

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

遥感概论

 **BOOK**
网络图书 学校专集

第一章 绪论

遥感技术是 20 世纪 60 年代兴起并迅速发展起来的一门综合性探测技术。它是在航空摄影测量的基础上，随着空间技术、电子计算机技术等当代科技的迅速发展，以及地学、生物学等学科发展的需要，发展形成的一门新兴技术学科。从以飞机为主要运载工具的航空遥感，发展到以人造地球卫星、宇宙飞船和航天飞机为运载工具的航天遥感，大大地扩展了人们的观察视野及观测领域，形成了对地球资源和环境进行探测和监测的立体观测体系；使地理学的研究和应用进入到一个新阶段。

第一节 遥感概述

一、遥感的概念及特点

遥感 (Remote Sensing)，从广义上说是泛指从远处探测、感知物体或事物的技术。即不直接接触物体本身，从远处通过仪器（传感器）探测和接收来自目标物体的信息（如电场、磁场、电磁波、地震波等信息），经过信息的传输及其处理分析，识别物体的属性及其分布等特征的技术。

通常遥感是指空对地的遥感，即从远离地面的不同工作平台上（如高塔、气球、飞机、火箭、人造地球卫星、宇宙飞船、航天飞机等）通过传感器，对地球表面的电磁波（辐射）信息进行探测，并经信息的传输、处理和判读分析，对地球的资源与环境进行探测和监测的综合性技术。

当前遥感形成了一个从地面到空中，乃至空间，从信息数据收集、处理到判读分析和应用，对全球进行探测和监测的多层次、多视角、多领域的观测体系，成为获取地球资源与环境信息的重要手段。

遥感在地理学中的应用，进一步推动和促进了地理学的研究和发展，使地理学进入到一个新的发展阶段。

遥感有如下主要特点：

1. 感测范围大，具有综合、宏观的特点。

遥感从飞机上或人造地球卫星上，居高临下获取的航空像片或卫星图像，比在地面上观察视域范围大得多。又不受地形地物阻隔的影响，景观一览无余，为人们研究地面各种自然、社会现象及其分布规律提供了便利的条件。

例如，航空像片可提供不同比例尺的地面连续景观像片，并可供像对的立体观测。图像清晰逼真，信息丰富。一张比例尺 1:35000 的 23cm × 23cm 的航空像片，可展示出地面 60 余平方千米范围的地面景观实况。并且可将连续的像片镶嵌成更大区域的像片图，以便总观全区进行分析和研究。卫星图像的感测范围更大，一幅陆地卫星 TM 图像可反映出 34225 平方千米（即 185km × 185km）的景观实况。我国全境仅需 500 余张这种图像，就可拼接成全国卫星影像图。因此，遥感技术为宏观研究各种现象及其相互关系，诸如区域地质构造和全球环境等问题，提供了有利条件。

2. 信息量大，具有手段多，技术先进的特点。

遥感是现代科技的产物，它不仅能获得地物可见光波段的信息，而且可以获得紫外、红外，微波等波段的信息。不但能用摄影方式获得信息，而且还可以用扫描方式获得信息。遥感所获得的信息量远远超过了用常规传统方法所获得的信息量。这无疑扩大了人们的观测范围和感知领域，加深了对事物和现象的认识。

例如，微波具有穿透云层、冰层和植被的能力；红外线则能探测地表温度的变化等。因而遥感使人们对地球的监测和对地物的观测达到多方位和全天候。

3. 获取信息快，更新周期短，具有动态监测特点。

遥感通常为瞬时成像，可获得同一瞬间大面积区域的景观实况，现实性好；而且可通过不同时相取得的资料及像片进行对比、分析和研究地物动态变化的情况（版图 3），为环境监测以及研究分析地物发展演化规律提供了

基础。

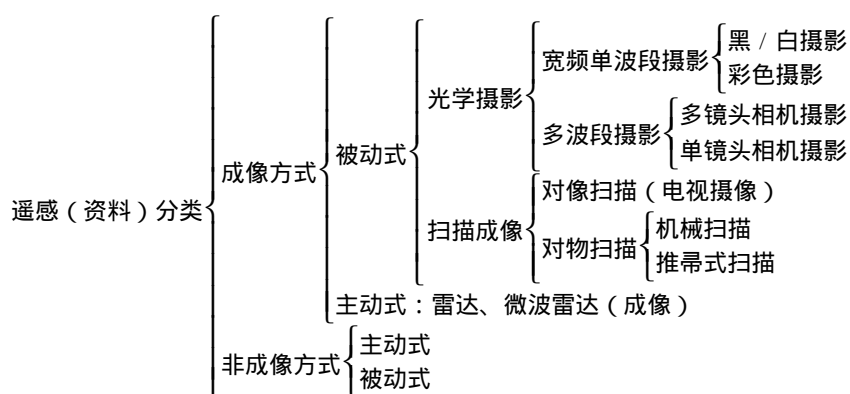
例如，陆地卫星 4/5 每 16 天即可对全球陆地表面成像一遍，气象卫星甚至可每天覆盖地球一遍。因此，可及时地发现病虫害、洪水、污染、火山和地震等自然灾害发生的前兆，为灾情的预报和抗灾救灾工作提供可靠的科学依据和资料。

此外，遥感还具有用途广，效益高的特点。遥感已广泛应用于农业、林业、地质矿产、水文、气象、地理、测绘、海洋研究、军事侦察及环境监测等领域，深入到很多学科中，应用领域在不断扩展。而遥感成果获取的快捷以及所显示出的效益，则是传统方法不可比拟的。遥感正以其强大的生命力展现出广阔的发展前景。

二、遥感的分类

由于分类标志的不同，遥感的分类有多种。如按遥感工作平台（即运载工具）的不同，可分为地面遥感（或近地遥感）、航空遥感、航天遥感；按探测电磁波的工作波段分类，可分为可见光遥感、红外遥感、微波遥感等；按遥感应用目的不同，又可分为环境遥感、农业遥感、林业遥感、地质遥感、海洋遥感等等。根据遥感资料的记录方式和传感器工作方式，又可作下列分类（表 1-1）。

表 1-1 遥感（资料）的分类



成像方式(或称图像方式)就是将所探测到的强弱不同的地物电磁波辐射(反射或发射)，转换成深浅不同的(黑白)色调构成直观图像的遥感资料形式，如航空像片、卫星图像等。非成像方式(或非图像方式)则是将探测到的电磁辐射(反射或发射)，转换成相应的模拟信号(如电压或电流信号)或数字化输出，或记录在磁带上而构成非成像方式的遥感资料。如陆地卫星 CCT 数字磁带等。

主动式遥感或被动式遥感则是按传感器工作方式的不同所作的分类。所谓主动式是指传感器带有能发射讯号(电磁波)的辐射源，工作时向目标物发射，同时接收目标物反射或散射回来的电磁波，以此所进行的探测。被动式遥感则是利用传感器直接接收来自地物反射自然辐射源(如太阳)的电磁辐射或自身发出的电磁辐射，而进行的探测。

光学摄影亦指通常的摄影，即将探测接收到的地物电磁波依据深浅不同的色调直接记录在感光材料上。扫描方式是将所探测的视场(或地物)划分为面积相等顺序排列的像元，传感器则按顺序以每个像元为探测单元记录其电磁辐射强度，并经转换、传输、处理，或转换成图像显示在屏幕或胶片上，

或制成扫描数字产品。

遥感分类尽管很多，但依照其分类标志的不同，即可了解不同的遥感分类系统。

三、遥感过程及其技术系统

遥感过程是指遥感信息的获取、传输、处理，以及分析判读和应用的全过程。它包括遥感信息源（或地物）的物理性质、分布及其运动状态；环境背景以及电磁波光谱特性；大气的干扰和大气窗口；传感器的分辨能力、性能和信噪比；图像处理及识别；以及人们的视觉生理和心理及其专业素质等等。因此，遥感过程不但涉及到遥感本身的技术过程，以及地物景观和现象的自然发展演变过程，还涉及到人们的认识过程。这一复杂过程当前主要是通过地物波谱测试与研究，数理统计分析，模式识别，模拟试验方法，以及地学分析等方法来完成。遥感过程实施的技术保证则依赖于遥感技术系统。

遥感技术系统是一个从地面到空中直至空间；从信息收集、存贮、传输处理到分析判读、应用的完整技术体系。它主要包括以下四部分。

（一）遥感试验

其主要工作是对地物电磁辐射特性（光谱特性）以及信息的获取、传输及其处理分析等技术手段的试验研究。

遥感试验是整个遥感技术系统的基础，遥感探测前需要遥感试验提供地物的光谱特性，以便选择传感器的类型和工作波段；遥感探测中以及处理时，又需要遥感试验提供各种校正所需的有关信息和数据。遥感试验也可为判读应用提供基础。遥感试验在整个遥感过程中起着承上启下的重要作用。

（二）遥感信息获取

遥感信息获取是遥感技术系统的中心工作。遥感工作平台以及传感器是确保遥感信息获取的物质保证。

遥感（工作）平台是指装载传感器进行遥感探测的运载工具，如飞机、人造地球卫星、宇宙飞船等。按其飞行高度的不同可分为近地（面）工作平台，航空平台和航天平台。这三种平台各有不同的特点和用途，根据需要可单独使用，也可配合启用，组成多层次立体观测系统。各种平台如图 1-1 所示。

传感器是指收集和记录地物电磁辐射（反射或发射）能量信息的装置，如航空摄影机、多光谱扫描仪等。它是信息获取的核心部件，在遥感平台上装载上传感器，按照确定的飞行路线飞行或运转进行探测，即可获得所需的遥感信息。

（三）遥感信息处理

遥感信息处理是指通过各种技术手段对遥感探测所获得的信息进行的各种处理。例如，为了消除探测中各种干扰和影响，使其信息更准确可靠而进行的各种校正（辐射校正、几何校正等）处理，为了使所获遥感图像更清晰，以便于识别和判读，提取信息而进行的各种增强处理等。为了确保遥感信息应用时的质量和精度，以及为了充分发挥遥感信息的应用潜力，遥感信息处理是必不可少的。

（四）遥感信息应用

遥感信息应用是遥感的最终目的。遥感应用则应根据专业目标的需要，

选择适宜的遥感信息及其工作方法进行，以取得较好的社会效益和经济效益。

遥感技术系统是个完整的统一体。它是建筑在空间技术、电子技术、计算机技术以及生物学、地学等现代科学技术的基础上的，是完成遥感过程的有效技术保证。

第二节 遥感发展概况及其展望

一、遥感发展概况

“Remote Sensing”（遥感）一词首先是由美国海军科学研究部的布鲁依特（E·L·Pruitt）提出来的。60年代初在由美国密执安大学等组织发起的环境科学讨论会上正式被采用，此后“遥感”这一术语得到科学技术界的普遍认同和接受，而被广泛运用。而遥感的渊源则可追溯到很久远以前，其发展可大致分为二大时期。

（一）遥感的萌芽及其初期发展时期

如果说人类最早的遥感意识是懂得了凭借人的眼、耳、鼻等感觉器官来感知周围环境的形、声、味等信息，从而辨认出周围物体的属性和位置分布的话，那末，人类自古以来就在想方设法不断地扩大自身的感知能力和范围。古代神话中的“千里眼”、“顺风耳”即是人类这种意识的表达和流露，体现了人们梦寐以求的美好幻想。1610年意大利科学家伽利略研制的望远镜及其对月球的首次观测，以及1794年气球首次升空侦察，可视为是遥感的最初尝试和实践。而1839年达格雷（Daguerre）和尼普斯（Niepce）的第一张摄影影片的发表则是遥感成果的首次展示。

随着摄影术的诞生和照相机的使用，以及信鸽、风筝及气球等简陋平台的应用，构成了初期遥感技术系统的雏形。空中像片的魅力，得到更多人的首肯和赞许。1903年飞机的发明，以及1909年怀特（Wilbur·Wright）第一次从飞机上拍摄意大利西恩多西利（Cenocelli）地区空中像片，从此揭开了航空摄影测量——遥感初期发展的序幕。

在第一次进行航空摄影以后，1913年，开普顿·塔迪沃（Captain·Tardivo），发表论文首次描述了用飞机摄影绘制地图的问题。第一次世界大战的爆发，使航空摄影因军事上的需要而得到迅速的发展，并逐渐发展形成了独立的航空摄影测量学的学科体系。其应用进一步扩大到森林、土地利用调查及地质勘探等方面。

随着航空摄影测量学的发展及其应用领域的扩展，特别是第二次世界大战爆发军事上的需要，以及科学技术的不断进展，使彩色摄影、红外摄影、雷达技术及多光谱摄影和扫描技术相继问世，传感器的研制得到迅速的发展，遥感探测手段取得了显著的进步。从而超越了航空摄影测量只记录可见光谱段的局限，向紫外和红外扩展，并扩大到微波。同时，运载工具以及判读成图设备等也都得到相应的完善和发展。随着科学技术的飞跃发展，遥感迎来了一个全新的现代遥感的发展时期。

（二）现代遥感发展时期

1957年10月4日前苏联发射了人类第一颗人造地球卫星，标志着遥感新时期的开始。1959年前苏联宇宙飞船“月球3号”拍摄了第一批月球像片。60年代初人类第一次实现了从太空观察地球的壮举，并取得了第一批从宇宙空间拍摄的地球卫星图像。这些图像大大地开拓了人们的视野，引起了广泛关注。随着新型传感器的研制成功和应用、信息传输与处理技术的发展，美国在一系列试验的基础上，于70年代初（1972.7.23）发射了用于探测地球资源和环境的地球资源技术卫星“ERTS-1”（即陆地卫星-1）。为航天遥感的发展及广泛应用，开创了一个新局面。

至今世界各国共发射了各种人造地球卫星已超过 3000 颗,其中大部分为军事侦察卫星(约占 60%),用于科学研究及地球资源探测和环境监测的有气象卫星系列、陆地卫星系列、海洋卫星系列、测地卫星系列、天文观测卫星系列和通讯卫星系列等。通过不同高度的卫星及其载有的不同类型的传感器,不间断地获得地球上的各种信息。现代遥感充分发挥航空遥感和航天遥感的各自优势,并融合为一个整体,构成了现代遥感技术系统。为进一步认识和研究地球,合理开发地球资源和环境,提供了强有力的现代化手段。

现代遥感技术的发展引起了世界各国的普遍重视,遥感应用的领域及应用的深度在不断扩大和延伸,取得了丰硕的成果和显著的经济效益。国际学术交流日益频繁,遥感的发展方兴未艾,前景远大。

当前,就遥感的总体发展而言,美国在运载工具、传感器研制、图像处理、基础理论及应用等遥感各个领域(包括数量、质量及规模上)均处于领先地位,体现了现今遥感技术发展的水平。前苏联也曾是遥感的超级大国,尤其在其运载工具的发射能力上,以及遥感资料的数量及应用上都具有一定的优势。此外,西欧、加拿大、日本等发达国家也都在积极地发展各自的空间技术,研制和发射自己的卫星系统,例如法国的 SPOT 卫星系列,日本的 JERS 和 MOS 系列卫星(版图 2)等。许多第三世界国家对遥感技术的发展也极为重视,纷纷将其列入国家发展规划中,大力发展本国的遥感基础研究和应用,如中国、巴西、泰国、印度、埃及和墨西哥等,都已建立起专业化的研究应用中心和管理机构,形成了一定规模的专业化遥感技术队伍,取得了一批较高水平的成果,显示出第三世界国家在遥感发展方面的实力及其应用上的巨大潜力。

纵观遥感近 30 年来的发展,总的看来,当前遥感仍处于从实验阶段向生产型和商业化过渡的阶段,在其实时监测处理能力、观测精度及定量化水平,以及遥感信息机理、应用模型建立等方面仍不能或不能完全满足实际应用要求。因此,今后遥感的发展将进入一个更为艰巨的发展历程,为此需要各个学科领域的科技人员协同努力,深入研究和实践,共同促进遥感的更大发展。

二、我国遥感发展概况及其特点

我国国土辽阔,地形复杂,自然资源丰富。为了清查和掌握我国土地、森林、矿产、水利等自然资源,更好地配合国家建设。我国对遥感的发展一直给予重视和支持。

50 年代,我国就组织了专业飞行队伍,开展了航空摄影和应用工作。60 年代,我国航空摄影工作已初具规模,完成了我国大部分地区的航空摄影测量工作,应用范围不断扩展。有关院校设立了航空摄影专业或课程。培养了一批专业人材,专业队伍得到巩固和发展,为我国遥感事业的发展打下了基础。

70 年代,随着国际上空间技术和遥感技术的发展,我国的遥感事业迎来了一个新的发展时期。70 年代初(1970.4.24)我国成功地发射了第一颗人造地球卫星。继而,1975 年 11 月 26 日我国发射的卫星在正常运行之后,按计划返回地面,并获得了质量良好、清晰的卫星像片。随着美国陆地卫星图像以及数字图像处理系统等遥感资料 and 设备的引进,特别是我国经济建设的恢复和发展需要,80 年代遥感事业在我国空前地活跃起来。经 80 年代及 90 年代初的发展,我国相继完成了从单一黑白摄影向彩色、彩红外、多波段

摄影等多手段探测的航空遥感的转变；特别是数项大型综合遥感试验和遥感工程的完成，使我国遥感事业得到长足的发展，大大缩短了与世界先进水平的差距，有些项目已进入世界先进水平行列。我国遥感事业的发展前途似锦。

总观我国近年来遥感的发展，体现出以下主要特点：

1. 国家的重视和支持，以及实行集中统一领导和统一规划，为遥感的快速发展奠定了基础。

我国遥感的发展起步较晚，在 70 年代初期和中期，仍明显地表现出部门自发的积极性上，以及低水平的重复等初期发展的特点。为此，国家科委组织了全国性的调研，并在此基础上组织筹建了全国遥感协调领导组织，继而发展成立了国家遥感中心，集中领导及协调了全国的遥感发展，编制了我国遥感发展的中远期规划，确定了近期主攻的目标。与此同时，国家在 80—85 年度第六个五年计划（六五）中，将遥感列入国家重点科技攻关课题，给予重点的支持，为遥感及时步入正轨以及快速的发展奠定了基础。

