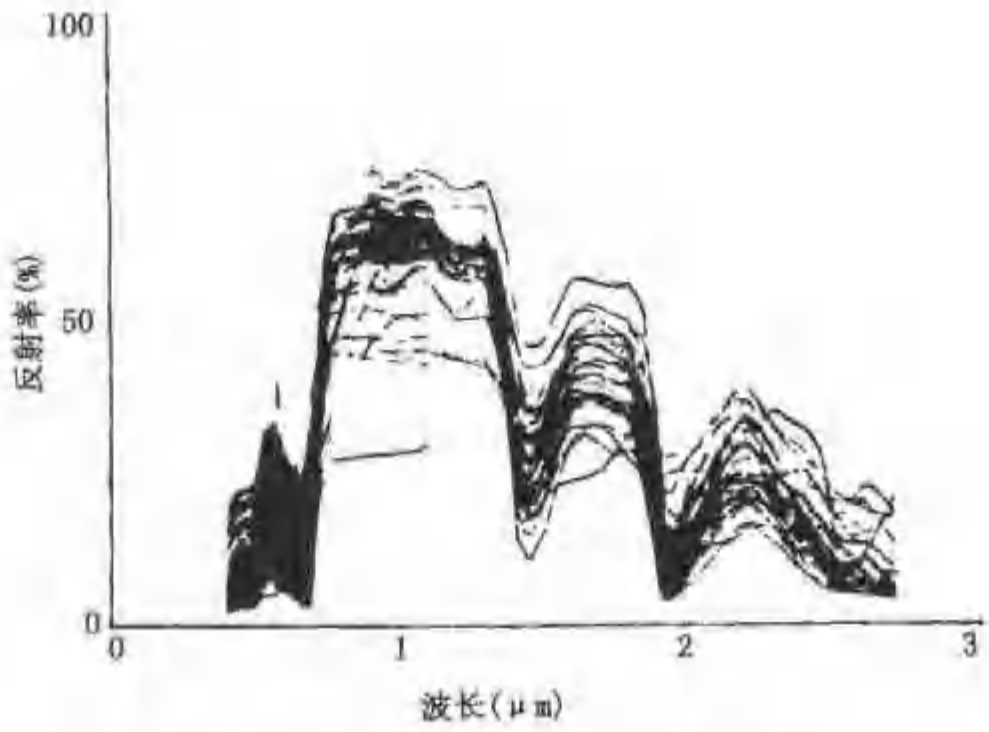


图 7—7　700 种植物光谱曲线图

景对影像的影响。然而，一般的叶面指数多在 4 左右，故其影像特征或多或少地受到了地面背景的干扰。

由于植物色素及其细胞发育随季节而变，所以其光谱特征也因季节而异，尤其是在春、秋季节，差异更加明显。因此在卫星图像上也就反映出色调、色彩的明显差别。

在一般情况下，由于植物叶面指数多小于 5，不能将地表全部覆盖，使阳光不可能全部被植物吸收和反射，总有一部分可到达地面，从而使不同地面情况直接影响了植被的影像色调。

当然，在植物遭受病虫害和人为伤害时，也会因叶片组织受到损害使其反射强度明显减弱，尤其是在近红外波段表现得最为明显，从而引起影像色调的变化。

总之，植物的光谱特性除受其自身情况控制外，环境因素的影响也至关重要。所以，在作卫星图像的植被解译时，要将图像上所反映出的环境信息与植物本身区别开来。

2. 植被解译特点

不同解译对象，反映出各具特色的色调、形态、结构、图案花纹等影像特征。解译人员要从各地理要素间的微细差异找出其解译特点，运用不同手段将其辨识出来，提高解译成果的准确度。

(1)运用已有资料，结合野外验证，摸清具体环境因素对植物光谱特性的影响，掌握特定环境下植物群落的光谱特征。

(2)根据气候带和植被区划资料，利用不同物候期的卫星图像作分析对比，区分不同植被类型。

(3)运用卫星图像多波段成像的特点，对图像进行增强处理，突出即将解译的植被内容，增强解译效果。

3. 卫星图像上所表现的植被色调

卫星图像上的植被色调，虽随其品种、环境条件和成像波段而变，但其总趋势是不变的。一般说来，在 4、5 波段的卫星图像上，植物呈现深色调，而在 6、7 波段的图像上，却是浅色调，阔叶林比针叶林的色调更浅。

在标准假彩色图像上，植物表现为红色。其中，幼嫩植物带粉红色，长势好者为红色，成熟时是鲜红色，受伤害的植物呈暗红色，干枯者不呈红色，阔叶树比针叶树显得更加鲜红，灌丛颜色较为浅淡，水稻则呈暗红色。

二、土壤解译

卫星图像上，土壤没有直接的形态标志，其色调也是周围环境和成土因素的综合反映，故难以直接识别。所以，对卫星图像的土壤解译，实际上是运用土壤发生学原理，根据成土因素的特点及其变化，加以综合分析和逻辑推理进行的。虽较不易，但尚有规律可循。

1. 自然土壤的解译

自然土壤是在气候、植被、成土母质、地貌形态以及时间因素的综合影响下形成的。解译时，是利用卫星图像多波段、多时相特点，进行图像增强处理以充分研究各因素的地域特点和变化规律，找出识别土壤类型的解译标志，来圈定各土壤类型的空间分布状况的。

土壤的形成发育与气候、植被和成土母质密切相关。所以，可参考解译区的气候特征和从卫星图像上解译出的岩性、成土母质、植物群落类型作为对土壤类型进行推理的标志，来判定土壤类型。例如，在高温多雨的热带气候条件下，与热带雨林和季雨林相应的土壤为砖红壤；与高温多雨干湿季分明的亚热带气候和常绿阔叶林相应的土壤是红壤；黑土是与温带半湿润气候和草原化草甸型植被相对应的；而在温带半干旱气候和草原植被条件下则发育成黑钙土等。

植被类型不仅可作为区分一级土壤类型的主要指标，而且也可藉以对植物生长状况和优势植物品种的判别来判定土壤的发育程度。

任何土壤，都是由岩石风化而成的成土母质经生物作用发育演变而成的，所以，成土母质就是生成土壤的物质基础。成土母质因受其自身物质组成、颜色、地貌形态和植被类型的综合影响而具有不同的色调和花纹图案，影像比较直观，易于识别。因此，在土壤分类上可作为土属划分的依据之一。