2. 集中人力、物力进行科技攻关，重点突破，为缩短我国与国际遥感先进水平的差距，赶超国际先进水平打下了基础。

在 80—85 年期间，国家安排了传感器研制、图像处理、基础理论及应用研究等四个领域，近百个专题进行攻关研究和开发。集中投入了资金和使用了国际援助的项目经费，集结了全国一部分科技人员经过 5 年的科技攻关，所取得的效益是明显的。即不但大大缩短了与国际遥感先进水平的差距，而且，在个别应用领域赶上了国际先进水平，形成了我国独具特色的遥感事业。

在 85—90 年期间，遥感技术开发与应用继续被列入国家重点科技攻关项目，并在高空机载遥感系统的研制及配套，多种遥感数据的综合分析方法研究，资源与环境信息系统（即 GIS）的开发以及遥感技术在黄土高原和“三北”防护林调查的应用等五个课题进行了协作攻关研究，共取得 102 项研究成果，其中重大成果 55 项，使我国遥感发展得到了长足的进步，促进和推动了我国遥感由实验研究阶段向实用生产型转化的进程。

通过科技攻关，我国遥感技术的发展能力已全面形成，遥感专业队伍得到进一步的锻炼和壮大，我们已完全有能力对遥感的世界性前沿课题进行自主开发研究。

3. 全国性、大区域遥感工程的实施完成，充分显示出我国遥感的特色和水平。

我国疆域辽阔，自然环境复杂，为开展遥感的实验研究，提供了优越的环境条件。我国又是一个发展中国家，经济建设和发展急需遥感在提供及时准确的各种资源与环境信息方面发挥作用。这些无疑为我国遥感的发展，创造了良好的条件。因此，我国在遥感起步之初即紧紧围绕着为国民经济建设服务这一宗旨开展工作，并先后组织实施了几项大型或跨省区大区域的遥感工程。例如，北京大学等高校完成的山西省农业资源遥感综合调查，以及内蒙古草场资源遥感调查；以中国科学院系统为主要力量完成的黄土高原遥感综合调查，及“三北”防护林遥感综合调查等。这些调查的完成不但为区域的治理开发及规划提供了重要科学依据，而且在遥感技术的应用方法方面取得重大成果和重要进展，产生明显的社会效益。充分显示了我国遥感的特色，以及我国在遥感应用方面的水平。

90 年代及今后我国遥感发展的前景将更为广阔，90—95 年期间，国家重点科技攻关项目的遥感课题“自然灾害监测与评估和主要作物估产运行系统

的设计实验”的实施和运作；我国将积极参与的地球系统全球宏观综合研究工作；以及进行广泛的国际学术交流合作等，将进一步证明我国在遥感技术领域具有参与国际竞争，自立于世界民族之林的能力。

三、当前遥感发展主要特点与展望

随着遥感技术的发展，获取地球环境信息的手段越来越多，信息越来越丰富。因此，为了充分利用这些信息，建立全面收集、整理、检索以及科学管理这些信息的空间数据库和管理系统，加快进行遥感信息机理研究，研制定量分析模型及实用的地学模型，进行多种信息源的信息复合及环境信息的综合分析等，构成了当前遥感发展的前沿研究课题。这些问题解决和研究进展的程度，将关系到遥感技术与应用从实验阶段向生产商品化阶段转化的进程，构成了今后遥感发展的主要趋向。当前遥感发展的特点主要表现在以下几个方面：

（一）新一代传感器的研制，以获得分辨率更高，质量更好遥感图象和数据

随着遥感应用的广泛和深入，对遥感图像和数据的质量提出了更高的要求，其空间分辨率，光谱分辨率及时相分辨率的指标均有待进一步地提高。当前，多波段扫描仪已从机械扫描，发展到电荷耦合器件（CCD）的推帚式扫描，空间分辨率从80米增高到20米，个别可达10米；还有的能获取三维空间的数据（SPOT卫星）。另外，成像光谱仪的问世及实际应用，不但提高了光谱分辨率（波段增多，变窄），而且为研究信息形成机制，定量分析提供了基础。

当前，星载主动式（微波）遥感的发展，引起了人们的注意，如成像雷达、激光雷达等的发展，使探测手段更趋多样化。获取多种信息，适应遥感不同应用需要，是传感器研制方面的又一动向和进展。

总之，不断提高传感器的功能和性能指标，开拓新的工作波段，研制新型传感器，提高获取信息的精度和质量，将是今后遥感发展的一个长期任务和发展方向。

（二）遥感应用不断深化

在遥感应用的深度和广度不断扩展的情况下，微波遥感应用领域的开拓，遥感应用成套技术的发展，以及地球系统的全球综合研究等成为当前遥感发展的又一动向。具体表现为，从单一信息源（或单一传感器）的信息（或数据）分析向多种信息源的信息（包括非遥感信息）复合及综合分析应用发展；从静态分析研究向多时相的动态研究，以及预测预报方向发展；从定性判读、制图向定量分析发展；从对地球局部地区及其各组成部分的专题研究向地球系统的全球综合研究方向发展。

因此，在社会日益对遥感应用提出更高要求的现实情况下，为了充分利用遥感及非遥感手段获得的丰富地理信息，从而促成和推动了地理信息系统（GIS）的发展以及推动了遥感与地理信息系统的结合。

（三）地理信息系统的发展与支持是遥感发展的又一进展和动向地理信息系统（GIS）是60年代初发展起来的一种新技术，它是以地理分析和应用为目标，在计算机软、硬件支持下，进行地理空间信息（或数据）的输入存贮，查询检索，分析处理及输出显示的技术系统，地理信息系统（GIS）是一种管理和分析空间数据的有效工具。因此，由遥感手段获取的丰富信息资源

有赖于地理信息系统 (GIS) 加以科学地管理, 遥感的应用亦有赖于信息系统提供多种信息源 (非遥感信息) 进行信息复合及其综合分析, 以提高遥感识别分类的精度, 遥感的定量分析更需信息系统提供应用模型, 以及专家系统的支持等。因此, 可以说, 地理信息系统是遥感的进一步发展和延伸, 成为遥感从实验阶段向生产型商品化转化历程中的又一新进展, 成为当前遥感发展的又一个新动向。

第三节 遥感在地理学中的作用和意义

长期以来，地理学主要是以地图作为地理信息存贮及成果展示的工具，以地图和实地观测作为地理研究的主要手段。随着当前科学技术和社会的迅速发展，单纯传统的工作手段已不能适应地理学的发展，遥感技术的引进和应用，成为当前地理学发展中具有重要意义的变化和动向之一。

一、遥感已成为地理研究和工作的重要信息源

长期以来，地理学主要是依靠实地观测获得地理研究的第一手（信息）资料。这种传统的手段，无论在其提供信息的数量上，还是在其质量上，以及信息的实时及时性等方面，都不能适应或不能满足当前地理学发展，以及迅速发展的新形势的需要，遥感的引入及在地理学中的应用，使地理学增加了一种获取信息的现代化手段。

遥感能迅速及时地获取大量准确客观的地理信息，在获取信息的实时及时性上以及信息的准确客观性上，传统方法是无法比拟的。遥感信息的准确客观性表现在客观准确地记录了地表地物的电磁波辐射（反射和发射）特征，客观实时地反映出地表景观的实况。例如，作为展现遥感信息的遥感图像，可真实形象地反映地物分布的现状，地物或现象间的相互关系，以及地物间相互影响变化的情况。因此，遥感手段的引入，为地理学的区域综合分析，区域动态分析的进一步深入研究，以及提高成果的实际应用价值和效益提供了便利和基础。

遥感在提供及时、准确信息上，即可提供可见光波段的信息，又可提供红外、紫外、微波波段的信息以及多波段信息；可提供图像形式的信息，又可提供模拟或数字化的数据信息；不但能获得实时的二维平面信息，又能得到三维空间信息等等。从而使所获地理信息形成多层次、多方式、多侧面全方位，大大拓宽了地理研究的广度和深度，为当今地理学的发展开辟了道路。

基于遥感信息所具有的难以替代的特点和优越性，遥感信息已成为地理研究和工作的重要信息来源。但是，在应用遥感信息时，一定要根据地理研究工作的目的任务，选择适宜的遥感信息，并注意与其它非遥感信息的相互配合应用，以充分发挥遥感信息在地理研究中的作用，提高地理研究成果的社会经济效益。

二、遥感已成为地理研究的重要手段和方法

以往地理学传统的工作方法常是从点、线实地观测入手，从点线逐渐过渡到区域面上的分析研究。现今，由于遥感信息的应用，则可首先从面上区域分析研究入手，然后有重点地选择若干点线进行野外验证和检查。这样，不仅大大减少了实地观测的野外工作量，节省了人力财力，提高了效率，而且也提高了研究工作的精度和质量。

地理学研究的核心是地理区域分析，只有通过地理分析才能了解和掌握各个自然要素和人文要素间的关系，以及它们的相互影响及其转化演变的规律，从而揭示区域的特征，提出改造利用的前景。地理分析的前提是地理信息，只有建筑在大量丰富准确的地理信息基础上，地理分析才具有意义，才有实际价值。当前遥感信息作为现代地理学进行地理学分析的重要信息源，不但为地理分析提供了基础，同时也为地理分析从定性到定量，从静态到动

态，从过程到模式的转化和发展，提供了条件，从而为地理学研究开拓了一个新的更为广阔的领域。

当前，作为地理学和现代科技相结合产物的地理信息系统(GIS)的兴起及应用推动和加速了地理学的发展。地理信息系统不仅是一种存贮和管理空间数据、地理信息的有效工具和手段，也是地理学进行区域分析及综合分析的重要手段和工具。遥感作为地理信息系统的重要信息源和强有力的信息更新手段，使地理信息系统的活力和应用大为增强。同时地理信息系统也为遥感提供各种有用的辅助信息和分析手段等支持，提高了遥感信息的识别和分类精度，为遥感的应用和发展提供了一个良好的环境。因此，在现代地理学的科学园地中并蒂开放的两枝科技奇葩——遥感技术和地理信息系统，它们的相互结合及相互支持，必然为地理学科学园地增光添彩，为地理学的发展一展宏图伟业。

第四节 遥感的应用

遥感技术自本世纪 60 年代初兴起并迅速得到发展以来,遥感应用的领域在不断地扩展。遥感应用从其内容上可概括为资源调查与应用、环境监测评价、区域分析规划,及全球宏观研究四大领域。

一、遥感在资源调查方面的应用

遥感在资源调查中可发挥很大的作用,特别在自然资源调查中,近年来做了很多工作,取得了丰硕的成果和可观的效益。其主要表现在国民经济建设中的农业、林业、地质矿产及水利建设等部门中。

(一) 在农业、林业方面的应用

遥感在农林方面的应用主要是在农、林土地资源调查、土地利用现状调查、农林病虫害、土壤干旱、盐化、沙化的调查及监测,以及农作物长势的监测与估产、森林资源的清查等方面。近年来,在牧场草场资源调查、短中期农林灾害、农用水资源,以及野生动物生态环境调查等方面也相继开展工作,取得了成果。

遥感在土地资源与土壤调查中,得到广泛应用。遥感加快了调查工作的进度,工作精度、质量也有很大提高。例如,我国利用 560 幅陆地卫星图像,仅用两年时间完成了全国 15 种土地利用类型的分析和量算统计工作,提供了全国和分省的土地利用基本数据和有关图件。

作物估产是体现遥感在农业方面综合应用的最好例证。自 1974 年以来,美国、前苏联、阿根廷、中国、日本、印度等国先后进行了不同范围、不同作物的估产工作。美国对世界小麦产量的估产精度已达 90%以上,并扩大到对玉米、大豆等八种以上作物的估产。我国于 1983—1986 年在京津冀进行跨省市的统一网络较大范围冬小麦遥感估产试验,精度也超过 90%。

遥感在林业上的应用也很广泛。例如,我国近年完成的“三北”防护林遥感综合调查。在包括西北大部、华北北部和东北西北部总面积为 128 万平方公里的“三北”造林一期工程的调查中,完成了对现有防护林类型、分布、面积和保存率;草地数量、质量和分布;土地资源类型、分布、数量及利用现状的调查。提供了 200 余幅各类遥感专题系列图,并建成了全区资源与环境信息系统,为掌握防护林区现状、林区的进一步发展和规划奠定了基础。

(二) 在地质矿产方面的应用

遥感在地质及其矿产资源方面的应用主要表现在基础地质工作、矿产地质工作,以及工程地质、地震地质、灾害地质的地质综合调查等方面的应用。遥感已成为地质矿产调查研究中的一种先进工作手段和重要方法。

遥感图像视域宽阔,客观真实地反映出各种地质现象及其相互间的关系,形象地反映出区域地质构造,以及区域构造间的空间关系,为跨区域甚至全球的区域地质研究提供了极有利的条件和基础。例如近年来对雅鲁藏布江深断裂带的延伸和走向的研究、郯庐断裂的延伸和走向问题的论证,以及重新修编的 1:400 万中国构造体系图的工作,都是建立在遥感图像基础上的新的认识和发现的体现,解决了一些地质学界长期争论或按常规很难解决的问题。遥视为持不同学术观点的地质学者提供了一个可共同参照的基础,推动和促进了地质学的发展。

遥感在矿产地质工作中的应用已取得许多成果,获得了一致的好评。例

如，我国地矿系统采用遥感地质调查方法，在小秦岭金矿田地区划分出线性构造 1030 条，环形构造 138 个，古采峒 1000 余处；综合化探、物探成果提出 13 个远景地段。经检查发现含金石英脉带、蚀变构造带 22 条，已见金矿 3 处，全部工作仅历时一年时间。又如：煤田总公司在东北大兴安岭西坡，采用遥感地质方法圈定出 17 个含煤盆地，其中 4 个属新发现，新增储量 540 亿吨。类似的实例不胜枚举，遥感地质方法已成为矿产地质工作的重要方法。

工程地质、地震地质、水文地质以及灾害地质等综合地质调查中也广泛地应用了遥感这一现代化手段。仅在 1980—1985 年期间，地矿部遥感地质工作者就为较大工程做了工程稳定性评价课题 13 个，研究大型滑坡 4 个。地矿部遥感中心在长江三峡的重庆至宜昌间先后进行了彩色及侧视雷达成像飞行。利用获得的资料对三峡库区进行了详细的工程地质判读分析，对新滩坡体的形态、形成机理及发展趋势作了较为详细的分析，为国家提供了有关三峡工程建设的基础资料。

基于遥感在地质矿产调查中广泛的应用以及取得的显著效益，我国地勘部门相继成立了专业的遥感应应用和科研机构，遥感地质队伍也不断扩大，成果累累，展现出遥感在地质矿产资源方面美好的发展前景。

（三）在水文、水资源方面的应用

遥感在水文水资源方面的应用，如水资源的调查、流域规划、水土流失调查、冰雪监测、海口海岸带及浅海地形调查、海洋调查研究等方面，都能发挥重要作用。特别是在人类足迹难以到达的荒凉地区，遥感技术可成为水文水资源调查的有效手段。例如，我国青藏高原在以往 300 年来先后经历了 150 多次探险考察，曾查出 500 多个湖泊，而近年来采用航空像片、卫星图像判读，不仅对这些湖泊的面积、形状进行了修正定位，而且还补充了地面考察或地图上未标明的 300 多个湖泊。

遥感图像，特别是红外遥感图像在识别含水层、判断充水断层、查明富水地段位置方面是很有利的。例如，美国在夏威夷群岛，利用红外遥感发现了 200 多处地下淡水出露点，从而解决了该岛对淡水的需求。我国在大连地区开展航空热红外遥感试验，在该地区沿海共发现 22 处从未有历史记录的淡水泉点，通过对这些泉点的分析，确定了地下淡水排泄地段，为解决沿海地区人畜饮水水源提供了一个重要途径。

利用遥感图像进行海岸带岸线测量、河口及近岸悬浮泥沙运移，以及海洋环境监测，诸如海水温度、盐度、水深、洋流、波浪、潮汐等海洋诸要素的测量，都可发挥重要作用，对海洋的开发具有重要意义，特别是遥感图像可提供大尺度、现实性强、多层次、全天候、客观逼真的丰富信息，为海洋研究及指导海洋渔业生产提供了基础。

二、遥感在环境监测评价及对抗自然灾害方面的应用

（一）在环境监测方面的应用

遥感在环境监测中主要是利用遥感提供的瞬间成像的大范围图像，对大气污染、水体污染、土地污染以及海洋污染等进行监测。由于遥感所提供的信息快速及时，现实性好，以及真实客观、形象的特点，可实时地了解 and 掌握污染源的位置、污染物的性质、污染物的动态变化，以及污染对环境的影响，为及时采取防护或疏导措施，以及环境评价提供了基础。例如，地矿部水文方法队与地质遥感中心合作，对长江下游苏州河口至吴淞口的水污染现

状做了调查研究，他们利用航空热红外扫描图像，共判读出异常点 29 处，绘制了约 25 公里江段的污染判读图。他们还对比起大连，南至海南岛海岸沿线的港口及海上平台对海水的污染情况进行了航空红外监测，为国家海洋局执法提供了依据。

长江三峡水利枢纽工程是一项规模宏大、技术复杂、具有重大经济效益和社会效益的巨大工程，但是，在长江干流上兴建三峡大坝，必将对其生态、环境及社会产生深刻的影响。为此，在系统地开展三峡工程对生态与环境的影响及其对策的研究中，以及在实地调查工作中都采用了遥感综合分析的方法，充分发挥了遥感在三峡环境论证与信息储备中的作用。并在库区环境本底调查、环境演变分析、环境动态监测等方面取得许多明显成效，为我国三峡工程的科学决策提供了可靠的资料和基础。

近年来，我国相继在长春、太原、北京、天津、广州等大中城市，利用航空遥感进行城市环境的监测和评价，这标志着我国遥感在环境监测方面的应用正向更为广泛深入的方向发展。

（二）在对抗自然灾害中的应用

自然灾害是指环境异常或环境的突发性变化，给人类生活和生存带来的灾难。近年来遥感技术在预报灾害方面取得很多重要成就，成为预报自然灾害的有力工具和手段。

气象卫星当前已进入业务性运转，形成多层次的预报网络，在灾害性天气监测、天气分析预报、气象研究等方面，发挥了十分重要的作用。我国“风云一号”“风云二号”气象卫星的研制和相继发射成功，标志着我国的气象预报技术已从单项、短期、小范围的预报发展成综合性、中长期、大范围的准确预报。为我国的旱情、洪水，以及滑坡、泥石流和病虫害的准确预报提供了可靠资料，为采取减灾措施提供了可靠基础。

森林火灾一直是威胁林业建设的重要灾害之一，早在 70 年代，我国就进行机载遥感—林火探测实验，在 3000 米高空通过热红外传感器可发现地面 0.1 平方米的火源。1987 年 5 月，黑龙江省大兴安岭森林特大火灾中，遥感在准确确定火源位置、范围，以及火源蔓延趋势，为扑灭大火提供及时准确的火情信息上，以及在监测火势发展，灾后评估火灾损失和恢复重建规划方面，都发挥了重要的作用，获得显著的社会经济效益。

近年来，在利用多时相遥感资料和地理信息系统技术对黄土高原水土流失进行综合调查和研究；利用全球定位系统（GPS）技术，监测地壳及其板块的运动，进行大区域的地球动力学研究，探索地震的发生机理，进行地震的中长期预报；利用多时相大比例尺航空遥感图像结合气象预报资料和地面勘查进行滑坡、泥石流的调查与监测，保障重点工程及铁路沿线的安全；以及利用远距离卫星通讯技术，提高灾害预报的及时性和准确性，为救灾和决策提供依据等方面，都取得很大成效和重大的进展。

三、遥感在区域分析及建设规划方面的应用

遥感图像是地表面一定区域景观的真实、客观的记录和形象显示。地理学区域分析亦充分利用和发挥了遥感图像的这一特点和优势，成为遥感在地理学应用的重要方面。例如，我国早期开展的滕冲、长春、新疆及长江中下游地区的遥感试验，以及近年来开展的黄土高原遥感综合调查，“三北”防护林遥感综合调查等大型遥感工程中，都是以遥感区域分析为先导，以区域

分析为基础，取得的成果。我国在遥感的区域分析应用中，已形成一定特色，进入世界先进水平行列。

近年来随着城市化及城市建设的热潮，城市遥感方兴未艾。城市遥感可提供诸如城市土地利用现状，城市用地分析，城市环境监测及评价，城镇布局结构分析，城市道路交通分析，城市人口分析及城镇的生态分析等城市发展的基础信息，为城市建设规划及决策服务。例如，由北京市政府和地质矿产部、城乡建设部联合组织实施的“北京航空遥感（8301工程）”，于1983年开始遥感飞行，到1986年底，在城市环境地质、城市建设、农业水利建设、生态环境、影像地图以及文物、古建筑等诸多方面，共获得41项研究成果，有23项填补了北京市基础资料的空白，取得了良好的经济效益和社会效益。

继北京市之后，城市遥感在全国各大、中城市较为普遍地开展起来，并在应用的深度和广度上有不同程度的提高。特别是随着城市遥感应用的深化，城市地理信息系统的建立及在城市总体规划、城市建设的辅助决策中的应用，将城市遥感应用提高到一个更高层次的阶段。

四、遥感在全球性宏观研究中的应用

遥感的全球性研究虽然目前尚未系统地进行，形成规模。但是，随着社会经济的发展，特别是诸如世界人口增加，资源危机，环境恶化等一系列涉及全球性的问题，越来越引起人们的关注。全球性研究（Global Study）已提到日程上，得到世界各国普遍的重视，全球性研究必将有一个较大的发展。

全球研究的目的是宏观地、整体性地对人类赖以生存的岩石圈、大气圈、水圈、生物圈的研究，以此带动区域性研究的深化，促进全球环境的改善。因此，这无疑为遥感发挥自身的特点和优势，开拓的又一应用领域。遥感可为全球研究提供各种便利条件，促进全球性研究的进一步开展和深化。例如，可利用遥感全球定位系统（GPS）监测和研究板块的运移，深大断裂活动，研究环形构造的成因及其机制；利用气象卫星资料及其它遥感信息，进行全球性气象研究及世界灾情的预报；海洋动力学研究，地球表面固态水的分布，世界冰川的进退，以及世界大环境的监测和治理等。遥感必将在全球性研究中发挥出更大的作用，做出更大的贡献。

当前，全球性研究已陆续开展，1992年已确定为国际空间年（ISY）；一种全新的数字式全球变化百科全书将问世，它将说明遥感可以对监测全球变化做出的贡献。我国已决定积极地参与“地圈与生物圈”（IGBP）、“国际空间年”（ISY）、“国际减灾十年”等科技项目合作。承接全球变化地图集与全球变化电子百科全书等部分项目的工作。中国将对全球性研究作出贡献。

五、遥感在其它方面的应用

（一）在测绘制图方面的应用

航空摄影测量一直是测绘制图的一种主要资料来源和重要的技术方法，形成了完整而系统的学科体系。当代遥感的发展使测绘制图的资料来源更为多样化，资料的准确可靠性及其快速及时性和适时动态性等方面都有较大的改观；成图周期大为缩短；影像地图、数字地图等新图种和制图新工艺大量涌现，使测绘制图产生了新的变化和进展。例如，我国依据近年来所发射的卫星获得的图像，完成了黄河三角洲1:5万，1:10万地图的编制，绘制完

成了我国第一幅南沙群岛影像地图。遥感还能在各种气候气象条件复杂，常规方法难于进行工作的地区获得资料，填补地面工作的空白。例如，巴西亚马孙河流域有近 500 万平方公里的热带雨林区，那里人烟稀少，云雾终日不散，常规测量工作难于进行。利用遥感侧视雷达技术，在不到一年的时间里就完成了该地区 1 40 万雷达扫描成像工作，取得了有价值的资料，为该地区测量制图提供了基础。利用遥感图像进行各种专题图的编制，以及编制中小比例尺大区域的省（区）、全国乃至大洲影像地图已较普遍，西欧各国已应用 SPOT 卫星资料修编和更新 1 5 万地形图等。随着遥感信息在空间分辨率、光谱分辨率以及时相分辨率方面的提高，遥感将为测绘制图技术的发展应用，开拓出更加美好的前景。

（二）在历史遗迹、考古调查方面的应用

近年来在进行野外考古调查中，配合应用遥感图像分析，发现了许多重大的历史遗迹，取得显著的成果。例如，英国遥感专家通过计算机增强的卫星图像，在英国伦敦以北约 30 公里的地下发现了罗马时代的古城堡遗迹。我国也曾利用遥感提供的信息，进行北京圆明园遗迹考察，长城遗迹的考察，以及内蒙古金代古城的发现等方面取得很好的效果。遥感为野外考古调查带来了变革，成为考古工作者有力的工具和手段，促进和加快了野外考古工作。

（三）军事上的应用

遥感在军事上的应用是不言而喻的。事实上，军事应用是遥感最早最成功的应用，今天遥感的发展是得利于遥感军事上成功的应用而迅速发展起来的。目前，发射的绕地球运行的卫星，绝大部分是与军事有关的。当今战争的胜负，不仅决定于军事实力（人力、武器）的对比上，准确可靠的信息获取，传输和决策对战争的胜负起着关键性的作用。英国、阿根廷的马岛战争、中东战争，以及海湾战争都充分证实了遥感在军事战争中所起到的至关重要的作用。

复习思考题

1. 何谓遥感？遥感技术系统主要包括哪几部分？
2. 遥感的主要特点表现在哪几方面？并举例说明。
3. 遥感有哪几种主要分类？其分类标志各是什么？
4. 遥感的发展主要经历了哪几个阶段？
5. 当前遥感发展的现状和特点如何？
6. 试述遥感在地理学中的作用和意义？
7. 试述遥感在地学中的主要应用，并举实例说明。
8. 例举遥感在其它领域中的应用。

第二章 遥感的物理基础

遥感技术是建立在物体电磁波辐射理论基础上的。不同物体具有各自的电磁辐射特性，才有可能应用遥感技术探测和研究远距离的物体。遥感的物理基础涉及面广，但是对地学工作者来说，主要是应用遥感技术所获取的图像或磁带（经过处理）进行判读和识别。因此，本章只介绍有关遥感资料应用中所涉及到的主要物理基础知识，如电磁波与电磁波谱，太阳辐射与大气影响及地物的光谱特性等。

第一节 电磁波与电磁波谱

一、电磁波及其特性

波是振动在空间的传播。如在空气中传播的声波，在水面传播的水波以及在地壳中传播的地震波等，它们都是由振源发出的振动在弹性介质中的传播，这些波统称为机械波。在机械波里，振动着的是弹性介质中质点的位移矢量。光波、热辐射、微波、无线电波等都是由振源发出的电磁振荡在空间的传播，这些波叫做电磁波。在电磁波里，振荡的是空间电场矢量 E 和磁场矢量 B 。电场矢量 E 和磁场矢量 B 互相垂直，并且都垂直于电磁波传播方向 V 。

电磁波是通过电场和磁场之间相互联系传播的。根据麦克斯韦电磁场理论，空间任何一处只要存在着场，也就存在着能量，变化着的电场能够在它的周围空间激起磁场，而变化的磁场又会在它的周围感应出变化的电场。这样，交变的电场和磁场是相互激发并向外传播，闭合的电力线和磁力线就象链条一样，一个一个地套连着，在空间传播开来，形成了电磁波。实际上电磁振荡是沿着各个不同方向传播的。这种电磁能量的传递过程（包括辐射、吸收、反射和透射等）称为电磁辐射。电磁波是物质存在的一种形式，它是以场的形式表现出来的。因此，电磁波的传播，即使在真空中也能传播。这一点与机械波有着本质的区别，但两者在运动形式上都是波动。基本的波动形式有两种：横波和纵波，横波是质点振动方向与传播方向相垂直的波，电磁波就是横波。纵波是质点振动方向与传播方向相同的波。例如，声波就是一种纵波。

波动的基本特点是时、空周期性。时、空周期性可以由波动方程的波函数来表示，如图 2-1 所示。

单一波长电磁波的一般函数表达式为：

$$=A\sin[(\omega t - kx) + \phi] \quad (2-1)$$

式中 ψ ——波函数（表示电场强度）； A ——振幅； $(\omega t - kx) + \phi$ ——位相； ϕ ——初位相； $\omega = 2\pi / T$ ——圆频率； $k = 2\pi / \lambda$ ——圆波数； t 、 x ——时、空变量（ t 表示时间， x 表示距离）。

波函数由振幅和位相组成。一般传感器仅记录电磁波的振幅信息，而舍弃位相信息；在全息摄影中，除了记录电磁波的振幅信息，同时也记录位相信息。

以上介绍了电磁辐射以波动的形式在空间传播。因此，电磁波具有波动的特性（如干涉、衍射、偏振和色散等现象）。同时，电磁波还具有粒子（量子）性。电磁辐射的粒子性，是指电磁波是由密集的光子微粒组成的，电磁辐射实质上是光子微粒流的有规律运动，波是光子微粒流的宏观统计平均状态，而粒子是波的微观量子化。电磁辐射在传播过程中，主要表现为波动性；当电磁辐射与物质相互作用时，主要表现为粒子性，这即谓电磁波的波粒二象性。遥感传感器所探测到的目标物在单位时间辐射（反射或发射）的能量，由于电磁辐射的粒子性，所以某时刻到达传感器的电磁辐射能量才具有统计性。电磁波的波长不同，其波动性和粒子性所表现的程度也不同，一般来说，波长愈短，辐射的粒子特性愈明显，波长愈长，辐射波动特性愈明显。遥感技术正是利用电磁波波粒二象性这两方面特性，达到探测目标物电磁辐射信息的。

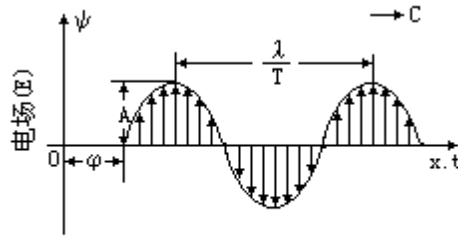


图 2-1 波函数图解

二、电磁波谱

实验证明，无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、射线等都是电磁波，只是波源不同，波长（或频率）也各不同。将各种电磁波在真空中的波长（或频率）按其长短，依次排列制成的图表（图 2-2）叫做电磁波谱。

在电磁波谱中，波长最长的是无线电波，无线电波又依波长不同分为长波、中波、短波、超短波和微波。其次是红外线、可见光、紫外线，再次是 X 射线。波长最短的是 射线。整个电磁波谱形成了一个完整、连续的波谱图。各种电磁波的波长（或频率）之所以不同，是由于产生电磁波的波源不同。例如，无线电波是由电磁振荡发射的，微波是利用谐振腔及波导管激励与传输，通过微波天线向空间发射的；红外辐射是由于分子的振动和转动能量级跃迁时产生的；可见光与近紫外辐射是由于原子、分子中的外层电子跃迁时产生的；紫外线、X 射线和 射线是由于内层电子的跃迁和原子核内状态的变化产生的；宇宙射线则是来自宇宙空间。

在电磁波谱中，各种类型的电磁波，由于波长（或频率）的不同，它们的性质就有很大的差别（如在传播的方向性、穿透性、可见性和颜色等方面的差别）。例如，可见光可被人眼直接感觉到，看到物体各种颜色；红外线能克服夜障；微波可穿透云、雾、烟、雨等。但它们也具有共同性：

1. 各种类型电磁波在真空（或空气）中传播的速度相同，都等于光速：

$$c=3 \times 10^{10} \text{cm/s}$$

2. 遵守同一的反射、折射、干涉、衍射及偏振定律。

目前，遥感技术所使用的电磁波集中在紫外线、可见光、红外线到微波的光谱段，各谱段划分界线在不同资料上采用光谱段的范围略有差异。本书采用表 2 - 1 中所列出的波长范围。

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		100 ^④ —0.4 μ m
可见光		0.4—0.76 μ m
红外线	近红外	0.76—3.0 μ m
	中红外	3—6 μ m
	远红外	6—15 μ m
	超远红外	15—1000 μ m
微波	毫米波	1—10mm
	厘米波	1—10cm
	分米波	10cm—1m

紫	0.40—0.43 μ m
蓝	0.43—0.47 μ m
青	0.47—0.50 μ m
绿	0.50—0.56 μ m
黄	0.56—0.59 μ m
橙	0.59—0.62 μ m
红	0.62—0.76 μ m

遥感常用的各光谱段的主要特性如下：

紫外线 波长范围为 0.01—0.4 μ m。太阳辐射含有紫外线，通过大气层时，波长小于 0.3 μ m 的紫外线几乎都被吸收，只有 0.3—0.4 μ m 波长的紫外线部分能穿过大气层到达地面，且能量很少，并能使溴化银底片感光。紫外波段在遥感中应用比其它波段晚。目前，主要用于探测碳酸盐岩分布。碳酸盐岩在 0.4 μ m 以下的短波区域对紫外线的反射比其它类型的岩石强。另外，水面飘浮的油膜比周围水面反射的紫外线要强烈，因此可用于油污染的监测。但是紫外波段从空中可探测的高度大致在 2000m 以下，对高空遥感不宜采用。

可见光 可见光在电磁波谱中，只占一个狭窄的区间，波长范围 0.4—0.76 μ m。它由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫色光组成。人眼对可见光可直接感觉，不仅对可见光的全色光，而且对不同波段的单色光，也都具有这种能力。所以可见光是作为鉴别物质特征的主要波段。在遥感技术中，常用光学摄影方式接收和记录地物对可见光的反射特征。也可将可见光分成若干个波段同一瞬间对同一景物、同步摄影获得不同波段的像片；亦可采用扫描方式接收和记录地物对可见光的反射特征。可见光是遥感中最常用的波段。

红外线 红外线波长范围为 0.76—1000 μ m，为了实际应用方便，又将其划分为：近红外（0.76—3.0 μ m），中红外（3.0—6.0 μ m），远红外（6.0—15.0 μ m）和超远红外（15—1000 μ m）。

近红外在性质上与可见光相似，所以又称为光红外。由于它主要是地表面反射太阳的红外辐射，因此又称为反射红外。在遥感技术中采用摄影方式和扫描方式，接收和记录地物对太阳辐射的红外反射。在摄影时，由于受到感光材料灵敏度的限制，目前只能感测 0.76—1.3 μ m 波长范围。近红外波段在遥感技术中也是常用波段。

中红外、远红外和超远红外是产生热感的原因，所以又称为热红外。自然界中任何物体，当温度高于绝对温度（-273.15℃）时，均能向外辐射红外线。物体在常温范围内发射红外线的波长多在3—4 μm之间，而15 μm以上的超远红外线易被大气和水分子吸收，所以在遥感技术中主要利用3—15 μm波段，更多的是利用3—5 μm和8—14 μm波段。红外遥感是采用热感应方式探测地物本身的辐射（如热污染、火山、森林火灾等），所以工作时不仅白天可以进行，夜间也可以进行，能进行全天时遥感。

微波 微波的波长范围1mm—1m。微波又可分为：毫米波、厘米波和分米波，见表2-1。微波辐射和红外辐射两者都具有热辐射性质。由于微波的波长比可见光、红外线要长，能穿透云、雾而不受天气影响，所以能进行全天候全天时的遥感探测。微波遥感可以采用主动或被动方式成像，另外，微波对某些物质具有一定的穿透能力，能直接透过植被、冰雪、土壤等表层覆盖物。因此，微波在遥感技术中是一个很有发展潜力的遥感波段。

在电磁波谱中不同波段，习惯使用的波长单位也不相同，在无线电波段波长的单位取千米或米，在微波波段波长的单位取厘米或毫米；在红外线段常取的单位是微米（μm），在可见光和紫外线常取的单位是纳米（nm）或微米。波长单位的换算如下：

$$1\text{nm} = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-7}\text{cm} = 10^{-9}\text{m}$$

$$1 \mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm} = 10^{-4}\text{cm} = 10^{-6}\text{m}$$

除了用波长来表示电磁波外，还可以用频率来表示，如无线电波常用的单位为吉赫（GHz）。习惯上常用波长表示短波（如γ射线、X射线、紫外线、可见光、红外线等），用频率表示长波（如无线电波、微波等）。

三、电磁辐射源

自然界中一切物体在发射电磁波的同时，也被其它物体发射电磁波所辐射。遥感的辐射源可分自然电磁辐射源和人工电磁辐射源两类，它们之间没有什么原则区别。就象电磁波谱一样，从高频到低频是连续的。物质发射的电磁辐射也是连续的。