地形变化，直接影响着土壤的冲刷与沉积，使土层厚度、土体沉积、层次构造、母质的机械组成以及土壤养分、水分、热量状况重新分配，从而改变了生物群落的组成、生物作用强度和农业利用状况，使土壤产生了地域性的分布特征。

另外，时间因素是判别土壤发育程度的依据，但在卫星图像上却无明显的直接解译标志，也需通过地貌类型和植被生长状况作推理判断。

2. 农业土壤的解译

人类的长期进行整地改土、耕作施肥、灌溉排水、植树造林等农业生产活动，改变了自然土壤水、肥、气、热等理化性状和生物学特征，加速了土壤的演变过程，形成农业土壤。对农业土壤的判别，除要遵循自然土壤的解译原则外，还应根据农业生产规律，也就是要依照一定土壤类型应种植与之相适应作物品种的法则，从作物的光谱特性及其物候期的分析对比中，判定出作物品种及其生长状况，进而区分土壤类型。

3. 裸露土壤的解译

根据卫星图像的影像特征，可以判别出土壤质地、有机质含量以及土壤水分状况等因素，可在此基础上再判定裸露土壤类型。

三、区域土壤综合解译举例

针对区域具体情况，利用卫星图像解译编绘土壤分布图是可行并值得推广的。我们于1987年利用陆地卫星遥感图像的解译，为青岛市国土规划部门编绘了一系列基础图件，其中，土壤解译图即一实例。

我们从1987年10月27日陆地卫星TM图像和部分子区增强处理图像中发现，在丘陵、高坡处，呈灰绿浅亮色调者为棕壤和棕壤性土；于低洼平地，呈灰绿褐深暗色调的是砂姜黑土；潮土呈灰黄绿浅亮色调，而幼年水稻土却表现为灰绿深暗色斑等影像色调特征。各类土壤轮廓界限尚为清晰，据此，再参阅有关资料分析对比、推理判断编绘出了青岛市土壤解译图(图7—8)。

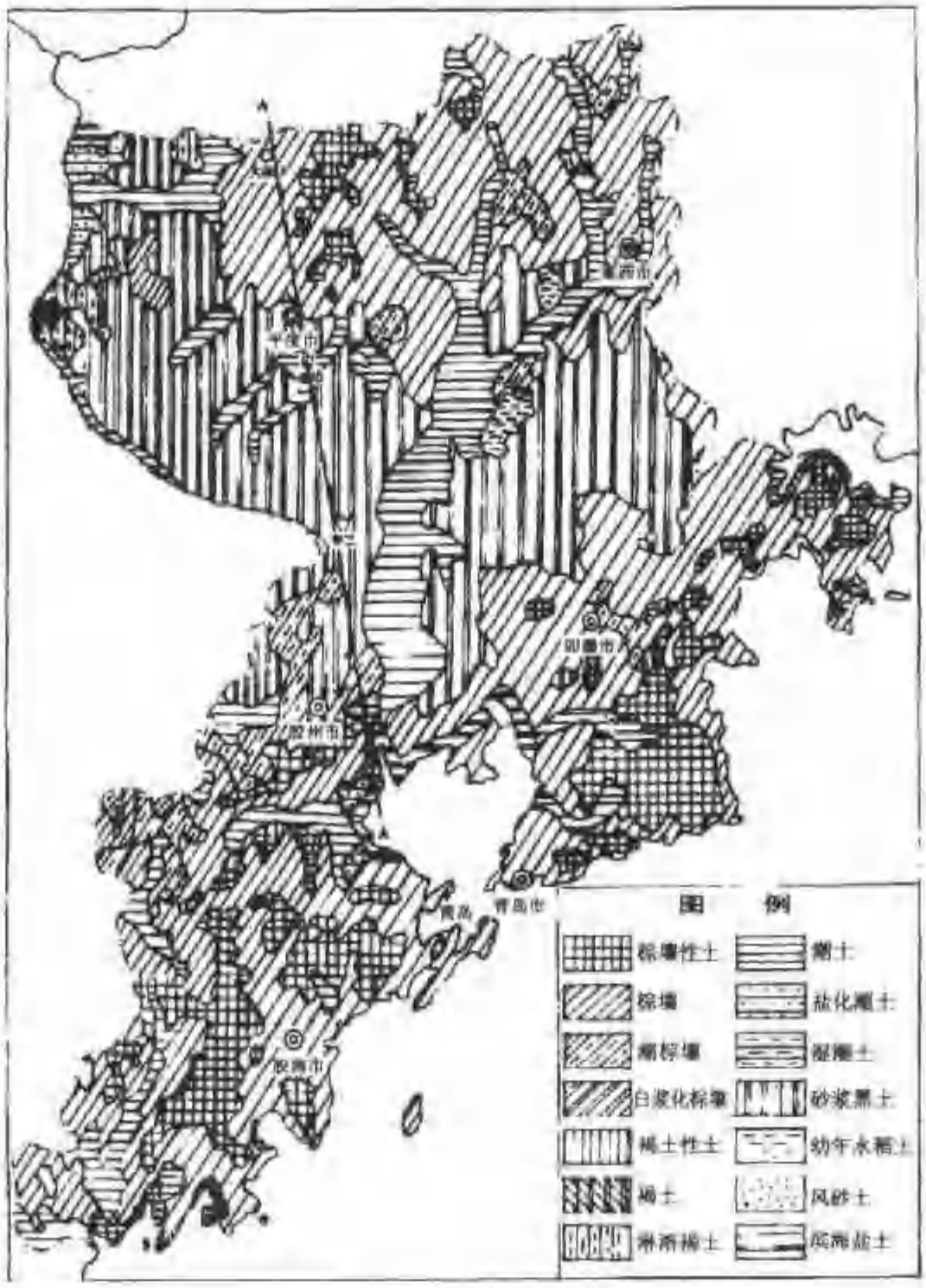


图7—8 青岛市土壤解译图

若再把岩性、成土母质、植被、地貌类型和土壤解译图套合在一起，沿平度大泽山、曲坊、亭兰至胶州湾西岸一线作一剖面图，就更能显示出土壤类型、岩性、成土母质、植物群落和地貌类型之间的明显对应关系(图7—9)。从图中可以看出：剥蚀侵蚀高丘陵区，在花