（一）自然辐射源

自然辐射源主要包括太阳辐射和地物的热辐射。太阳辐射是可见光及近红外遥感的主要辐射源，地球是远红外遥感的主要辐射源。

1. 太阳辐射。太阳辐射是地球上生物、大气运动的能源，也是被动式遥感系统中重要的自然辐射源。太阳表面温度约有6000K，内部温度则更高。图2-3为地球表面所测的太阳光谱辐射强度曲线，其中上部那条连续曲线是地球大气层以上粗略的太阳辐射光谱曲线，它与温度为5900K的理想黑体所产生的光谱曲线相似（如图2-3中虚线所示）。在遥感理论计算中就利用这种黑体来模拟太阳辐射光谱。太阳辐射覆盖了很宽的波长范围，由1Å直至10m以上，包括γ射线、紫外线、红外线、微波及无线电波。太阳辐射能主要集中在0.3—3 μm段，最大辐射强度位于波长0.47 μm左右。由于太阳辐射的大部分能量集中在0.4—0.76 μm之间的可见光波段，所以太阳辐射一般称为短波辐射。太阳辐射能量中各波段所占的能量的百分比见表2-2。

太阳辐射主要是由太阳大气辐射所构成，太阳辐射在射出太阳大气后，已有部分的太阳辐射能为太阳大气（主要是氢和氦）所吸收，使太阳辐射能量受到一部分损失。

表 2-2 太阳辐射能量中各波段所占比例

波长 ()	波段	能量 (%)	波长 ()	波段	能量 (%)
< 10 ^④	X、r 射线	}0.02	0.76—1.5 μ m	近红外	36.80
10—2000 ^④	远紫外		1.5—5.6 μ m	中红外	12.00
0.20—0.31 μ m	中紫外	1.95	5.6—1000 μ m	远红外	}0.41
0.31—0.38 μ m	近紫外	5.32	> 1000 μ m	微波	
0.38—0.76 μ m	可见光	43.50			

太阳辐射以电磁波的形式，通过宇宙空间到达地球表面（约 $1.5 \times 10^8 \text{km}$ ），全程时间约 500 秒。地球挡在太阳辐射的路径上，以半个球面承受太阳辐射。在地球表面上各部分承受太阳辐射的强度是不相等的。当地球处于日地平均距离时，单位时间内投射到位于地球大气上界，且垂直于太阳光射线的单位面积上的太阳辐射能为 $1385 \pm 7 \text{W/m}^2$ 。此数值称为太阳常数。一般来说，垂直于太阳辐射线的地球单位面积上所接受到的辐射能量与太阳至地球距离的平方成反比。太阳常数不是恒定不变的，一年内约有 7% 的变动。太阳辐射先通过大气圈，然后到达地面。由于大气对太阳辐射有一定的吸收、散射和反射，所以投射到地表面上的太阳辐射强度有很大衰减（图 2-3）。

2. 地球的电磁辐射。地球辐射可分为两个部分：短波（0.3—2.5 μ m）和长波（6 μ m 以上）部分。

地球表面平均温度 27（绝对温度 300K），地球辐射峰值波长为 9.66 μ m。在 9—10 μ m 之间，地球辐射属于远红外波段。

图 2-4 为太阳与地球辐射的电磁波谱。图中可见，右边上方平滑曲线代表黑体辐射 300K 时的能量分布曲线，下方不规则曲线代表地球表面的实测辐射能量分布曲线，上方黑体辐射曲线包罗了地球表面辐射能量分布曲线。

图 2-4 左边为太阳辐射波谱曲线，该曲线与地球辐射的波谱曲线在波长 5 μ m 上方处相交。当对地面目标地物进行遥感探测时，传感器接收到小于 3 μ m 波长，主要是地物反射太阳辐射的能量，而地球自身的热辐射极弱，可忽略不计；传感器接收到大于 6 μ m 波长，主要是地物本身的热辐射能量；在 3—6 μ m 中红外波段，太阳与地球的热辐射均要考虑。所以在进行红外遥感探测时，选择清晨时间，其目的就是为了避免太阳辐射的影响。地球除了部分反射太阳辐射以外，还以火山喷发、温泉和大地热流等形式，不断地向宇宙空间辐射能量。每年通过地表面流出的总热量约为 $1 \times 10^{21} \text{J}$ 。

（二）人工辐射源

主动式遥感采用人工辐射源。人工辐射源是指人为发射的具有一定波长（或一定频率）的波束。工作时接收地物散射该光束返回的后向反射信号强弱，从而探知地物或测距，称为雷达探测。雷达又可分为微波雷达和激光雷达。在微波遥感中，目前常用的主要为侧视雷达。

1. 微波辐射源。在微波遥感中常用的波段为 0.8—30cm。微波遥感的探测波段与相应频率如表 2-3 中所列。由于微波波长比可见光、红外线波长要长。因此，在技术上微波遥感应用的主要是电学技术，而可见光、红外遥感应用则偏重于光学技术。在应用上微波遥感具有以下一系列特点：

(1) 具有全天候全天时探测能力。雷达是主动式传感器，它不依靠太阳辐射，因此能昼夜获得同等质量的影像。由于微波波长长，受大气干扰小，一般厚云层（除特别恶劣气候条件外）微波都可以透过，故可全天候进行探测，这是可见光与红外遥感所不能相比的。

(2) 微波对某些物质具有一定的穿透能力，能直接透过植被覆盖，对于冰、雪和土壤等表层覆盖物也有一定的穿透能力。

(3) 某些物质的光谱在微波波段有较大的差异。这样，在可见光与红外遥感中不易区分的一些物体，在微波遥感中则容易区别。

表 2-3 微波遥感的探测波段频率表

波段名称	频率 (10MHz)	波长 (cm)
P	0.225 — 0.39	133 — 76.9
L	0.39 — 1.55	76.9 — 19.4
S	1.55 — 3.9	19.4 — 7.69
C	3.9 — 5.75	7.69 — 5.21
X	5.75 — 10.9	5.21 — 2.75
Ku	10.9 — 18	2.75 — 1.67
K	18 — 26.5	1.67 — 1.13
Ka	26.5 — 40	1.13 — 0.83
Q	40 — 46	0.83 — 0.63
V	46 — 56	0.63 — 0.53
W	56 — 100	0.53 — 0.3

2. 激光辐射源。目前研究成功的激光器种类很多。按照工作物质的类型可分为：气体激光器、液体激光器、固体激光器、半导体激光器和化学激光器等；按激光输出方式可分为：连续输出激光器和脉冲输出激光器。激光器发射光谱的波长范围较宽，短波波长可至 0.24 μm 以下，长波波长可至 1000 μm ，输出功率低的仅几微瓦，高的可达几兆瓦以上。

激光在遥感技术中逐渐得到应用，其中应用较广的为激光雷达。激光雷达使用脉冲激光器，它可精确测定卫星的位置、高度、速度等，也可测量地形、绘制地图、记录海面波浪情况，还可利用物体的散射性及荧光、吸收等性能监测污染和勘查资源。在遥感图像处理中，采用激光输出器和激光存储器，可大大提高图像处理的速度和精度。

第二节 地物的光谱特性

自然界中任何地物都具有其自身的电磁辐射规律，如具有反射，吸收外来的紫外线、可见光、红外线和微波的某些波段的特性；它们又都具有发射某些红外线、微波的特性；少数地物还具有透射电磁波的特性，这种特性称为地物的光谱特性。

一、地物的反射光谱特性

当电磁辐射能量入射到地物表面上，将会出现三种过程：一部分入射能量被地物反射；一部分入射能量被地物吸收，成为地物本身内能或部分再发射出来，一部分入射能量被地物透射。根据能量守恒定律可得：

$$P = P_r + P_a + P_t \quad (2-2)$$

式中： P 为入射的总能量； P_r 为地物的反射能量； P_a 为地物的吸收能量； P_t 为地物的透射能量。

(2-2) 式两端同除以 P ，得

$$1 = \frac{P_r}{P} + \frac{P_a}{P} + \frac{P_t}{P} \quad (2-3)$$

令 $\frac{P_r}{P} \times 100\% = \rho$ (反射率) 即地物反射能量与入射总能量的百分率。

$\frac{P_a}{P} \times 100\% = \alpha$ (吸收率) 即地物吸收能量与入射总能量的百分率。

$\frac{P_t}{P} \times 100\% = \tau$ (透射率) 即地物透射的能量与入射总能量的百分率。

则 (2-3) 式可写成：

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2-4)$$

对于不透明的地物， $\tau = 0$ ，(2-4) 式可写成：

$$\rho + \alpha = 1 \quad (2-5)$$

(2-5) 式表明，对于某一波段反射率高的地物，其吸收率就低，即为弱辐射体；反之，吸收率高的地物，其反射率就低。地物的反射率可以测定，而吸收率则可通过 (2-5) 式求出，即 $\alpha = 1 - \rho$ 。

(一) 地物的反射率

不同地物对入射电磁波的反射能力是不一样的，通常采用反射率 (或反射系数、或亮度系数) 来表示。它是地物对某一波段电磁波的反射能量与入射的总能量之比，其数值用百分率表示。地物的反射率随入射波长而变化。

地物反射率的大小，与入射电磁波的波长、入射角的大小以及地物表面颜色和粗糙度等有关。一般地说，当入射电磁波波长一定时，反射能力强的地物，反射率大，在黑白遥感图像上呈现的色调就浅。反之，反射入射光能力弱的地物，反射率小，在黑白遥感图像上呈现的色调就深。在遥感图像上色调的差异是判读遥感图像的重要标志。

(二) 地物的反射光谱

地物的反射率随入射波长变化的规律，叫做地物反射光谱。按地物反射率与波长之间关系绘成的曲线 (横坐标为波长值，纵坐标为反射率) 称为地物反射光谱曲线 (图 2-5)。不同地物由于物质组成和结构不同具有不同的反射光谱特性。因而可以根据遥感传感器所接收到的电磁波光谱特征的差异来识别不同的地物，这就是遥感的基本出发点。图 2-5 绘出了四种地物反射光谱曲线。

雪 雪的反射光谱和太阳光谱很相似，在 0.4—0.6 μm 波段有一个很强的反射峰，反射率几乎接近 100%，因而看上去是白色，随着波长的增加，反射率逐渐降低，进入近红外波段吸收逐渐增强，而变成了吸收体。雪的这种反射特性在这些地物中是独一无二的。

沙漠 在橙光波段 0.6 μm 附近有一个强反射峰，因而呈现出橙黄色，在波长达到 0.8 μm 以上的长波范围，其反射率比雪还强。

湿地 潮湿地在整个波长范围内的反射率均较低，当含水量增加时，其反射率就会下降，尤其在水的各个吸收带处，反射率下降更为明显。因而，在黑白像片上，其色调常呈深暗色调。

小麦 其反射光谱曲线主要反映了小麦叶子的反射率，在蓝光波段（中心波长为 0.45 μm ）和红光波段（中心波段为 0.65 μm ）上有两个吸收带，其反射率较低，在两个吸收带之间，即在 0.55 μm 附近有一个反射峰，这个反射峰的位置正好处于可见光的绿光波段，故而叶子的天然色调呈现绿色。大约在 0.7 μm 附近，由于绿色叶子很少吸收该波段的辐射能，其反射率骤然上升，至 1.1 μm 近红外波段范围内反射率达到高峰。小麦反射率的这一特性主要受到叶子内部构造的控制。这种反射光谱曲线是含有叶绿素植物的共同特点（即叶绿素陡坡反射特征）。

根据上述可知，不同地物在不同波段反射率存在着差异。如从图 2-5 中，反映出雪、沙漠、小麦和湿地在不同波段反射率。因此，在不同波段的遥感图像上即呈现出不同的色调。这就是判读识别各种地物的基础和依据。设计遥感传感器探测波段的波长范围，是通过分析比较地物光谱数据而选择设置的，如美国陆地卫星多光谱扫描仪（Multi-Spectral Scanner，简称 MSS）最初所选择的四个波段分别为：MSS₁：（0.5—0.6 μm ），MSS₂：（0.6—0.7 μm ），MSS₃：（0.7—0.8 μm ），MSS₄：（0.8—1.1 μm ），主要针对植被、土壤、水体以及含氧化铁岩矿石分类的识别需要而设置的。

同类地物的反射光谱是相似的，但随着该地物的内在差异而有所变化。这种变化是由于多种因素造成的，如物质成分、内部结构、表面光滑程度、颗粒大小、几何形状、风化程度、表面含水量及色泽等差别。例如，对植被来说，不同类型植物之间反射光谱特性曲线存在着一定的差异，如图 2-6(a) (b) 所示，这种差异可用来识别不同的植物类型。即使是同类植物，随着叶子的新老、稀疏、土壤、水分含量和有机质含量的不同，或者受到大气污染和病虫害等的影响，它们在各个波段的反射率也是不同的。从图 2-7 中可清楚看出，健康的松树在可见光波长范围反射率稍低于有病害的松树，特别是在叶绿素吸收带，健康的比有病害的反射率明显小。而在近红外波段健康松树的反射率则明显高于有病害松树。有病害的松树随着病害的加重，在近红外波段反射率明显降低。反映出病害植被的特征。这种现象在近红外波段像片上反映很清楚，故而可把健康的和病害的植被区别开来。

研究地物的光谱特性，还应考虑其时间特性和空间特性的变化。

时间特性是指同一位置上的同一地物，由于时间的推移，该地物在一段时间内光谱特性的变化。例如，图 2-8 表示不同时间，白橡树叶子的反射光谱曲线变化情况。空间特性是指同一类地物，由于其所处的地理位置不同，光谱特性可能存在的一些差异和变化。遥感图像上集中反映出各种地物或现

象的光谱特性，并体现出其光谱特性的空间特性和时间特性的变化。因此，在以遥感图像中识别地物和现象的属性及其研究它们之间的关系和演化变化规律时，必须首先了解和掌握地物的光谱特性，以及它们空间和时间特性的变化。地物光谱特性是进行判读、识别的基础和出发点。

二、地物的发射光谱特性

任何地物当温度高于绝对温度 0K 时，组成物质的原子、分子等微粒，在不停地做热运动，都有向周围空间辐射红外线和微波的能力。通常地物发射电磁辐射的能力是以发射率作为衡量标准。地物的发射率是以黑体辐射作为基准。因此，在介绍地物发射光谱特性之前，先介绍有关的黑体辐射及电磁辐射的物理量。

(一) 黑体辐射

早在 1860 年基尔霍夫 (Kirchhoff · C) 就提出用黑体这个词来说明能全部吸收入射辐射能量的地物。因此，黑体是一个理想的辐射体，黑体也是一个可以与任何地物进行比较的最佳辐射体。所谓黑体是“绝对黑体”的简称，指在任何温度下，对于各种波长的电磁辐射的吸收系数恒等于 1 (100%) 的物体。黑体的热辐射称为黑体辐射。显然，黑体的反射率 =0，透射率=0。

自然界并不存在绝对黑体，实用的黑体是由人工方法制成的。这种理想黑体模型的建立，是为了参照计算一般物体的热辐射而设计的。黑体模型种类较多，基本结构为能保持恒定温度的空腔。如图 2-9 为实验室使用的一种黑体模型。即能全部吸收进入腔体内的各种波长的电磁辐射，又能 100%地发射某一波长的辐射。

(二) 黑体热辐射定律

1900 年普朗克 (Planck, M.) 用量子物理的新概念，推导出热辐射定律，可以用普朗克公式表示：

$$W_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \quad (2-6)$$

式中： W (λ 、 T)，为光谱辐射通量密度，单位 ($W \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$)； λ 为波长，单位 (μm)； h 为普朗克常量 $= (6.6256 \pm 0.0005) \times 10^{-34} W \cdot s^2$ ； c 为光速 $3 \times 10^{10} cm/s$ ； T 为绝对温度，单位 (K)； k 为玻耳兹曼常量 $k = (1.38054 \pm 0.00018) \times 10^{-23} W \cdot s \cdot K^{-1}$ ； e 为自然对数的底， $e=2.718$ 。

普朗克公式表示出了黑体辐射通量密度与温度关系以及按波长分布的情况。普朗克公式与实验求出的各种温度 (如从 200K 到 6000K) 下的黑体辐射波谱曲线 (图 2-11) 相吻合。该图为不同温度下黑体光谱辐射通量密度与波长的关系曲线，其中虚线代表辐射最大值所在位置。从图 2-10 中可清楚看出，黑体辐射的三个特性：

1. 辐射通量密度随波长连续变化，每条曲线只有一个最大值。
2. 温度愈高，辐射通量密度也愈大，不同温度的曲线是不相交的。
3. 随着温度的升高，辐射最大值所对应的波长移向短波方向。

对于全部波长范围内的辐射通量密度，可对普朗克公式从零到无穷大的波长范围内进行积分，可以得到：

$$W_0 = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} d\lambda$$

转换成 1cm² 面积黑体辐射到半球空间里的总辐射通量的表达式：

$$W_0 = \left[\frac{2\pi^5 \cdot k^4}{15c^2 h^2} \right] T^4 = \sigma T^4 \quad (2-7)$$

式中：W₀ 为黑体总辐射通量密度，单位 (W · cm⁻²)；σ 为斯忒藩-玻耳兹曼常量，(σ = (5.6697 ± 0.0029) × 10⁻² W · cm⁻² · k⁻⁴)

式 (2-7) 为斯忒藩-玻耳兹曼定律，即黑体总辐射通量密度随温度的增加而迅速增大，它与温度的四次方成正比。因此，温度只要有微小变化，就会引起辐射通量密度很大的变化，在用红外装置测定温度时，就是根据此定律作为理论依据的。

从图 2-10 中可以看到黑体辐射均有个极大值，它所对应的波长 λ_{max}，若对 (2-6) 式的 W(λ, T) 求波长的偏微分，并求极值，即可得到 λ_{max}。

$$\frac{\partial W_\lambda(\lambda, T)}{\partial \lambda} = 0 \quad (2-8)$$

经整理可得：λ_{max} · T = b

式中：λ_{max} 为辐射通量密度的峰值波长；b 为常数，b = 2897.8 ± 0.4 (μm · K)。

(2-9) 式称为维恩位移定律，它说明随着温度的升高，辐射最大值对应的峰值波长向短波方向移动，表 2-4 给出不同温度时 λ_{max} 的数值。

表 2-4 不同温度时黑体辐射的峰值波长

T(K)	273	300	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
λ _{max} (μm)	10.61	9.66	2.90	1.45	0.97	0.72	0.58	0.48	0.41

上述讨论的是黑体辐射，自然界一般物体不是黑体，但在某一确定温度 T 时，物体最强辐射所对应的波长 λ_{max}，也可以用维恩位移公式计算出近似值。如：人体表面平均温度为 37° (即 310K)，其发射到空间的电磁辐射的峰值波长为 λ_{max} = $\frac{b}{T} = \frac{2897}{310} \approx 9.34 \mu\text{m}$ ，即人体辐射的峰值波长位于热红外波段。

(三) 地物的发射率和基尔霍夫定律

上述斯忒藩-玻耳兹曼定律、维恩位移定律只适用黑体辐射，但是在自然界中，黑体辐射是不存在的，一般地物辐射能量总要比黑体辐射能量小。如果利用黑体辐射有关公式，则需要增加一个因子，这个因子就是发射率，或称“比辐射率”。发射率是指地物的辐射出射度 (即地物单位面积发出的辐射总通量) W 与同温度的黑体的辐射出射度 (即黑体单位面积发出的辐射总通量) W_黑 的比值。常用 ε 表示，即

$$\varepsilon = \frac{W}{W_{\text{黑}}} \quad (2-10)$$

表 2-5 表示常温下一些地物在 8—14 μm 的发射率。

表 2-5 一些地物的发射率 (8—14 μm)

目标物	温度 ()		目标物	温度 ()	
木材 (橡木平板)	20	0.90	岩石矿物		
水 (蒸馏水)	20	0.96	石英	20	0.627
冰 (表面光滑)	-10	0.96	长石	20	0.819
雪	-10	0.85	花岗岩	20	0.780
沙	20	0.90	玄武岩	20	0.906
			大理石	20	0.942

地物的发射率与地物的性质、表面状况 (如粗糙度、颜色等) 有关, 且是温度和波长的函数。例如: 同一地物, 其表面粗糙或颜色较深的, 发射率往往较高, 表面光滑或颜色浅的, 发射率则较小。不同温度的同一地物, 有不同的发射率 (如石英在 250K 时 $\epsilon = 0.748$, 500K 时 $\epsilon = 0.819$)。物体表面温度主要受地物本身物理性质的影响, 如地物的比热、热导率、热扩散率及热惯量等, 其中比热和热惯量的影响较大。

比热是指物质储存热的能力 (即 1 克物质, 温度升高 1 所需的热量大小)。热惯量是度量物质热惰性大小的物理量。也是两种物质界面上热传导速率的一种度量。物质热惯量大小, 决定于其热导率、热容量及密度等物理量。总之, 比热大, 热惯量大, 以及具有保温作用的地物, 一般发射率大, 反之发射率就小。例如水体, 在白天水面光滑明亮, 表面反射强而温度较低, 发射率亦较低; 而到夜间, 水的比热大, 热惯量也高, 故而发射率较高。

地物发射率的差异也是遥感探测的基础和出发点。

通常, 依发射率与波长的关系, 将地物分为三种类型, 如图 2-11 (a) 所示。

1. 黑体或绝对黑体, 其发射率 $\epsilon = 1$, 即黑体发射率对所有波长都是一个常数, 并且等于 1。

2. 灰体, 其发射率 $\epsilon = \text{常数} < 1$ (因吸收率 $\alpha < 1$)。即灰体的发射率始终小于 1, ϵ 不随波长变化。

3. 选择性辐射体, 其发射率随波长而变化, 而且 $\epsilon < 1$ (因吸收率 α 也随波长而变化并且 $\alpha < 1$)。

图 2-11 (b) 表示在同一温度下, 各种辐射体发射的情况。其中黑体的发射率最大 ($\epsilon = 1$)。因此, 黑体的光谱分布曲线是各种辐射体曲线的包络线。灰体的发射率是黑体的几分之一, 为一个不变的分数, 当灰体的发射率越接近 1 时, 它就越接近黑体; 选择性辐射体的发射率随波长变化, 但是不管在那个波长, 其发射率都比黑体发射率小 ($\epsilon < 1$)。

在红外遥感传感器设计中, 可以把一些红外辐射体看成灰体 (例如人体、喷气式飞机尾喷管、无动力空间飞行器、地球背景及空间背景等), 也可以在某些波段内把选择性辐射体看成灰体 (如果其发射率 ϵ 在某些波段内近似不变), 这样就简化了计算工作。

基尔霍夫在研究辐射传输过程中发现: 在任一给定温度下, 地物单位面积上的辐射通量密度 W 和吸收率 α 之比, 对于任何地物都是一个常数, 并等于该温度下同面积黑体辐射通量密度 $W_{\text{黑}}$ 。这就是基尔霍夫定律, 它可写成如下的数学形式:

$$\frac{W}{\alpha} = W_{\text{黑}} \quad (2-11)$$

基尔霍夫定律不但对所有波长的全辐射是正确的，而且对波长为 λ 的任何单色波长的辐射也是正确的。这时基尔霍夫定律可写成：

$$\frac{W_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} = W_{\text{黑}\lambda} \quad (2-12)$$

该定律反映在一定温度下的物体，如它对某一波长的辐射有强吸收，则发射这一波长辐射的能力亦强；若为弱吸收，则发射亦弱。如不吸收某种波长的辐射，则亦不发射这种波长的辐射。

根据基尔霍夫定律由公式 (2-11) 可知， $\alpha = \frac{W}{W_{\text{黑}}}$ ，而根据发射率定义有

$$\varepsilon = \frac{W}{W_{\text{黑}}}$$

从这里得出： $\alpha = \varepsilon$ (2-13)

同样，对地物辐射的每一单色波长分量也是成立的，即 $\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}$ 。

公式 (2-13) 表明，在给定的温度下，任何地物的发射率，在数值上等于同温度、同波长下的吸收率，该公式还表明地物的吸收率愈大，发射率也愈大，对于不透明地物来说，公式 (2-5) 可写成：

$$\alpha = 1 - \rho - \tau \quad (2-14)$$

由公式 (2-11)、(2-12) 和 (2-7) 可写成：

$$W = \varepsilon W_{\text{黑}} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2-15)$$

由 (2-15) 可知，只要已知地物的温度和吸收率，就可确定地物的热辐射强度。该公式表明地物的热辐射强度与温度四次方成正比，所以，地物微小的温度差异就会引起红外辐射能量较明显变化。这种特征构成红外遥感的理论根据。

(四) 黑体微波辐射

根据普朗克定律，任何地物在一定温度下，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。但微波是低温状态下地物的重要辐射特性，其特点是地物的温度越低，微波辐射也就越明显。

尽管微波辐射比红外辐射能量要弱得多，但可以用无线电技术经调谐和放大线路来接收。目前，微波辐射在地学等领域正作为有力的探测手段，加速进行研究。

自然界中一般地物的温度在 250K—350K，辐射的峰值波长 λ_{max} 在 10 μm 附近。而微波波长比峰值波长大得多 (即 $\lambda \gg \lambda_{\text{max}}$)。因此在微波区域黑体辐射的微波功率可用瑞利—金斯公式代替普朗克公式 (因为在波长较长的辐射区，瑞利-金斯公式比较符合实验结果)，即：

$$W_{(\gamma)} = \frac{2kT}{\lambda^2} \quad (2-16)$$

式中： $W_{(\gamma)}$ (在微波波段，常用频率 ν 替代波长，因而该式中的变量 λ 可用 $\frac{c}{\nu}$ 表示) 表示黑体单位表面积，单位立体角和单位频率范围内所辐射的微波

功率，单位是 (W/cm² · sr · Hz)；k 为玻耳兹曼常量；T 为绝对温度，单位是 (K)；λ 为波长，单位是 (μm)。

公式 (2-16) 表明黑体辐射的微波功率与温度成正比，与波长平方成反比，而一般地物不是黑体，但它们的辐射功率 W_{s(γ)} 与同温度下黑体辐射的微波功率 W_(γ) 之间有一定的比例关系：

$$W_{s(\gamma)} = \varepsilon_1 W_{(\gamma)} = 2\varepsilon_1 \frac{kT}{\lambda^2} \quad (2-17)$$

式中：ε₁ 为地物表面在微波波段的发射率，(2-17) 式是计算微波辐射的基本公式。

表 (2-6) 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 2-6 不同地物微波波段与红外波段发射率的比较

地物	波 段			
	微 波		红 外	
	λ=3cm	λ=3mm	λ=10 μm	λ=4 μm
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

从表 2-6 中看出，不同地物之间微波发射率的差异要比红外发射率差异明显。这样，在可见光，红外波段中不容易识别的一些地物，在微波波段中则容易识别。

(五) 地物发射光谱

地物的发射率随波长变化的规律，称为地物的发射光谱。按地物发射率与波长间的关系绘成的曲线 (横坐标为波长，纵坐标为发射率) 称为地物发射光谱曲线。

图 2-12 是若干种岩浆岩的发射光谱曲线。从图中可见造岩硅酸盐矿物的吸收峰值主要出现在 9—11 μm 波段，岩石中二氧化硅 (SiO₂) 的含量。对发射光谱的特征有直接的影响，其规律为：随着岩石中 SiO₂ 含量的减小，发射率的最低值 (吸收的最大值) 向长波方向迁移，其中英安岩吸收带位于 9.3 μm 附近 (SiO₂ 含量为 68.72%)；花岗岩 (SiO₂ 含量为 68.60%)，强吸收带位于 9.6 μm 附近；霞石玄武岩和蛇纹岩 (SiO₂ 含量各为 40.32% 及 39.14%)，强吸收带则分别在 10.8 μm 附近和 11.3 μm 附近。这种岩石的发射光谱特征，正是岩石的热红外遥感探测波段的选择依据。美国陆地卫星 (Landsat4/5 号) 专题制图仪 TM6 (10.4 μm—12.5 μm 波段)，即是针对区分岩石类型，检测岩石硅化蚀变程度而设置的，以弥补可见光，近红外波段在岩石分类方面的不足。

由于自然界中的地物均不是黑体，所以习惯上测量地物的辐射量常用亮度温度 T_B 来衡量地物的辐射特征。所谓亮度温度是当物体辐射的功率等于某一黑体辐射功率时，该黑体的绝对温度即地物的亮度温度。亮度温度与地物表面的真实温度 T 之间的关系为：

$$T_B = \epsilon T \quad (2-18)$$

式中 T_B 为亮度温度， ϵ 为地物的表面的发射率， $0 < \epsilon < 1$ 。因此，地物的亮度温度总是小于其实际温度。

一般讲，亮度温度 T_B 与发射率 ϵ 及地物表面的真实温度 T 的关系是复杂的，只当 $\epsilon \gg \epsilon_{\max}$ 时（即在瑞利-金斯近似条件下），亮度温度 T_B 等于真实温度 T 与发射率 ϵ 的乘积。显然亮度温度是波长的函数，随波长而变化。

辐射计从高空探测到地物的亮度温度 T_A 可归结为：

$$T_A = T + (1 - \epsilon) T_s \quad (2-19)$$

式中： T_s 为天空辐射温度； T 为地物表面实际温度； ϵ 为地物发射率； $(1 - \epsilon)$ 为地物反射率。

从公式 (2-19) 中看出：

对可见光波段， $\epsilon = 0$ ，而 $T_s > T$ ，所以 $T_A = T_s$ 即 T_A 主要是由太阳反射光所决定。在红外波段，除了特殊地物外，一般来说 ϵ 趋于 1，所以 $T_A = T$ 。因此，可利用红外辐射计来探测地物的表面真实温度。

在微波段，因为 $0 < \epsilon < 1$ ，所以这时地物的亮度温度 T_A ，除了反映地物的表面温度以外，还反映不同地物的不同微波发射率。而微波发射率是与地物本身的电学性质（导电率、电磁率）有关。因此，微波辐射计记录下来的等效温度不是观察地区的真实温度，而是受到多种因素影响的结果，因而使得对微波遥感图像判读更加复杂困难。

要测定地物的发射光谱，首先必须测量地物的发射率。然后根据地物的发射率与波长对应关系可以画出发射光谱曲线，测量地物发射率最简单的方法是通过测量地物的反射率（指近红外）来推求地物的发射率（即 $\epsilon = 1 - \rho$ ）。因为测量地物的反射率要比直接测量发射率简单容易，也便于实现。

三、地物的透射光谱特性

有些地物（如水体和冰），具有透射一定波长的电磁波能力，通常把这些地物叫做透明地物。地物的透射能力一般用透射率表示。透射率就是入射光透射过地物的能量与入射总能量的百分比，用 τ 表示。地物的透射率随着电磁波的波长和地物的性质而不同。例如，水体对 $0.45-0.56 \mu m$ 的蓝绿光波具有一定的透射能力，较混浊水体的透射深度为 $1-2m$ ，一般水体的透射深度可达 $10-20m$ 。又如，波长大于 $1mm$ 的微波对冰体具有透射能力。

一般情况下，绝大多数地物对可见光都没有透射能力。红外线只对具有半导体特征的地物，才有一定的透射能力。微波对地物具有明显的透射能力，这种透射能力主要由入射波的波长而定。因此，在遥感技术中，可以根据它们的特性，选择适当的传感器来探测水下、冰下某些地物的信息。

第三节 大气和环境对遥感的影响

太阳辐射经过大气层入射到地面，而地面对太阳辐射的反射，也要经过大气才能被遥感传感器接收。图 2-13 为通过大气到达空气中传感器的太阳辐射的传输过程示意图。传感器在天底方向所接收到的辐射是两次通过大气而受到衰减的太阳辐射：一次是太阳辐射从大气外界通过倾斜路径到达地面（包括太阳直接辐射和天空光形式的散射辐射）；二次是到达地面的太阳辐射经过地物的反射，垂直向上又一次经过大气。因此，由于大气对太阳辐射的反射、吸收和散射，使传感器在天底方向记录的总辐射亮度 L ，包括地物的辐射亮度 L_s 和天空光的辐射亮度 L_A （云的反射和大气微粒的散射辐射）二部分。即：

$$L=L_s+L_A \quad (2-20)$$

式中： L_s 的数学式为：

$$L_s(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \tau_\beta(\lambda) \tau_z(\lambda) \rho(\lambda) R(\lambda) \sin \beta d\lambda \quad (2-21)$$

式中： $E(\quad)$ ——大气层顶部的太阳光谱辐照度；
 (\quad) ——太阳高度角为 β 时，大气光谱透射率；
 $\tau_z(\quad)$ ——大气在天顶方向的光谱透射率；
 $\rho(\quad)$ ——地物的光谱反射率；
 $R(\quad)$ ——传感器通道的光谱响应曲线。

天空光的辐射亮度 L_A 的数学式为：

$$L_A(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) r(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad (2-22)$$

式中： $r(\quad)$ 表示地球大气的反射和散射因子。由(2-21)和(2-22)式得到传感器任何一个通道记录的总辐射亮度 $L(\quad)$ 为：

$$L(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot [\tau_\beta(\lambda) \cdot \tau_z(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \sin \beta + r(\lambda)] d\lambda \quad (2-23)$$

式(2-23)为空中遥测地面辐射亮度的基本数学模式。它表示出在一定的太阳辐照度和大气条件下，遥感器系统任何一个通道获取的地物辐射亮度，与相应波段地物光谱反射率成正比。每个通道有确定的 $R(\quad)$ 值。

一、大气成分和结构

图 2-3 中的上、下两条曲线，分别为大气层外太阳辐射照度曲线和地面上的太阳辐射照度曲线，两条曲线差异是很明显的，这是大气吸收和散射造成的。同样，由地物本身发射的电磁波通过大气被遥感传感器接收，其能量也受到减弱。这样，大气及其环境变化构成了对遥感探测的影响。大气对通过的电磁波产生吸收、散射和透射的特性，称为大气传输特性，这种特性除了取决于电磁波的波长（随波长不同而不同），还决定于大气成分，以及环境的变化。

(一) 大气成分

地球大气是由多种气体、固态及液态悬浮的微粒混合组成的。大气中的

主要气体包括 N_2 、 O_2 、 H_2O 、 CO 、 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 及 O_3 。此外，悬浮在大气中的微粒有尘埃、冰晶、水滴等，这些弥散在大气中的悬浮物统称为气溶胶，形成霾、雾和云。以地表面为起点，在 80km 以下的大气中，除 H_2O 、 O_3 等少数可变气体外，各种气体均匀混合，所占比例几乎不变，所以把 80km 以下的大气层称为均匀层。在该层中大气物质与太阳辐射相互作用，是使太阳辐射衰减的主要原因。

(二) 大气结构

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。这里简单介绍地球的大气层和大气外层的宇宙空间的情况。

地球大气层包围着地球，大气层没有一个确切的界限，它的厚度一般取 1000km，大气在垂直地表方向上的分布可分为：对流层、平流层、中气层、热层（也称增温层）和大气外层。图 2-14 表示出大气的垂直方向的分层。对流层内经常发生气象变化，是现代航空遥感主要活动的区域。由于大气条件及气溶胶的吸收作用，使电磁波传输受到减弱。因此，在遥感中侧重研究电磁波在该层内的传输特性。

平流层 在该层内电磁波的传输特性与对流层内的传输特性是一样的，只不过电磁波传输表现较为微弱，不同的是在该层内，没有明显的上下混合作用。

中气层 在该层内气温随高度增加而递减，大约在 80km 处气温降到最低点，约 170K，是整个大气圈的最低气温。

热层 也称为增温层，该层内气温随高度增加而急剧递增。该层对遥感使用的可见光、红外直至微波波段的影响较小，基本上是透明的。该层中大气十分稀薄，处于电离状态，故称为电离层，正因为如此，无线电波才能绕地球作远距离传递。热层受太阳活动影响较大，它是人造地球卫星绕地球运行的主要空间。

大气外层 离地面 1000 公里以上直至扩展到几万公里，与星际空间融为一体。层内空气极为稀薄，并不断地向星际空间散逸，该层对卫星运行基本上没有影响。

二、大气对太阳辐射的影响

太阳辐射进入地球之前必然通过大气层，太阳辐射与大气相互作用的结果，是使能量不断减弱。约有 30% 被云层和其它大气成分反射回宇宙空间；约有 17% 被大气吸收，约有 22% 被大气散射；而仅有 31% 的太阳辐射辐射到地面。其中反射作用影响最大，由于云层的反射对电磁波各波段均有强烈影响，造成对遥感信息接受的严重障碍。因此目前在大多数遥感方式中，都只考虑无云天气情况下的大气散射、吸收的衰减作用，这样太阳辐射通过大气的透射率（ τ ）为：

$$\tau = e^{-(\alpha + \sigma)x} \quad (2-24) \text{ 式中：} (\alpha + \sigma) \text{ 为衰}$$