岗岩、花岗片麻岩的残坡积母质、温带常绿针叶林的基础上，发育成了棕壤性土和棕壤；与剥蚀侵蚀低丘陵下远古界变质岩类残坡积、坡积母质、温带落叶阔叶灌丛林、草丛相对应的是典型棕壤；在剥蚀侵蚀洪冲积平原上，上白垩系王氏组红色砂砾岩、粘土岩坡洪积冲积物和上侏罗系莱阳组砂岩、砾岩、砂砾岩洪冲积、冲积物以及温带落叶阔叶林和草甸情况下，构成了砂姜黑土和淋溶褐土；在河谷平原第四系粉砂质粘土冲积物和草甸处，又生成潮土；而与滨海低地、第四系粉砂质淤泥或淤泥质粉砂冲积海积物和温带盐生植物相对应的却是盐化潮土和滨海盐土。可见，成土母质、地貌类型、植物群落和土壤之间有着密切的内在联系，它制约着土壤的生成发育，形成了不同土壤类型的地域分布规律。把土壤解译建立在综合分析对比各成土因素的基础上，无疑对土壤类型的区分和判定其地域分布现状都是有莫大的助益。

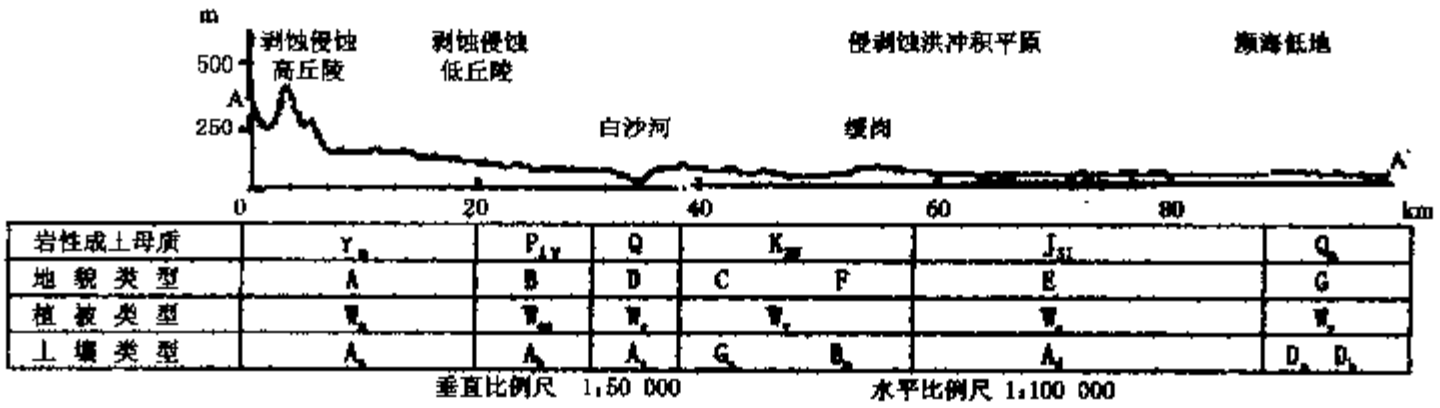


图 7—9　自大泽山经曲坊、事兰至胶州湾西岸土壤剖面图

γ_m　元古带花岗岩、花岗片麻岩、残坡积；$P_1\gamma$—下元古界变质岩类、残坡积、坡积物；

K_2w—上白垩系王氏组红色砂砾岩、粘土岩、坡洪积冲积物；J_3l—上侏罗系莱阳组砂岩、砾岩、砂砾岩、洪冲积、冲积物；

Q—第四系粉砂质粘土、冲积物；Q_m—第四系粉砂质淤泥、淤泥质粉砂、冲积海积物；

A—剥蚀侵蚀高丘陵；B—剥蚀侵蚀低丘陵；C—洪积冲积平原；D—河槽洼地；E—浅平洼地；F—缓岗；G—滨海低地；

W_m 温带常绿针叶林(马尾松)；W_{cg}温带落叶阔叶林(灌丛、草丛)；W_c—草甸；W_y—温带盐生植物；

A_a—棕壤性土、棕壤；A_b—棕壤；A_c—潮土；G_a—砂姜黑土；B_a—淋溶褐土；D_a—盐化潮土；A_d—潮棕壤；

D_b—滨海盐土

实际上，青岛市的土壤应划分为棕壤、砂姜黑土、潮土、褐土和盐土五大类。其中分布最广、所占面积最大的，当推棕壤和砂姜黑土。棕壤占可利用土地而积的 58.5%，砂姜黑土占 21.6%，潮土位居第三，占可利用土地面积的 17.1%。而褐土、盐土和少量的幼年水稻土与风沙土等其他土类仅占 2.8%。虽然土壤是自然条件和人类生产活动的共同产物，其光谱特征是诸多成土因素的综合反映。但若能针对具体情况作具体分析，从中找出起主导作用的某些因素作为推理判断依据，则可以将其从图像中分辨出来，达到解译目的，完成解译任务。

第六节　土地利用和城镇、铁路的解译

卫星图像上所反映的是自然条件和人类经济活动瞬时特征的综合信息。由于各地自然环境和人类对其开发利用程度的较大差异，故土地利用具有很强的地域性，在分类上也

突出了区域特色。城镇和铁路的光谱特色，受建筑物、建筑材料及其周围空地的影响，与其他用地显然不同。解译时，要针对具体情况作具体分析。

一、土地利用解译

由于土地利用的类别多、图斑小、图形复杂且具有很强的地域性，从而增加了解译难度。在利用卫星图像作土地分类时，应根据我国试用的土地利用分类标准与要求，进行目视解译。并在此基础上，经野外验证、修改审定。

对土地利用的目视解译，一般有两种方式。一是单项提取，综合系列成图；另一种，则是建立综合解译标志，据其作识别判定。所谓单项提取，系列成图，就是先把地貌、植被等各有关要素的解译成果，单项绘制在透明聚酯薄膜上，然后，再将各图重叠，并根据重叠后的具体情况圈绘出不同土地利用类型的空间分布范围。所谓依据综合解译标志作目视解译，就是针对具体情况作具体分析，根据解译标志圈定土地类型界线。例如，对有植被覆盖的土地类型，要依据其地貌特点、植被类型及其生长状况判定；无植被覆盖者，可藉光谱特性和影像特点判定；至于如自然保护区、名胜古迹之类有意义而无明显标志者，就要参考地形图和其他有关资料判断确定。