减系数，它是随波长不同而变化，总趋势是随波长的增大，大气衰减系数减少。

α 为大气中气体分子对太阳辐射的吸收系数。

σ 为大气中气体分子，液态和固体杂质等对太阳辐射的散射系数。

x 为路程长度（即通过大气的厚度）。

e 为自然对数的底。

(2-24) 式为大气透射率 () 所表达的大气传输特性, 它与所通过的路程 x (即大气厚度) 和大气的吸收、散射密切相关。其中路程与太阳高度角和至传感器的入射角有关。当高度角越大 (即天顶角越小) 和入射角越小, 大气厚度 x 就越小。透射率就大。反之, 透射率就小。大气的吸收、散射则与大气成分及其微粒大小有关。

(一) 大气的吸收作用

太阳辐射通过大气层时, 大气层中某些成分对太阳辐射产生选择性的吸收, 即把部分太阳辐射能转换为本身内能, 使温度升高。由于各种气体及固体杂质对太阳辐射波长的吸收特性不同, 使有些波段通过大气层到达地面, 而另一些波段则全部被吸收不能到达地面。因此, 造成了许多不同波段的大气吸收带。(图 2-3 中的阴影部分, 表示由于大气中 O_2 、 H_2O 和 CO_2 等强烈吸收, 使太阳辐射能量造成损失)。它们吸收太阳辐射的主要波段有:

氧 (O_2) 大气中氧含量约占 21%, 它主要吸收小于 $0.2\mu m$ 的太阳辐射能量, 在波长 $0.155\mu m$ 处吸收最强, 由于氧的吸收, 在低层大气内几乎观测不到小于 $0.2\mu m$ 的紫外线, 在 $0.6\mu m$ 和 $0.76\mu m$ 附近, 各有一个窄吸收带, 吸收能力较弱。因此, 在高空遥感中很少应用紫外波段。

臭氧 (O_3) 大气中臭氧的含量很少, 只占 0.01-0.1%, 但对太阳辐射能量吸收很强。臭氧有两个吸收带: 一个波长 $0.2—0.36\mu m$ 的强吸收带, 另一个波长为 $0.6\mu m$ 附近的吸收带, 该吸收带处于太阳辐射的最强部分, 因此该带吸收最强。臭氧主要分布在 30km 高度附近, 因而对高度小于 10km 的航空遥感影响不大, 而主要对航天遥感有影响。

水 (H_2O) 水在大气中以气态和液态的形式存在, 它是吸收太阳辐射能量最强的介质。从可见光、红外直至微波波段, 到处都有水的吸收带, 主要吸收带是处于红外和可见光中的红光波段, 其中红外部分吸收最强。例如: 在 $0.5—0.9\mu m$ 有四个窄吸收带, 在 $0.95—2.85\mu m$ 有 5 个宽吸收带。此外, 在 $6.25\mu m$ 附近有个强吸收带。因此, 水气对红外遥感有很大影响, 而水气的含量随时间、地点而变化。

液态水的吸收比水气吸收更强, 但主要是在长波方面。

二氧化碳 (CO_2) 大气中二氧化碳含量很少, 占 0.03%, 它的吸收作用主要在红外区内。例如: 在 $1.35—2.85\mu m$ 有 3 个宽弱吸收带。另外在 $2.7\mu m$ 、 $4.3\mu m$ 与 $14.5\mu m$ 为强吸收带。由于太阳辐射在红外区能量很少, 因此对太阳辐射而言, 这一吸收带可忽略不计。

尘埃 它对太阳辐射也有一定的吸收作用, 但吸收量很少, 当有沙暴、烟雾和火山爆发等发生时, 大气中尘埃急剧增加, 这时它的吸收作用才比较显著。

(二) 大气的散射作用

大气中各种成分对太阳辐射吸收的明显特点, 是吸收带主要位于太阳辐射的紫外和红外区, 而对可见光区基本上是透明的。但当大气中含有大量云、雾、小水滴时, 由于大气散射使得可见光区也变成不透明了。如图 2-3 中两条连续曲线的差值, 表示大气对太阳辐射散射时所造成的损失, 这种散射不同于吸收, 散射不会将辐射能转变成质点本身的内能, 而是只改变了电磁波传播的方向。大气散射作用使部分辐射能由于改变辐射方向, 干扰了传感器

接收，降低了遥感数据的质量，造成影像的模糊，影响遥感资料的判读。

大气散射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衰减的主要原因，散射强度可用散射系数（ γ ）表示，散射系数与电磁波波长有下列关系：

$$\gamma \propto \frac{1}{\lambda^\phi} \quad (2-25)$$

式中： ϕ 为波长的指数，它由大气微粒直径（ d ）的大小决定。

根据辐射的波长与散射微粒的大小之间的关系，散射作用可分为三种：瑞利散射、米氏散射和非选择性散射。

1. 瑞利散射。当微粒的直径（ d ）比辐射波长（ λ ）小得多时，此时散射为瑞利散射。即 $d < \lambda/10$ 。公式2-25中 $\phi = 4$ ， $\gamma \propto \frac{1}{\lambda^4}$ ，主要是由大气

分子对可见光的散射引起的。所以瑞利散射也叫分子散射。由于散射系数与波长的四次方成反比，当波长大于 $1 \mu\text{m}$ 时，瑞利散射基本上可以忽略不计。因此红外线、微波可以不考虑瑞利散射的影响。但对可见光来说，由于波长较短，瑞利散射影响较大。如晴朗天空呈碧蓝色，就是由于大气中的气体分子把波长较短的蓝光散射到天空中的缘故。

2. 米氏散射。当微粒的直径与辐射光的波长差不多时（即 $d \approx \lambda$ ），公式（2-25）中， $\phi = 2$ ， $\gamma \propto \frac{1}{\lambda^2}$ ，称为米氏散射。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 $0.76\text{—}15 \mu\text{m}$ 的红外线的波长差不多，因此，云、雾对红外线的米氏散射是不可忽视的。

3. 非选择性散射。当微粒的直径比波长大多时（即 $d > \lambda$ ）所发生的散射称为非选择性散射。公式（2-25）中， $\phi = 0$ ，散射系数为一常数，散射与波长无关，即任何波长散射强度相同。如大气中的水滴、雾、烟、尘埃等气溶胶对太阳辐射，常常出现这种散射。常见到的云或雾都是由比较大的水滴组成的，符合 $d > \lambda$ ，云或雾之所以看起来是白色，是因为它对各种波长的可见光散射均是相同的。对近红外、中红外波段来说，由于 $d > \lambda$ ，所以属非选择性散射，这种散射将使传感器接收到的数据严重的衰减。

综上所述，太阳辐射的衰减主要是由于散射造成的，散射衰减的类型与强弱主要和波长密切相关。在可见光和近红外波段，瑞利散射是主要的。当波长超过 $1 \mu\text{m}$ 时，可忽略瑞利散射的影响。米氏散射对近紫外直到红外波段的影响都存在。因此，在短波中瑞利散射与米氏散射相当。但在当波长大于 $0.5 \mu\text{m}$ 时，米氏散射超过了瑞利散射的影响。在微波波段，由于波长比云中小雨滴的直径还要大，所以小雨滴对微波波段散射是属于瑞利散射，因此，微波有极强的穿透云层的能力。而红外辐射穿透云层的能力虽然不如微波，但比可见光的穿透能力大10倍以上。

太阳光通过大气要发生散射和吸收，地物反射光在进入传感器前，还要再经过大气并被散射和吸收，这将造成遥感图像的清晰度下降。所以在选择遥感工作波段时，必须考虑到大气层的散射和吸收的影响。

三、大气窗口

综上所述，大气层的反射，吸收和散射作用，削弱了大气层对电磁辐射的透明度。电磁辐射与大气相互作用产生的效应，使得能够穿透大气的辐射，

局限在某些波长范围内。通常把通过大气而较少被反射、吸收或散射的透射率较高的电磁辐射波段称为大气窗口(图 2-15)。因此,遥感传感器选择的探测波段应包含在大气窗口之内,根据地物的光谱特性以及传感器技术的发展。目前使用(或试用)的探测波段,如表 2-7 所列。

表 2-7 大气窗口与遥感光谱通道

电磁波性质	大气窗口	遥感光谱通道	应用条件与成像方式
反射光谱	0.3-1.3 μm	紫外波段 0.300—0.315 μm 0.315—0.400 μm 可见光波段 0.4—0.7 μm 近红外波段 0.7—0.9 μm 0.9—1.1 μm	必须在强光照下,采用摄影方式和扫描方式成像(即只能在白天作业)
	1.5—1.8 μm 2.0—3.5 μm	近红外 1.55—1.75 μm 2.205—2.35 μm	强光照下白天扫描成像
反射和发射混合光谱	3.5—5.5 μm	中红外 3.5—5.5 μm	白天和夜间都能扫描成像
发射光谱	8—14 μm	远红外 10—11 μm 10.4—12.6 μm 8—14 μm	白天和夜间都能扫描成像
	0.05—300cm	W0.53—0.30cm V0.53—0.63cm Q0.63—0.83cm Ka0.83—1.13cm K1.13—1.67cm Ku1.67—2.75cm X2.75—5.2cm C5.21—7.69cm S7.69—19.4cm L19.4—76.9cm P76.9—133cm	有光照和无光照下都能扫描成像

四、环境对地物光谱特性的影响

地物发射或反射光谱特性,受到一系列环境因素的影响。

1. 与地物的物理性状有关。从地物反射光谱特性来说,电磁波从某一地物反射的强度(包括可见光、近红外波段的光谱反射率)与地物的物理性状(如地物表面的颜色、粗糙度、风化状况及含水量情况等)有关。例如,同一地区的红色砂岩,由于它的风化程度和含水量不同,其反射光谱特性有所

差异。风化作用能够引起岩石表面粗糙度和颜色的改变，多数岩石因风化而使表面粗糙度增加或表面颜色变深，导致它们在可见光、近红外波段的光谱反射率下降，下降的幅度随岩石不同而不同。如图 2-16 所示。在潮湿条件下，新鲜面红色砂岩的反射率大于风化面的反射强度。而干燥条件下，其反射率变化恰好相反。如未经变质的玄武岩，由于风化作用，表面粗糙反而降低或表面颜色变浅，从而导致反射率增加。地物表面含水量是影响地物的可见光、近红外反射光谱特性的重要因素。它导致地物反射率的严重下降。在可见光波段的短波部分，湿的红色砂岩反射率下降幅度比较小，而在近红外波段湿的红色砂岩反射率下降幅度明显增大。

2. 与光源的辐射强度有关。地物的反射光谱强度与光源的辐射强度有关。同一地物的反射光谱强度，由于它所处的纬度和海拔高度不同有所差异。太阳是最主要的自然辐射源，在不同纬度上，由于太阳高度不同，照射强度不同，其反射强度也有些差异，海拔高度也会影响到太阳光穿过大气的厚度，也会使地物反射光谱发生变化。

3. 与季节有关。同一地物，在同一地点的反射光谱强度，由于季节不同而有所差异。因为季节不同，太阳高度角也不相同，太阳光到地表面的距离也有所不同。这样，地面所接收到太阳光的能量和反射能量也随之不同。因此，同一地物在不同地区或不同季节，虽然它们的反射光谱曲线大体相似，但其反射率值却有所不同。

4. 与探测时间有关。同一地物，由于探测时间不同，其反射率也不同。一般地说，中午测得反射率大于上午或下午测得的反射率。因此，在进行地物光谱测试中，必须考虑“最佳时间”，以便由于光照几何条件的改变而产生的变异。要控制在允许范围内。

5. 与气象条件有关。同一地物在不同天气条件下，其反射光谱曲线也不一样，一般来说，晴天测得的反射率大于阴天测得的反射率。

总之，地物的光谱特性受到一系列环境因素的影响和干扰，这在应用和分析时，光谱特性这些变化，应引起特别的注意。

复习思考题

1. 遥感技术中常用的电磁波波段有哪些？各有哪些特性？
2. 太阳辐射穿过大气层能量衰减的原因是什么？
3. 什么是大气窗口？常用于遥感的大气窗口有哪些？
4. 植被、沙、雪和湿地的反射光谱各有哪些特点？
5. 影响地物反射光谱、发射光谱的主要因素是什么？
6. 热辐射的定律有哪些？主要内容是什么？
7. 红外辐射和微波辐射是属于什么性质的光谱？两者有哪些异同处？

实习 1 测定地物的光谱反射率

一、目的：通过野外测定地物光谱反射率，认识地物的反射光谱特性及其变化规律。

二、仪器和工具：光谱仪（以单光路棱镜式野外分光光度计为例）、记录表格、铅笔等。

三、野外分光光度计的工作原理：这种仪器结构比较简单，主要由单色仪、标准板、取景器、接收转换装置、指示器和电源箱等组成，如图 2-17 所示。它的工作波长范围从 0.4—1.1 μm，应用相对测量的原理。先用取景器瞄准被测目标物，测量其反射光谱能量。然后在目标物的相应位置上，放一块已知反射率的标准（反射）板，再测量标准板的反射光谱能量。这样从被测目标物（或标准板）反射出来的复色光进入单色仪后，单色仪对复光进行色散分光作用，在波长 0.4—1.1 μm 范围内，分解成单色光。单色光进入接收转换装置，然后通过光电倍增管，把这部分单色光的能量转换成电信号，并通过电子线路放大，由微电流计显示出来。用简单公式推算出地物的反射率。

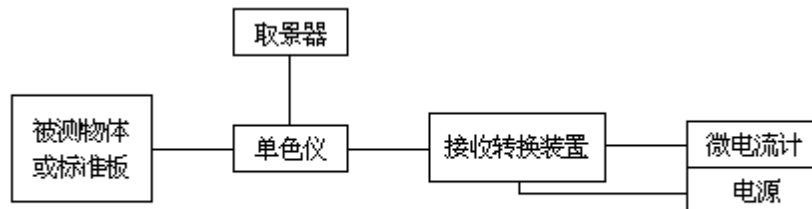


图 2-17 棱镜式野外分光光度计

四、测量步骤：

1. 在单色仪上用某一波长，将取景器对准目标物，读出微电流计上的数值 $I_{物}$ ，记录于表格。

2. 在目标物相应位置上放置一块标准板，将取景器对准标准板后，读出微电流计上的数值 $I_{标}$ ，记录于表格。

3. 在单色仪上变换一定的波长，用同样方法测出 $I_{物}$ 、 $I_{标}$ 。应用公式：

$$\rho_{\lambda物} = \rho_{\lambda标} \cdot \frac{I_{\lambda物}}{I_{\lambda标}}$$

计算出地物在各个波长处的反射率 $\rho_{物}$ 。

式中： $\rho_{物}$ 为被测目标物的反射率； $\rho_{标}$ 为标准板的反射率（预先标定）； $I_{物}$ 为被测目标物反射光所产生的光电流； $I_{标}$ 为标准板反射光所产生的光电流。

4. 根据各地物的反射率与相应波长的关系，绘制反射光谱曲线图。

5. 分析各地物的反射率在各波段的光谱特性，以及它们在航空像片、卫星图像上的影像特征。

五、注意事项：

1. 气象条件。测量时天气要晴朗或略有均匀薄云。为了使测量一个目标物气象条件相同，观测时间应尽量缩短，这样可以消除仪器与目标物（或标

准板)之间的大气影响。

2.测量时间。最佳时间应选在 9 30—15 00,因为这段时间内蒙雾已消失,大气透明度较好,太阳辐射进入稳定状态,太阳高度角在每次测量时变化不大,可以忽略其影响。

3.测量方向。最好采用垂直方向测量,这样一方面可以模拟卫星或飞机飞行时测量条件,另一方面可以消除测量方位和仪器高度的影响。

此外,在野外测量前,必须对仪器和标准板进行定标工作。

第三章 航空遥感与航空像片

航空遥感是以飞机、气球等飞行于大气层中的飞行器作为遥感平台的遥感。

航空遥感获取地面信息的方式有摄影方式和扫描方式。目前航空遥感是以摄影方式为主，其所获取地面的影像称为航空像片。

航空摄影一般可分为四种类型，即单镜头框幅摄影、多镜头框幅摄影、全景摄影和多波段摄影。目前在航空摄影中应用最多的是单镜头框幅摄影。

在扫描方式中，近年来有热红外扫描和侧视雷达。

本章主要介绍框幅航空像片。

第一节 航空摄影

一、航空摄影机

航空摄影机是安装在飞机等飞行器上，在空中对地面拍摄像片的摄影机。它是通过光学系统采用感光材料直接记录地物的反射光谱能量。因此，航空摄影机的结构与普通摄影机（相机）基本相同，但由于空中摄影的特殊要求，在镜头精密程度及结构上则更为精密和复杂，并能根据设计（曝光时间、摄影时间间隔等），可进行自动连续摄影。图 3 - 1 为一种单镜头框幅航空摄影机的结构示意图。

航空摄影机的种类主要有四种，即单镜头框幅航空摄影机、多镜头框幅航空摄影机、条带航空摄影机和全景航空摄影机。其中以单镜头航空摄影机最为常用。

二、影像的形成

航空摄影机在空中对地面摄影成像，其成像过程与一般摄影（照相）是一样的。即通过快门瞬间曝光将镜头收集到的地物反射光线（可见光）直接在感光胶片上感光，形成负像潜影，然后经显影，定影技术处理，得到像片底片；再经底片接触晒印以及显影、定影处理，获得与地面地物亮度一致的（正像）像片，即航空像片。

航空像片上的影像是由于地物各部分反射的光线强度不同，使感光材料上感光程度不同，形成各部分的（黑、白）色调不同所致。

感光材料（不论是感光片或印像纸）主要是由感光乳剂层和片基构成。感光乳剂层由卤化银、明胶和增感染料组成。普通摄影用的黑白胶片一般是全色片，它能感受全部可见光（但对绿光感受较差）。黑白红外胶片的感光层中含有感受红外光的物质，能直接记录人眼看不见的近红外光。彩色胶片是由对蓝、绿、红三种波长分别敏感的三层乳剂组成，能感受全部可见光，经过曝光显影后，形成与地物颜色成互补色的负片，和彩色印像纸接触晒印后，还原成天然彩色像片。