二、城镇解译

城镇的光谱特征是各类建筑物与其周围裸露空地的综合反映，只有当面积较大或与周围环境的光谱特性有显著差异时，才能从卫星图像上识别出来。但其内部结构已大为简化，只能判别出主要分区，甚至仅可看出它的外形轮廓。

在多波段黑白图像上，城镇多呈深暗色调；在标准假彩色图像上，则是中心色调深暗、边缘略浅的灰盖或蓝灰色彩。解译时最好先从地图上确定其地理坐标和周围可作判定标志的方位物、地貌或水系等，再根据图像上的坐标注记和方位物所显示的影像特征确定其相关位置。

例如，在青岛幅（附图 4）假彩色图像上，城镇呈现中心深四周浅的蓝灰—灰褐色，以青岛市区的影像最为明显清晰，平度、胶州等市的影像也比较清楚。如果再配合地形图，并以具有标志作用的河流、水库等相关位置为方位物，还可分辨出莱西、即墨、胶南和一些范围不大的城镇。

三、铁路解译

由于铁路路基材料与周围土地的光谱差异较大，同时因路基高且有较宽的阴影，所以在卫星图像上形成色调深暗、较为清晰的线状影像，当条件适当时可以辨别出来。

如京广线和京山线，在标准假彩色图像上都能看到一些痕迹。京山线在平原区为一条细线，比较明显；京广线在拒马河冲积扇附近显示得比较清楚，而在离开北京时却难以看出，这是由于靠近断裂线处于两个色调界而附近，受其干扰所致。另外，在河北省唐山幅上可看到山海关—唐山一段，石家庄幅上可看到保定—邯郸一段，青岛蓬莱幅镶嵌图上，可看到胶济线的城阳—胶州—高密—车留庄一段和蓝烟线的蓝村跨流浩河、五沽河经望城到莱阳一段等铁路，它们都具有色调暗黑并呈细线状的影像特征。

第八章

红外与微波遥感

在电磁波谱中，红外辐射和微波辐射都具有热辐射性质，所成图像也较可见光有独特、优越之处，在军事侦察、环境监测和资源调查等方面都有其特殊作用，深受军事和生产部门的重视，故发展迅速，在地理科学领域应用中有广阔的发展前景。本章将分别介绍有关红外遥感和微波遥感的基础知识。

第一节　红外与微波辐射的基本概念

凡温度大于绝对零度(－273.16 C)的任何物体，都因存在着分子的热运动具有发射和吸收红外线与微波的能力。其红外发射强度与物体温度有密切关系，而物体间微波发射的差别却取决于物体的性质。

一、红外辐射

物体发射红外线的强度与其温度密切相关，只要物体温度有微小差别，其红外发射就有明显的不同。所以，通常又把电磁波谱中的红外区称为热区，把红外辐射称为热辐射。具有热辐射性质的典型电磁波是中红外和远红外，所以又把它们称为热红外。

1. 红外线波段及其划分

电磁波谱中的红外线，处于可见光和微波波段之间，由于它位居可见光的红光之外，所以通称其为红外线或红外波段。

红外波段的波长为 0.75～1 000μ，属非可见光。按其波长和能量的不同，可分为近红外、中红外和远红外，但对红外波段的划分与命名却不尽相同(表 8—1)。

8—1　红外波段的划分

	《电子工业词典》(1976)	《红外物理基础》(1977)	《空中照相学教程》	Sabins (1978)
近红外(短波红外)	0.75～3.0μ	0.76～3.0μ	0.75～3.0μ	0.7～3μ
中红外	3.0～20.0μ	3.0～6.0μ	3.0～30μ	3.0～6.0μ
远红外(长波红外)	20～1 000μ	6.0～15.0μ	30.0～1 000μ	6.0～300μ
超远红外		15.0～1 000μ		

(1)近红外　近红外又叫短波红外或反射红外，波长为 0.75～3μ，属原子光谱，是由

原子外层电子能级跃迁产生的。只有当温度达到 400°～966°K 时的高温物体才能发射近红外线，所以自然界中只有太阳、火山和燃烧才能发射近红外波段。

(2)中红外和远红外　波长为 3～1 000μ，属分子光谱，是由物体组成物质的分子振动和转动状态发生能级变化产生的。由于分子的振动和转动是由其热运动产生的，故又称之为热红外。

2. 红外线的特点

红外线同时具有可见光和微波两者的某些特点。一方面具有如光波那样可借助透镜聚焦、利用棱镜分光；另一方面又能透过如半导体、皮革等对可见光来说是不透明的一些物体。红外线也能产生光电效应。此外，对反射太阳的红外波段，尤其是波长为 0.75～3μ 的红外线来说，属于连续光谱；而对其他物体发射的热红外来说，却是不连续光谱，各具其特殊的谱线，且每条谱线并不是单色光，而是有一定波长范围的波谱，称之为物体的谱线宽度。

二、微波辐射

在电磁波谱中，微波辐射和红外辐射都属热辐射性质，但两者之间也有明显的差别。

1. 微波波谱范围及其划分

通常把微波波长范围定为 1mm～1m，可分为毫米波、厘米波、分米波和米波等几个波段(图 3—16)。根据电磁波的能量及其物理特征的差别，还可将厘米波和分米波分为 K 波、K_a 波、X 波、G 波、C 波、S 波、L_s 波、L 波和 P 波。

2. 微波辐射及其微波影像的特点

和红外辐射相比，微波辐射及其影像显然有以下特点：

(1)在常温状态下，地表发射微波的能量很弱，一般要比红外辐射低 5～6 个量级，但在低温状态下，物体的微波特征比较明显。

(2)从成因上看，红外辐射属分子振动光谱，而微波却是分子转动光谱。

(3)红外线只对半导体物质有穿透能力，而微波则对冰、雪、松散覆盖层和植物等都有一定的穿透能力。所以，如海中的冰山和海水若用红外线遥感是不能区分的，但用被动微波遥感就能很容易地将其区分开来。

(4)红外的大气窗口只限于 3～5μ 和 8～14μ 很狭窄的范围，但微波波长大于 3cm 时，大气干扰可忽略不计，作到全天候全天时成像且图像背景较为“干净”。

第二节　物体的红外与微波辐射特征

物体的红外与微波辐射特征十分相似，都属热辐射范畴，符合热辐射定律。然而，由于物体的物质结构及其热特性的差异，又直接影响了两者的辐射特征。

一、物体的红外辐射特征

地球上的所有物体，既能不断发射不同波长的红外线，又能吸收和反射不同波长的外来红外线。但由于物质性质的不同，使其发射、吸收和反射红外波谱曲线的形态、峰值波

长、辐射温度等物理特征也就有所差异。红外遥感正是根据这些物理特征所显示出的影像差别来识别物体的。

物体的红外辐射特征是用其发射系数、发射波谱曲线和辐射温度来表示的。

1. 物体的发射系数

物体的发射系数是量测电磁波发射强度的标准。物体最大发射强度的波长取决于物体的温度并受其粗糙度的影响。

2. 物体的发射波谱曲线

不同物体具有不同的发射波谱曲线，根据物体发射波谱曲线形态的比较，可以区分出物体的性质。

3. 物体的辐射温度

在常温条件下，物体只能发射波长较长的中红外和远红外，其发射强度取决于物体的表层温度。温度愈高，最大发射强度的波长愈短，即其峰值线的波长愈短。

二、物体的微波辐射特征

物体的微波辐射与红外辐射相似，都属于热辐射范畴，也都符合热辐射定律。但微波是低温状态下物体的重要辐射特征。与其红外辐射相比具有以下区别：

1. 红外发射能量与物体温度的 4 次方成正比，所以，只要物体间的温度有微小差别，就会引起其红外发射能量的明显变化。但微波辐射则不然，物体间微波辐射的差异并不取决于其间的温度差别，而是由它们的物性差别所决定的。

2. 微波是低温状态下的物体辐射特性，物体的温度越低，其微波辐射越明显，但在常温状态下，物体的红外特征要比其微波明显得多。

3. 任何物体的微波辐射都是连续光谱，具有一系列的波长，波长不同，辐射强度也不一样。同种物体的微波波谱，具有同样的曲线形态，不同物体波谱曲线的形态特征则不同。

4. 物体对外来微波的反射强度，取决于物体的复介电常数，故如金属、人体和水面等物体的微波反射率都比较大。

5. 外来电磁波对物体有一定的穿透能力，其穿透深度与物体的导电率、导磁率和该波段电磁波的圆频率成反比。也就是说，物体的导电性能越差，入射电磁波的圆频率越小，即电磁波的波长越大，则该电磁波的透射深度越大。所以，外来的微波对金属铜、银等导电性能极好的物体没有穿透能力，其穿透系数为零，但却能穿透自然界中如冰、雪等之类的不良导体。例如，利用波长为 10cm 的微波，至少可穿透 15m 以上的冰雪层，但对铜面言，只能穿透 10^{-4}cm。所以利用微波遥感技术可探测南极洲的冰层厚度及其冰下地质地貌的特点。

第三节　大气对红外和微波辐射的影响及其大气窗口

当电磁波穿过大气层时，必然要和大气发生相互作用，受到大气的影响和干扰。由于大气的吸收和数射作用，红外和微波辐射就会被削弱甚至消失。但由于辐射性质不同，大气对其吸收和散射的作用也各有差别。

一、大气对红外辐射的影响和红外窗口

1. 大气对红外辐射的影响

大气中的气体、水滴、雪和尘埃等成分对红外线有吸收和散射作用。当红外线通过大气层时，就会被其减弱乃至消失。

(1)大气对红外线的吸收作用　大气中的水汽、二氧化碳、二氧化氮、臭氧、一氧化碳和甲烷等气体分子，对红外线有选择性吸收作用，除 16～24μ 波段间有少量的红外线可以透过外，一般波长大于 15μ 的红外线都被吸收了。在波长小于 15μ 的波段内，红外吸收带的中心波长如表 2—5 所示。

(2)大气的散射作用　大气中的各种气体分子、悬浮的微小水滴和固体微粒等，都能造成红外散射现象。其散射方式一般有两种：一是经微粒和分子吸收后再向周围散射，称之为真散射；另一种是称之为假散射，即经微粒表面向四周散射的现象。散射的强弱及其类型，与大气中散射物质的浓度、大小和性质有关。

2. 红外大气窗口

当红外线穿过大气层时，组成大气的某些成分对它有吸收和散射作用，从而使其减弱或消失。凡能大量通过大气层的那些红外线波段，称之为红外大气窗口(图 8—1)。

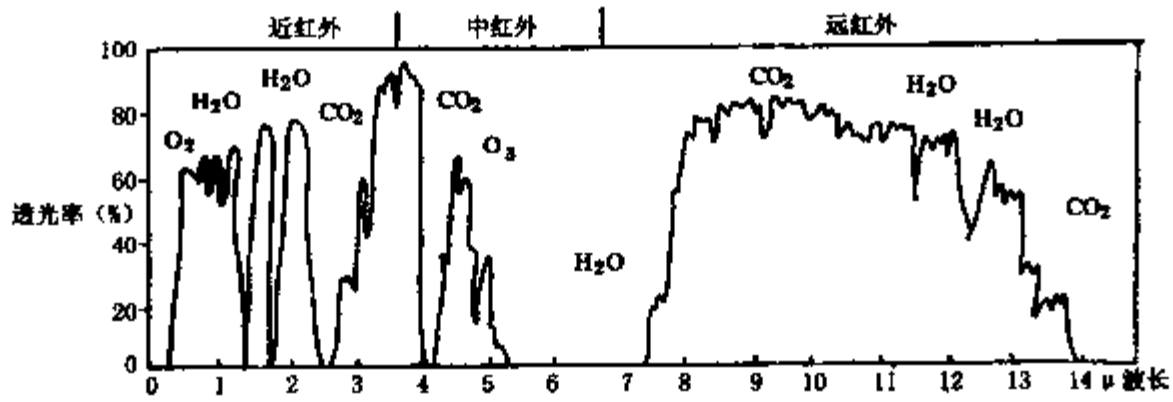


图 8—1　大气对红外线的吸收和红外大气窗口

由图 8—1 可知，2～2.5μ、3～5μ 和 8～14μ 是主要的红外大气窗口，另外，16～24μ 为半透明窗口。

由此可见，在作红外遥感工作时，必须考虑大气对红外波段的影响，根据红外窗口的波长正确地为传感器选择工作波长。否则，就难以接受到物体传来的红外波谱信息。

二、大气对微波辐射的影响与微波大气窗口

大气对微波辐射的干扰甚小，并多出现在毫米波段内。微波的波长愈长，它的大气透明度就越好。

大气对微波的散射作用很少，可忽略不计。大气中的氧和水汽分子，是对微波起吸收作用的主要因素。由子空气的密度和水汽含量都是随高度的增加面减少的，因此，氧和水汽对微波的吸收系数也随高度的增加面变小。所以，大气对微波的干扰则随高度的增加而减少。