感光材料的性能指标主要有感光度、反差和分辨率。感光度就是感光材料感光的快慢程度，是确定摄影曝光时间的主要参数。在摄影环境相同条件下，感光材料感光度愈大，曝光时间则愈短。反差（ D ）一般是指黑白像片（胶片）全片最大灰度（最暗部分）与最小灰度（透明部分）感光密度值之差。反差（ D ）是感光材料固有的一个特性。反差大的感光材料称为硬性片，影像的黑白差别特明显，但缺少层次；反差小的感光片称为软性片，影像明暗差别不太明显；介于两者间的感光片为中性片，其影像黑白差别较明显，层次又较丰富。感光材料分辨率的大小通常用一毫米宽度内能够清楚地识别出黑、白相间的平行线对数来表示。例如，分辨率为 25 线对/毫米，表示在一毫米宽度内可构成 25 对黑白相间的清晰平行线条（25 线对就是黑色线和白色线相间分布，各 25 条）。分辨率的高低，决定于感光乳剂银盐颗粒的粗细，银盐颗粒细分辨率高。

航空摄影时需要选择感光度、反差适中、有较高分辨率的感光材料。以获得影像清晰、层次丰富的高质量航空像片。

三、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。根据用途的不同，航空摄影可选用不同的方式和感光材料，从而得到功能不同的航空像片。

（一）按像片倾斜角分类

按像片倾斜角分类（像片倾斜角是航空摄影机主光轴与通过透镜中心的地面铅垂线（主垂线）间的夹角），可分为垂直摄影和倾斜摄影（图 3 - 2）。

倾斜角等于 0° 的，是垂直摄影，这时主光轴垂直于地面（与主垂线重合），感光胶片与地面平行。但由于飞行中的各种原因，倾斜角不可能绝对等于 0° ，一般凡倾斜角小于 3° 的称垂直摄影。由垂直摄影获得的像片称为水平像片。水平像片上地物的影像，一般与地面物体顶部的形状基本相似，像片各部分的比例尺大致相同。水平像片能够用来判断各目标的位置关系和量测距离。

倾斜角大于 3° 的，称为倾斜摄影，所获得的像片称为倾斜像片。这种像片可单独使用，也可以与水平像片配合使用。

（二）按摄影的实施方式分类

按摄影的实施方式分类，可分为单片摄影、航线摄影和面积摄影。

单片摄影 为拍摄单独固定目标而进行的摄影称为单片摄影，一般只摄取一张（或一对）像片。

航线摄影 沿一条航线，对地面狭长地区或沿线状地物（铁路、公路等）进行的连续摄影，称为航线摄影。为了使相邻像片的地物能互相衔接以及满足立体观察的需要，相邻像片间需要有一定的重叠，称为航向重叠（图 3 - 3）航向重叠一般应达到 60%，至少不小于 53%。

面积摄影 沿数条航线对较大区域进行连续摄影，称为面积摄影（或区域摄影）。面积摄影要求各航线互相平行。在同一条航线上相邻像片间的航向重叠为 60—53%。相邻航线间的像片也要有一定的重叠，这种重叠称为旁向重叠（图 3 - 3），一般应为 30—15%。实施面积摄影时，通常要求航线与纬线平行，即按东西方向飞行。但有时也按照设计航线飞行。由于在飞行中难免出现一定的偏差，故需要限制航线长度。一般为 60—120km，以保证不偏航，而产生漏摄。

（三）按感光材料分类

可分为全色黑白摄影、黑白红外摄影、彩色摄影、彩色红外摄影和多光谱摄影等。

全色黑白摄影 采用全色黑白感光材料进行的摄影。它对可见光波段（ $0.4—0.76\mu\text{m}$ ）内的各种色光都能感光，是目前应用广，又易收集到的航空遥感资料之一。如我国为测制国家基本地形图摄制的航空像片即属此类。

黑白红外摄影 采用黑白红外感光材料进行的摄影。它能对可见光、近红外光（ $0.4—1.3\mu\text{m}$ ）波段感光，尤其对水体植被反应灵敏，所摄像片具有较高的反差和分辨率。

彩色摄影 彩色像片虽然也是感受可见光波段内的各种色光，但由于它能将物体的自然色彩、明暗度以及深浅表现出来，因此与全色黑白像片相比，

影像更为清晰，分辨能力高。

彩色红外摄影 彩色红外摄影虽然也是感受可见光和近红外波段（0.4—1.3 μm ），但却使绿光感光之后变为蓝色，红光感光之后变为绿色，近红外感光后成为红色，这种彩色红外片与彩色片相比，在色别、明暗度和饱和度上都有很大的不同。例如在彩色片上绿色植物呈绿色，在彩色红外片上却呈红色。由于红外线的波长比可见光的波长长，受大气分子的散射影响小，穿透力强，因此，其彩色红外片色彩要鲜艳得多。

多光谱摄影 多光谱摄影是利用摄影镜头与滤光片的组合，同时对一地区进行不同波段的摄影，取得不同的分波段像片。例如通常采用的四波段摄影，可同时得到蓝、绿、红及近红外波段四张不同的黑白像片，或合成为彩色像片；或将绿、红、近红外三个波段的黑白像片，合成假彩色像片。

目前我国常用的航空像片，像幅有 18cm \times 18cm、23cm \times 23cm 和 30cm \times 30cm 等三种。

在航空像片的四边，通常印有一些摄影状态的记录，如图 3 - 4 所示。

框标 像片四边的中部黑色箭头（或在像片四角隅的“ \times ”标志），称为框标。对称的两框标连线的交点为像片中心点，通常与像主点重合。

时表 记录本张像片的拍摄时刻。

水准器 水准气泡团说明本张像片摄影时光轴的倾斜状况。水准气泡居中时水平。水准器上的同心圆，每圈为 1 $^{\circ}$ （或 0.5 $^{\circ}$ ），读数从中心算起。

压平线 像片四边井字形直线叫压平线，其弯曲度说明摄影时感光胶片未压平而产生的影像变形情况。

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。像片编号是在航空摄影完毕整理资料时，以反体字写在底片的药面上，印成像片后成正体字。

第二节 航空像片的几何特性

一、航空像片属于中心投影

(一) 中心投影

所谓中心投影，就是空间任意直线均通过一固定点（投影中心）投射到一平面（投影平面）上而形成的透视关系。如图 3-5 所示， S 为投影中心， P 为投影平面， SA 为通过投影中心的直线（投影光线）， SA 与 P 的交点 a 为空间点 A 的中心投影。投影平面 P 、投影中心 S 和空间点 A 三者的关系位置是任意的。图 3-5 的 (a)、(b)、(c) 为中心投影三种不同的情况。

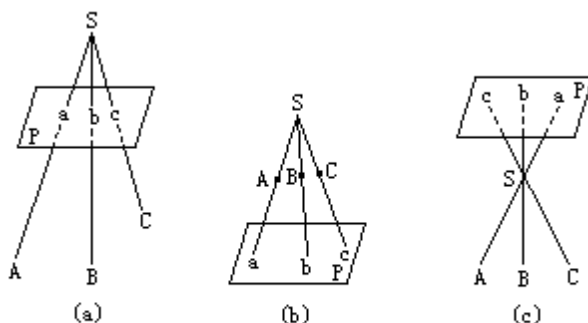


图 3-5 中心投影

航空像片之所以属于中心投影，是由于航空摄影时地面上每一物点所反射的光线，通过镜头中心后，都会聚在焦平面上，同时，每一物点所反射的许多光线中，有一条通过镜头中心而不改变方向，这条光线称为中心光线，所以每一物点在像面上的像，可以视为中心光线与底片的交点，这样在底片上就构成负像，经过接触晒印所获得的航空像片称为正像。从投影上来说，航空像片（正片）的位置，相当以投影中心为圆心，以焦距 f 为半径，将 P 旋转至 P' （图 3-6）， P' 即为正像位置。

(二) 中心投影成像特征

在中心投影上，点的像还是点。直线的像一般仍是直线，但如果直线的延长线通过投影中心时，则该直线的像就是一个点。空间曲线的像一般仍为曲线。但若空间曲线在一个平面上，而该平面又通过投影中心时，它的像则成为直线。掌握这些特征，对认识航空像片上的地物是有帮助的。

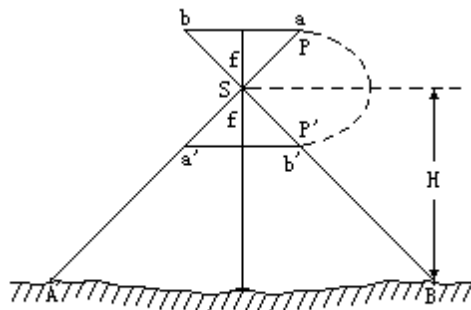


图 3-6 负像与正像

(三) 中心投影和垂直投影的区别

航空像片是中心投影，地形图是垂直投影。两类投影的区别主要表现在三个方面：

1. 投影距离的影响。对于垂直投影，构像比例尺和投影距离无关，如图 3 - 7 (a) ，在 p_1 和 p_2 两投影面上 A、O、B 三点的相应投影位置不变。对于中心投影，则随投影距离（航高）的变化，A、O、B 三点在两投影面上的投影位置就不同（图 3 - 7 (b) ），也就是比例尺取决于航高（物距）和焦距（像距）即：

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{M} \quad (3-1)$$

式中，M 为航空像片比例尺的分母；f 是焦距；H 是航高。

航空摄影机选定以后，焦距就固定了，由于航高的变化，像片比例尺随之改变。航高就是投影距离，故航空像片比例尺受投影距离的影响。

2. 投影面倾斜的影响。对于垂直投影，投影面总是水平的，图上各部分的比例尺是统一的。对于中心投影，若投影面倾斜，则像片各部分的比例尺就不一样，如图 3 - 8 所示。地面上 A、O、B 三点距离相等，在倾斜的投影面上， ao 不等于 ob 。

3. 地形起伏的影响。地形起伏对垂直投影没有影响，如图 3 - 9 (a) 所示。A 与 A_0 虽位于不同高度，但其投影均为 a 。而对中心投影则有影响，在图 3 - 9 (b) 中 A 与 A_0 是位于同一铅垂面上高度不同的点，A 投影为 a ， A_0 投影为 a_0 ， aa_0 是由中心投影所引起的投影差。地形起伏愈大，这种投影差愈大。

根据上述可知，将中心投影变为垂直投影必须统一像片比例尺，纠正因像片倾斜和地形起伏所引起的误差，这是在用航空像片绘制地形图时必须解决的问题。

中心投影和垂直投影虽然存在着投影性质的差别，但当像片水平，地面平坦时，中心投影和垂直投影的成果是相同的，这种航空像片与平面图一样。

（四）航空像片的主要点和线

在一般条件下，绝对水平的像片是很少的，一般航空像片总会有一定倾斜。在这种航空像片上有一些具有特殊性质的点和线，它们对于研究误差规律和像片某些数学特征是很有用的。

在图 3 - 10 中，P 为倾斜像面，S 为镜头中心， P_0 为过 S 的水平面， P_0 与 P 所夹的二面角 α 是像片倾斜角。

像主点 (o)：航空摄影机主光轴 SO 与像面的交点，称为像主点。

像底点 (n)：通过镜头中心 S 的地面铅垂线（主垂线）与像面的交点，称为像底点。

等角点 (c)：主光轴与主垂线的夹角是像片倾斜角 α ，像片倾角的分角线与像面的交点称为等角点。当地面平坦时，只有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。

主纵线与主横线：包括主垂线与主光轴的平面称为主垂面，主垂面与像面的交线 VV 称为主纵线，它在像片上是通过像主点和像底点的直线。与主纵线垂直且通过像主点的 h_0h_0 称为主横线。主纵线与主横线构成像片上的直角坐标轴。

等比线：通过等角点且垂直于主纵线的直线 $h_c h_0$ 称为等比线。在等比线上比例尺不变。

在水平像片上，像主点、像底点和等角点重合，主横线和等比线重合。

二、航空像片比例尺及其测定

(一) 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。

在平坦地区，摄影时像片又处于水平位置，则像片的比例尺处处一致，如图 3 - 11 所示。像片比例尺等于焦距 (f) 与航高 (H) 之比，它与线段的方向和长短无关。例如， $f=70\text{mm}$ ， $H=3500\text{m}$ ，像片的比例尺为 $1/50000$ 。如航高一定，焦距愈大，像片比例尺也愈大。当焦距一定时，航高愈大，像片比例尺愈小。一般在航空摄影时，焦距是固定，航高发生变化时，像片的比例尺不同。但同一张像片上，比例尺是一致的。

实际上，地面是起伏不平的，在每次拍摄像片时，地面到航摄机镜头的距离 (真航高) 各不相同，即使在同一张像片上，因地形起伏使各地面点至投影中心的距离不尽相等。因此，即使像片绝对水平，像片比例尺还是有变化的。如图 3 - 12，A、B、C、D、E、F 为地面点，它们在像片上的影像分别为 a、b、c、d、e、f，AB 在水平面 T_2 上，CD 在水平面 T_0 上，E、F 在水平面 T_1 上，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 则有：

$$\begin{aligned}\frac{cd}{CD} &= \frac{1}{M_0} = \frac{f}{H_0} \\ \frac{ab}{AB} &= \frac{1}{M_2} = \frac{f}{H_0 + H_2} \\ \frac{cf}{EF} &= \frac{1}{M_1} = \frac{f}{H_0 - h_1}\end{aligned}$$

上式说明位于不同高度上的线段，比例尺是不一致的，只有位于同一水平面上的线段在像片上才具有相同的比例尺。因此，水平像片比例尺的一般公式应为：

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H_0 \pm h} \quad (3-2)$$

选择各点的平均高程面作为起始面，根据这个起始面计算的像片比例尺，称为水平像片的平均比例尺。

像片比例尺可根据焦距和航高计算。焦距，一般标明在像片角隅。航高，可向航测单位索取。航测部门提供的航高记录，是用航测高差仪记录的主点航高，用它计算出来的像片比例尺称为“主比例尺”，它只概略地代表该张像片的比例尺。

当像片倾斜时，影像发生倾斜误差，不仅在像片上各部分的比例尺不相同，而且在各点周围不同方向上也不相同，因此，倾斜像片的比例尺应理解为像片上无穷小线段与地面上相应线段之比。

(二) 像片比例尺测定

1. 平坦地区。在平坦地区，当像片倾角小于 1° 时，由于地形起伏和像片倾斜所引起的误差很小，像片上各部分比例尺变化也很小，故可用像片的平均比例尺作为像片的比例尺。

平坦地区测定像片比例尺时，通常是在像片的四个角隅，选择四个明显

的地物点 $N_1N_2N_3N_4$ (图 3 - 13), 连接两对角线, 并量出它们在像片上的长度 d_1d_2 , 其相应的地面长度 D_1D_2 , 可由地形图上量得, 也可在实地测量, 则像片比例尺

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{2} \left(\frac{d_1}{D_1} + \frac{d_2}{D_2} \right) \quad (3-3)$$

2. 丘陵地区。丘陵地区由于地形起伏引起投影差, 使像片各处的比例尺不一致, 所以不能采用上述像片平均比例尺的方法, 而必须按测站求各点的平均比例尺。如图 3 - 14 所示, 在测站 i 附近选择两个与测站大致同高且与测站的连线近于正交的明显地物点 N_1N_2 , 在像片上量出测站 i 至地物点 N_1N_2 的长度 d_1d_2 , 并测出它们的实地长度 D_1D_2 , 则测站附近的平均比例尺为:

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{2} \left(\frac{d_1}{D_1} + \frac{d_2}{D_2} \right) \quad (3-4)$$

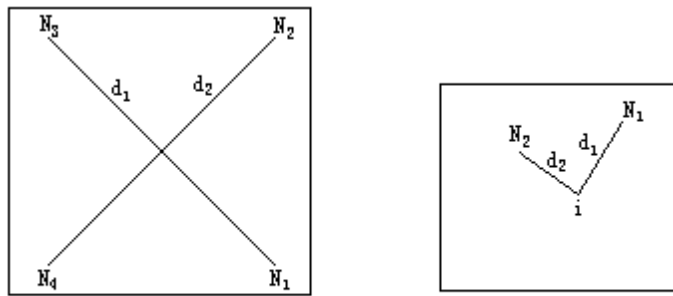


图 3-13 平坦地区像片比例尺测定 图 3-14 丘陵地区像片比例尺测定

三、像点位移

(一) 因地形起伏引起的像点位移 (又称投影差)

水平像片的比例尺因地形起伏的影响而有变化, 这是因为航空像片是地面的中心投影造成的。航空像片上, 高出或低于起始面的地物点在像片上的像点位置, 与在平面上的位置比较, 产生了位置的移动, 这就是因地形起伏的像点位移, 也称投影误差 (投影差)。

在图 3 - 15 中, T_0 为选定的起始面; A 点高出起始面, 高差为 h_a ; B 低于起始面, 高差为 h_b , A、B 在起始面上的垂直投影点为 A_0 、 B_0 ; A、B 在像片上的影像为 a 、 b , 而 A_0 、 B_0 在像片上的影像为 a_0 、 b_0 , 像片上线段 aa_0 与 bb_0 就是因地形起伏引起的像点位移。

以 δ_h 表示像点位移 (aa_0 、 bb_0), 以 r 表示像点到像主点的距离 (即 a_0 、 b_0), h 表示像点的高差 (即物点相对起始面的高差 h_a 、 h_b), 依照它们之间的几何关系, 则可写出像点位移的一般公式 (详细证明可参考其它专著):

$$\delta_h = \frac{h}{H} r \quad (3-5)$$

根据上式可总结出以下几点规律:

1. 投影差大小与像点距离像主点的距离成正比, 即距离像主点愈远, 投影差愈大。像片中心部分投影差小, 像主点是唯一不因高差而产生投影差的点。

2. 投影差大小与高差成正比，高差愈大，投影差也愈大。高差为正时，投影差为正即像点离像点向外移动；高差为负时（即低于起始面），投影差为负，即像点向着中心点移动。

3. 投影差与航高成反比，即航高愈高，投影差愈小。

（二）因像片倾斜引起的像点位移（又称倾斜误差）

若航空摄影时，像面未能保持水平，将因投影面倾斜，而使像的位置发生变化，这就是因像片倾斜引起的像点位移。当倾斜角很小时，这种误差是不易观察出来的。

图 3 - 16 中， P_0 与 P 为同一摄影站的水平像片和倾斜像片，地面上任意点 A 在水平像片和倾斜像片的像点分别为 a_0 和 a ， c 为等角点， h_c 为等比线。为研究像点 a 的位移，假设将像面 P_0 以等比线为轴旋转 α 角，使之与 P 重合，便可看出 a 与 a_0 不重合，设 $a_0 = a$ ， $ca = r_c$ ，因像片倾斜所产生的像点位移 δ_α ，可用下式表示：

$$\delta_\alpha = -\frac{r_c^2}{f} \sin \phi \sin \alpha \quad (3-6)$$

式中： r_c （向径）为倾斜像片上像点到等角点的距离， ϕ 为等比线与像点向径之间夹角； α 为像片倾斜角； f 为航摄机焦距。

根据上述，可得出倾斜误差的几点规律：

1. 倾斜误差的方向是在像点与等角点的连线上。
2. 倾斜误差与像点距等角点距离的平方成正比。
3. 当 $\alpha = 0^\circ$ 或 $\alpha = 180^\circ$ ， $\delta_\alpha = 0$ ，即在等比线上的像点不因像片倾斜而产生位移。