氧对微波吸收带的中心波长为 2.53mm 和 4～6mm；水汽吸收带的中心波长是1.35 cm 和 1.6mm。吸收带之间就是微波大气窗口，其波长如表 8—2。

表 8—2　微波遥感的大气窗口

微波吸收带的中心波长	5mm(氧气)	2.53mm(氧气)	1.6mm(水汽)	1.35mm(水汽)
微波窗口中心波长	1.4mm	3.3mm	8mm	＞3cm

第四节　红外与微波辐射探测原理

红外与微波遥感，都分为主动和被动两大类型。所谓主动遥感，是指先用人工方法向被测物体发射红外线或微波，再用仪器把从被测物体反射回来的电磁波接收下来，使其转变为光信息在荧光屏上显示出地物的影像以识别被测物体。所谓被动遥感，是指用仪器被动地接收物体本身发射的红外线或微波进行成像的。目前，在红外遥感技术中广泛应用的是被动遥感系统；而微波遥感却多用主动遥感系统，即雷达。

一、红外辐射探测原理

1. 红外探测器的工作原理

红外探测器的工作原理亦可分为两大类，其一，是对 0.7～1.36μ 波段的摄影红外探测器，它的工作原理和一般航摄仪器相同(图 8—2)。

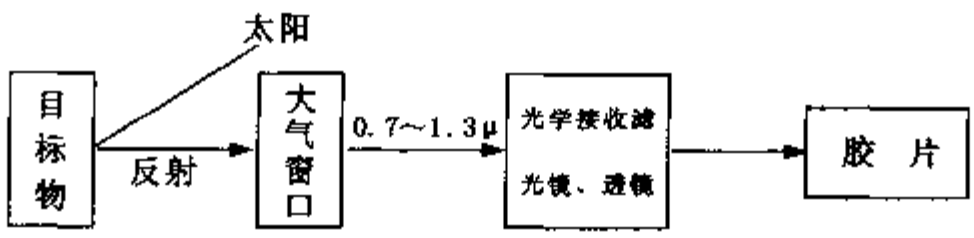


图 8—2　摄影红外工作原理示意图

对其他红外波段的探测工作较为复杂，所使用的探测器是由接集聚光系统、分光探测系统、变像管系统以及图像记录系统等组成的(图 8—3)

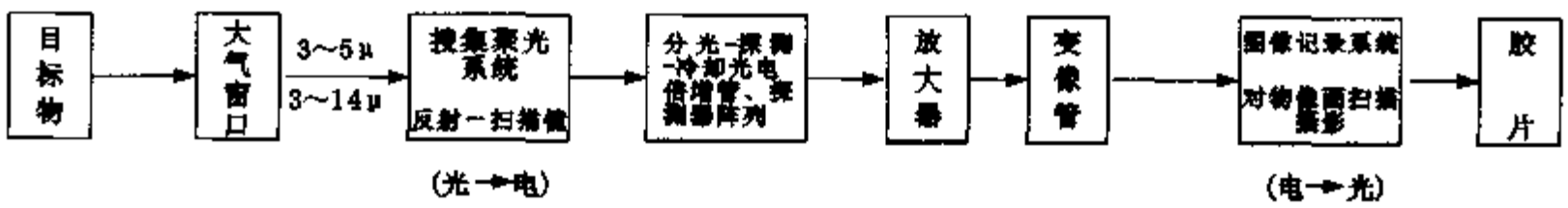


图 8—3　扫描红外工作原理示意图

2. 物体红外影像特性及其与红外辐射的关系

物体的红外影像特性是由红外辐射特性所决定的，而红外辐射特征又取决于物体的性质。一般说来，普遥黑白热红外影像的明暗色调是物体辐射温度高低的反映。物体的辐射温度越高，影像色调越明亮，反之，其辐射温度越低，影像色调则越灰暗。因此，可根据影像色调来判别物体的性质。

由于红外影像的色调与物体的温度有关，所以，地物的温度越高，产生的影像反差越大，影像越清晰。但物体温度的差别是由物体性质及其日照状况所决定的。

实践证明，有些在黎明成像的图像上是深色调、冷信息的物体，如花岗岩、页岩、泥岩、风积砂等，在中午成像的图像上却显示出了浅色调、暖信息；而在黎明成像的一些浅色调、

暖信息的水体、树林、砂岩、白云岩、玄武岩、混凝土建筑物等，却在中午成像的图像上又呈现了深色调、冷信息特征，这是物体热容量不同的缘故。

凡含水汽较多、潮湿的物体或地点，不论是在白天或晚上成像，都具有深色调、冷信息特征。

红外影像的特性除受日照影响外，还与物体的性质有关。物体性质不同，成像的最佳时段也有差别。例如，岩石和断裂以黎明时所成影像较好，有利于判别岩石类型和断裂带的制图；但若作构造解译，则以日出后两小时所成红外影像为佳；如果探究地下水露头的分布，宜在夏季和冬季进行，因为在这种季节里地下水与背景的温差较大，图像显示清楚；而若作地热调查，则以冬季最为适宜。

二、微波辐射探测原理

1. 微波传感器的工作原理

不论被动还是主动微波遥感，都是采用电子学的方法进行的。其传感器主要由天线、调制器、晶体检波器、中频或低频放大器、变像管系统和成像系统等部件组成(图 8—4)。

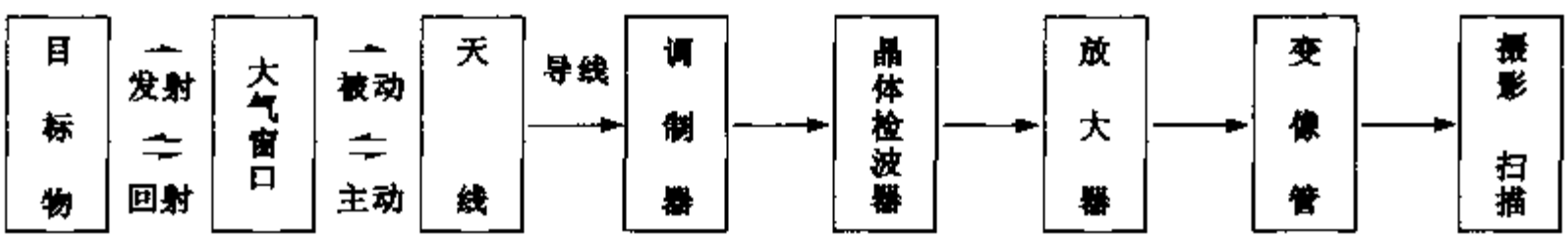


图 8—4　微波遥感工作原理示意图

目前常用的机载微波辐射计多为并列通道辐射计。在其调制器处，置有两个接收器 TC(图 8—5)，再用加法器将两路信号叠加，经低放、相检和输出等程序成像，其灵敏度可提高两倍。

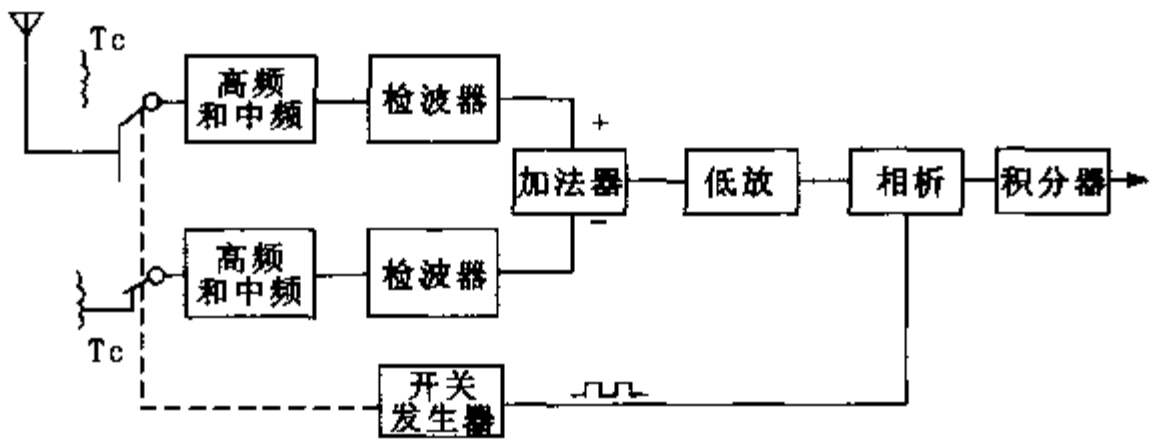


图 8—5　并列通道微波辐射计方框图

微波遥感以主动遥感为主，其工作仪器就是雷达，现在使用最广且最有发展前途的是侧视雷达，其工作原理见图 3—15。

2. 雷达的极化特性和穿透能力

雷达波在传播过程中有两个明显特性。其一，为极化或称偏振特性。如图 8—6 所示，在电磁波传播过程中有 3 个相互垂直的矢量，即传播方向、电场矢量(E)和磁场矢量(H)。一般用电场强度矢量端点的空间轨迹表示极化，把电场的方向规定为极化方向。当电磁波

的电场 E 与其入射面相垂直时，称之为水平极化；如电磁波的电场 E 平行于入射面时，谓之垂直极化。在天线工程中，常以水平面为准，电场矢量与地面垂直的，为垂直极化；电场矢量与地面平行的，是水平极化。

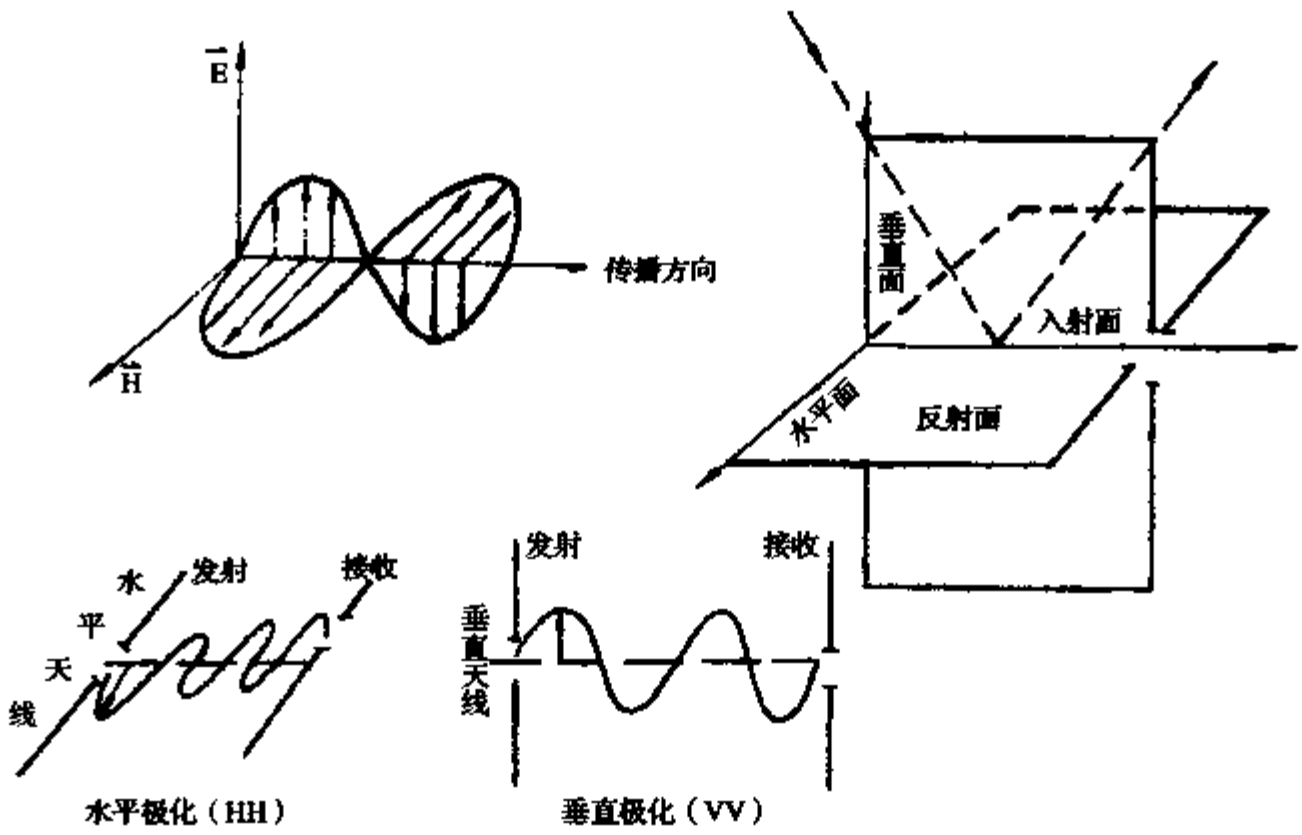


图 8—6　侧视雷达的水平极化和垂直极化示意图

如果雷达所发射和吸收的都是水平极化电磁波，则称为同极化，用 HH 表示；若其发射的是水平极化电磁波，而接收的却是垂直极化电磁波，则谓交叉极化，用 HV 表示。HV 极化往往能得到比 HH 极化更好的效果。

雷达波的另一个特征，就是具有一定的透射能力。美国宇宙飞船阿波罗号携带的合成孔径雷达用 15MHz 和 5MHz 的频率，分别测得月球上 200m、800m 和 1 300m 的土壤厚度。在没有植被覆盖的地面处，雷达的穿透深度可从式 5—5 求得。

雷达的穿透深度还与物体的性质有关(图 5—3)，尤其是受地物湿度的影响很大。对湿度大的地区，穿透深度很浅，往往只有几厘米到几米；若在干沙条件下，穿透深度可达几十米甚至可达百米左右。例如对砂岩、页岩的穿透能力比对灰岩、白云岩的穿透能力大；对岩石的穿透能力大于对矿床的穿透能力；对淡水的穿透能力又比对海水的穿透能力大。

第五节　红外及微波遥感图像的解译

红外及微波遥感图像的解译标志，仍然是其色调和形态特征，解译方法虽与可见光和多波段图像的解译类同，但也有其独特之处。

一、红外遥感图像的解译

在红外图像上，地物影像是其辐射温度的反映，地物的辐射温度又是多种因素共同作用的结果。与可见光和多波段所成图像相比，红外图像具有地物形态轮廓模糊、图形大小失真、阴影持续时间长和多靠背景相关关系进行识别的特点，但仍以色调和形态为其解译

标志。

1. 红外图像上物体的色调特征

红外影像的色调差别，实际上是地物辐射温度的差别。所以红外图像上灰阶所反映的不是地物对可见光的反射程度，而是其辐射温度。因此，红外图像的灰阶，就是地物辐射温度等级的划分。经地面试验，有人把红外图像上的色调分为0～9十个等级，并把0级灰阶定为代表最冷信息的黑色；9级灰阶定为白色，代表最暖信息。

2. 红外图像上物体的形态特征

红外图像上物体的形态，是以不同部位具不同色调的总体所构成的图形，与可见光和多波段图像相比，只能生成轮廓模糊的形状。所以，在解译时就是根据图像上所反映的深浅不同冷暖信息色调的模糊轮廓，来识别物体性质的。因此，红外遥感图像只能用作对物体的解译，不能用作对物体的制图。

为了提高对红外图像解译的精确度，应当在成像的同时或成像前后对被测物体的分布位置及其辐射温度与发射率等进行地面实况调查，以作为建立红外影像解译标志的依据。

二、微波遥感图像的解译

微波遥感图像的解译标志，仍然以色调和形态为主。

1. 微波遥感图像的色调

微波遥感图像的色调特征，是物体的微波辐射与热辐射特征的反映。

对被动微波遥感影像来说，其色调是地物热辐射特征的记录。在黑白微波遥感图像上，其色调与辐射温度的关系和红外影像相似。凡辐射温度越高，微波辐射越强的物体，影像色调就越浅。若物体的辐射温度相同，其影像色调也一样。也就是说，不同色调所代表的是不同的辐射温度。

侧视雷达遥感图像上所反映的色调，是被测物体回射到雷达接收器上的电磁波强度，它是由雷达系统和地面特征两种因素所决定的。雷达系统因素包括雷达使用的波长、侧视雷达的俯角、运载工具的航高和雷达波的根化状况；地面特征因素是指地表粗糙度、坡向、坡度和被测物体的复介电常数。

2. 微波遥感图像的形态特征

物体的形态、大小和阴影是雷达图像十分重要的解译标志，不同物体的形态特征在侧视雷达影像上显示得非常清楚。所以，影像轮廓清晰且富有立体感是侧视雷达影像的最大特点。

主要参考文献

陈述彭　遥感在我国国民经济中的应用　1984 年

吕斯骅　遥感物理基础　商务印书馆　1981 年

卢国铭等　遥感技术基础　科学出版社　1984 年

朱亮璞等　遥感图像地质解译教程　地质出版社　1987 年

龚家龙等　环境遥感技术简介　科学出版社　1980 年

《遥感概论》编写组　遥感概论　高等教育出版社　1985 年

中国科学院地理研究所编制　陆地卫星像片集　科学出版社　1982 年

[美]F·F 萨宾著　遥感原理及其解译　地质出版社　1982 年

[日]日本遥感研究会编　遥感原理概要　科学出版社　1981 年

周淑贞等　气象学与气候学　高等教育出版社　1984 年

中山大学等　自然地理学　人民教育出版社　1978 年

中国科学院《中国自然地理》编辑委员会　中国自然地理:地貌　科学出版社　1981 年

杨景春　地貌学教程　高等教育出版社　1985 年

[General Information]
书名=遥感地理学
作者=
页数=224
SS号=0
出版日期=
Vss号=73485954