4. 当 $\alpha = 90^\circ$ 或 $\alpha = 270^\circ$ 时， $|\sin \alpha| = 1$ ，即在主纵线上像点倾斜

误差最大： δ_α （最大） $= -\frac{r_c^2}{f} \sin \alpha$

一般情况下， α 均小于 3° ， $\sin \alpha$ 用弧度值表示，则

$$\delta_\alpha$$
（最大） $= -\frac{r_c^2 \alpha^\circ}{f \rho^\circ}$ （ $\rho^\circ = 57.3^\circ$ ）

设 $f=70\text{mm}$ ， $\alpha=3^\circ$ ， $r=100\text{mm}$

$$\text{则 } \delta_\alpha$$
（最大） $= -\frac{100 \times 3}{70 \times 57.3} = 7.5\text{mm}$

由计算结果可以看出，像片边缘的倾斜误差是相当大的。因此尽可能地使用像片中心部分。

5. δ_α 的符号因 $\sin \alpha$ 而定，如图 3 - 17 所示。当 α 角在 $0—180^\circ$ 之间，则 δ_α 为负，即像点向着等角方向移动；当 α 角在 $180—360^\circ$ 之间，则 δ_α 为正，即像点背着等角点方向外移动。因此，水平像片上的矩形图形，在倾斜像片上则变为梯形。它以等比线为界，包含像主点部分，图形变小；包含像底点部分，图形变大。

6. 因 $\sin(180^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$ ，若 r_c 为定值，则对称等角点的像点，其倾斜误差的大小相等，方向相反。这一点对于计算像片比例尺及航高有重

要意义。

通常使用的水平像片，误差主要来源于地形起伏，像片边缘部分误差大。工作中只使用像片的中间部分，这部分称为航空像片的使用面积。一张像片的使用面积一般可由像片的航向重叠和旁向重叠部分的中线（或距中线不超过 1cm 的线）所围成（图 3—18）。

第三节 航空像片的立体观察与量测

一、立体观察原理

用光学仪器或肉眼对一定重叠率的像对进行观察，获得地物和地形的光学立体模型，称为像片的立体观察，它的原理是根据人对物体的双眼观察。

(一) 人眼的构造

人眼好象一只完善的、能自动调节焦距、光圈的摄影机。从光学观点来看，可分两大部分：水晶体和网膜（图 3 - 19）。水晶体的作用相当于摄影机的物镜，水晶体的四周有韧带起伸缩作用，以改变水晶体的表面曲率，以能自动改变焦距获得远、近清晰的物像。瞳孔好似光圈，能自动调解光量。网膜相当于底片，能感光产生视觉。网膜中部对着水晶体中心的为黄斑，黄斑中有直径 0.4mm 的网膜窝，它是网膜中感光最强的部分。通过网膜窝中心和水晶体光心的连线称视轴。当人们注视某物点时，视轴能自动转向某点。

一般观察物体时，能看清物体的细节，而眼又不感到紧张疲劳，此时水晶体的焦距为 22.79mm，相应的物距为 250mm。250mm 称为正常视力的明视距离。

所谓眼的视力，又称眼的分辨率，是眼睛能够辨认最小物体的能力，通常用人眼清楚观察到区分最小物体之间的距离对眼睛张开的角度来表示。人眼的分辨率一般是 $1'$ 。就是说假如有两个点，它们之间的距离在人眼中所形成的夹角若小于 $1'$ 就会把它们看成是一个点，因而称 $1'$ 是人眼的分辨率。

眼的视力受许多条件影响，主要是照度的变化。在精密测量工作中，往往用加大照度来增强视力。人眼对辨认线状物体的视力比辨认点状物体的视力要强。例如有一个圆球的直径与一根电线断面的直径相等，人眼能看见电线的最远距离，比看见圆球的最远距离要大好多倍。

(二) 单眼观察

单眼观察物体时，只有一个眼睛的视轴指向所观察的物体，不易分辨物体的远近，也就是不易辨别出物体的景深。如图 3 - 20，当观察点由 A_1 移到 A_2 时，物体在视网膜上的物像由 a_1 移到 a_2 ，表现为平面上的移动，如果 A_2 沿 SA_2 方向移到 A_3 ，仅引起了眼睛的调节作用，而点在视网膜上位置不变。因此用单眼观察物体，就不易分辨出物体的远近，而只能凭经验判断，例如黑板把墙壁遮盖了一部分，就知道黑板比墙近。

(三) 双眼观察

用双眼观察空间物体时，可以容易地判定物体的远近，这种现象叫做天然立体观察。如图 3 - 21 所示，双眼观察时，两视轴交会于地物点上，其交角称为交会角（又称视差角）。地物点愈远，交会角愈小；地物愈近，交会角愈大。交会角 ν 可按下式计算：

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\nu}{2}\right) = \frac{b}{2D} \quad (3-7)$$

式中： b 为眼基线； D 为地物点至眼睛的距离。

若取 $b=65\text{mm}$ ， $D=250\text{mm}$ ，则

$$\operatorname{tg}\left(\frac{v}{2}\right) = \frac{65}{2 \times 250} = 0.13 \quad v = 15^\circ$$

即明视距离的交会角为 15° 。

若取 $D=120\text{mm}$ ， $b=58\text{mm}$ 或 72mm ，可得最大交会角为 $27^\circ - 33^\circ$ 。

由图 3 - 21 还可以看出双眼观察的另一特点是，地物点的空间位置不同，它们在两眼视网膜上的像点分布状况就不相同，这种差别称为生理视差。它是因地物点对每只眼睛的相对位置不同所引起的。所以生理视差是产生立体感觉的原因。

当视轴向旁侧斜视时，被观察的物点至两眼的距离不等，因而在视网膜上产生的物像比例尺就有差别（图 3 - 22）。当视轴偏斜 45° （根据实验两眼的旁向最大偏斜为 $\pm 45^\circ$ ），而且所观察的物点在明视距离处，网膜上影像比例尺之差约为 13.5%，如果网膜上物像比例尺之差达到 16% 时，立体效应就开始破坏，产生双影。

如果所观察的物点，在两眼物像不位于一个视平面上，也会产生双影。正常人眼在天然立体观察中，一般不会发生双影现象。但像片立体观察中如果没有满足一定条件，则会产生双影。

二、像对的立体观察条件

像对立体观察是指用双眼对相邻两摄影站对同一地区摄取的两张像片进行观察，而生成空间光学立体模型的观察过程。

假设人们安置两个焦距相等的摄影机，使两镜头中心的距离约等于眼基线，两摄影机光轴互相平行，摄取两张像片，如图 3 - 23。 S_1 和 S_2 表示两摄影机镜头中心， P_1 和 P_2 为两张像片，物点 A、B 在两张像片上的像点分别为 a_1 、 b_1 和 a_2 、 b_2 ，现换用两眼来看像片，观察时两眼处于 S_1 和 S_2 的位置，并使左右两眼分别看左右两张像片。各像点在网膜上成像为 a_1 、 b_1 和 a_2 、 b_2 ，其相应视线 S_1a_1 和 S_2a_2 ， S_1b_1 和 S_2b_2 必在空间相交，其交点为物点 A、B 的原有位置，A 点浮于 B 点之上。同样其它各相应视线的交点表示出对应的物点，这样构成了立体模型。

根据天然立体观察的性质，必须满足下列条件，才能将像对构成光学立体模型：

1. 必须是由不同的摄影站对同一地区所摄影的两张像片。
2. 两张像片的比例尺相差不得超过 16%。
3. 两眼必须分别各看两张像片上的相应影像，即左眼看左像，右眼看右像。
4. 像片所安放的位置，必须能使相应视线成对相交，相应点的连线与眼基线平行。

三、用立体镜进行像对立体观察

分析上述像对立体观察的四个条件，可以发现有三个条件是摄影和安置像片时比较容易做到的，而其中左眼看左像，右眼看右像这个条件，若用肉眼直接观察是比较困难的。因为像片位于明视距离处，而要控制视轴平行是很不容易的，若借用立体镜观察，则能容易做到。

(一) 立体镜的构造

立体镜有桥式立体镜和反光立体镜两种：

1. 桥式立体镜 (图 3-24)。它是在镜架上装两个透镜构成，两透镜中心的距离等于眼基线。这种透镜具有放大作用，使影像更加清晰。仪器的支架使像片正处在焦平面上，影像的光线经过透镜后，平行进入眼中，而观察的物体好象位于无穷远处一样。仪器的镜框可以左右调节，使眼基线与透镜基线一致，这样眼睛感觉较舒适而不易疲劳。这种立体镜一般只能观察像片重叠部分的一半，便于在野外使用。

2. 反光立体镜 (图 3-25)。它除了有放大镜外，还有四片两两互相平行的反光镜，在适合眼基线长度范围内装两小块倾斜 45° 的反光镜，再在适当位置，装两块与其平行的大块反光镜，凸透镜直接装在两块反光镜之间，或水平装在小块反光镜之上。它的焦距等于凸透镜沿光路至像平面的距离。这样可以观察 23—30cm 边长的大像幅立体像对，反光立体镜常配有视差杆，可用来测定像点间高差。

(二) 用立体镜观察像片的方法

用立体镜进行像对立体观察时，首先要将像片定向。像片定向是用针刺出每张像主点 O_1 、 O_2 ，并将其转刺于相邻像片上 $O_{1'}$ 和 $O_{2'}$ ，在像片上画出像片基线 O_1O_2 和 $O_{1'}O_{2'}$ ，再在图纸上画一条直线，使两张像片上基线 O_1O_2 和 $O_{1'}O_{2'}$ 与直线重合 (图 3-26)，并使基线上一对相应像点间的距离略小于立体镜的观察基线。然后将立体镜放在像对上，使立体镜观察基线与像片基线平行。同时用左眼看左像，右眼看右像。

开始观察时，可能会有三个相同的影像 (左、中、右) 出现，这时要凝视中间清晰的目标 (如道路、田地)，如该目标在中间的影像出现双影，可适当转动像片，使影像重合，即可看出立体。

(三) 用立体镜观察立体像对时应注意的事项

在天然立体观察时，两眼视轴经常是与眼基线在一个平面上的，各相应视线也同样与眼基线在一个平面上。当用立体镜观察时，就可能破坏这种情况。例如，两张像片基线不在一条直线上就会增加眼睛的疲劳，而且超过一定的限度以后，就会完全破坏立体效应。因此，在用立体镜观察像对时，应尽可能地符合天然立体观察时的情况，只有这样，才能看到清晰的立体，观察时也不致于感到疲劳。

进行立体观察时，像片必须按照摄影时的相应位置放置，即重叠部分在中央，此时产生的是正立体。如果左右两张像片对调，则产生反立体，即观察得到的立体感与实际情况相反，高山看起来变成深谷。

(四) 光学立体模型的变形

在立体镜下看到的光学立体模型比实际地形起伏有所夸大，这是因为光学立体模型的垂直比例尺与水平比例尺不一致的缘故。光学立体模型的变形量可用变形系数 K 来表示，当眼基线与两张像片像主点的距离大致相等时， K 值的近似公式为：

$$K = \frac{d}{f} \quad (3-8)$$

式中： d 为立体镜焦距， f 为航摄机焦距。

例如，航摄机焦距为 100mm，立体镜焦距为 250mm，则 $K=2.5$ ，即地形起伏被近似夸大了 2.5 倍。

四、在像片上量测像点的高程差

(一) 像点的坐标

根据像对构成的立体模型，除了供观察地形起伏外，还可以用来测量地形像点间的高差。

分析比较像对上同名地物影像时，可以发现由于从不同角度摄影，使两张像片上同名像点在像片上的位置不同。在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来决定的。

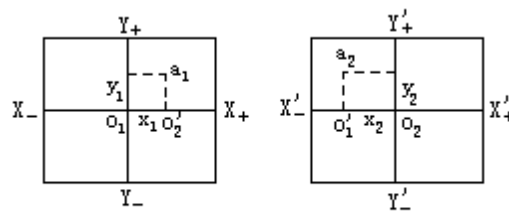


图 3-27 像片的直角坐标

在立体量测时，像对是量测的基本对象，两像片的坐标轴是共同的，通常是将像主点作为这个坐标系的原点， x 轴是两张像片上像主点的连线， y 轴是通过像主点垂直于 x 轴的直线，因此在每一个立体像对中，具有一个横坐标轴 x 和两个纵坐标轴 y 和 y' （图 3-27）。

在测第二个像对时， x 轴的方向就改变了，因为它是以第二张像片和第三张像片的像主点的连线来作为 x 轴的（而不是第一张像片和第二张像片像主点的连线作为 x 轴）。由于这样，纵轴 y 的方向线亦改变了。因此第二张像片上可能有二个不相同的坐标轴线。

每一像点的直角坐标，在一个立体像对中有 x_1 、 x_2 和 y_1 、 y_2 ，如图 3-27 所示，其中坐标值 x_1 、 y_1 表示左像片上某一点 a_1 的位置，而坐标值 x_2 、 y_2 是右像片上同名点 a_2 的位置。 x 值在像主点右边为正，左边为负； y 值在像主点上边为正，下边为负。

(二) 像点的高差与左右视差的关系

像对上同名地物点的横坐标差称为左右视差（横坐标差），如图 3-28 所示，地面点 A 在左右两像片上的影像分别为 a_1 、 a_2 ，点在左像片上的横坐标为 x_{a_1} ，在右像片上的横坐标为 x_{a_2} ，A 点左右视差 $P_a = x_{a_1} - x_{a_2}$ 。同样，C 点的左右视差 $P_c = x_{c_1} - x_{c_2}$ 。下面我们来研究根据像点左右视差求算像点间高差的公式。

在图 3-28 中，地面上 A、C 两点的高差 $h = H_c - H_A$ （以 A 为基准点）， S_1S_2 为摄影基线实长， $P_a = x_{a_1} - x_{a_2}$ ， $P_c = x_{c_1} - x_{c_2}$ ，表示 A 点和 C 点的左右视差，根据它们的几何关系（图中 $S_1a_2a_1$ 与 S_2AS_1 ），用相似三角形对应边的比可推导得到高差与左右视差的关系公式，即：

$$h = \frac{P \cdot H_A}{b + P} \quad (3-9)$$

式中： h 为 C 点相对基准点 A 的高（程）差； P 为 c 、 a 两像点间的左

右视差较 ($P_c - P_a$)，即 C 像点的左右视差相对 A 像点的左右视差的差数；b 为像片上摄影基线长 (即 O_1O_2 或 O_2O_1 长度)； H_A 为基准点的航高 (或平均航高)。

在一个像对上，可用下列简便方法，求出各点的近似高差。首先确定两张像片像主点的位置 O_1 和 O_2 。并将其转刺于相邻的像片上，根据两像片求出像片的平均基线长 b ($O_1O_2 + O_2O_1$)。再用脚规和带有毫米刻划的直尺 (量测精度要达到 0.1mm，可用放大镜测量) 在两张像片上量测各点横坐标。计算各点的左右视差 P_a 、 P_c 和左右视差较 P ($P_c - P_a$)，即可求出各点间的高差。

例如，在两张像片上都有地面点 A 和 C 的影像，它们在左像片上的位置为 a_1 和 c_1 ，在右像片上为 a_2 和 c_2 。已知 $H_A = 3500\text{m}$ ，量出 $b = 61.3\text{mm}$ ， $x_{a_1} = 19.0\text{mm}$ ， $x_{a_2} = -41.3\text{mm}$ ； $x_{c_1} = +51.3\text{mm}$ ， $x_{c_2} = -12.0\text{mm}$ 。求 A、C 两点间的高差。

$$A \text{ 点的左右视差 } P_a = x_{a_1} - x_{a_2} = 19.0 + 41.3 = 60.3\text{mm}$$

$$C \text{ 点的左右视差 } P_c = x_{c_1} - x_{c_2} = 51.3 + 12.0 = 63.3\text{mm}$$

$$A、C \text{ 两点的左右视差较 } P = P_c - P_a = 63.3 - 60.3 = 3.0\text{mm}$$

$$\text{两点间的高度 } h = \frac{P \cdot H}{b + P} = \frac{3.0 \times 3500}{61.3 + 3.0} = 163.3(\text{m})$$

即 C 点比 A 点高 163.3m。

用直尺量测横坐标，从而计算左右视差和左右视差较，再计算出高差的方法比较烦琐，一般在实际工作中，常采用仪器量测左右视差较的方法。

(三) 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，其构造如图 3 - 29 所示。视差杆的左右两端装有两块玻璃 (称为视差板)，在玻璃的中央刻有红色的小圆或十字线标志，作为量测左右视差时立体观测的两个测标，左边的视差板可以沿视差杆左右移动到所需要的位置，再用螺旋 B 固定。右边的视差固定在视差杆的套筒上，当旋转视差螺旋 C 时，可以使它沿视差杆左右移动，改变两个测标之间的距离，其改变的毫米数值可以在视差杆上读出，小于毫米的数值可以在测微鼓 D 上读出。测微鼓上刻划为 100 格，每转 1 周 (100 格) 相当于 1mm，读数可读至 0.01mm。右测标移动范围为 0 ~ 4cm，超过这个范围时，则须预先移动左测标。

使用视差杆可按下列步骤进行：

1. 在立体镜下固定像片时，首先使像片构成光学立体模型，然后固定像片。

2. 安置视差杆，在立体镜下将视差杆安置在像片上，使视差板上十字测标的间距约等于像对上同名像点的间距，杆身和基线平行。

3. 量测像片的左右视差较，使左方测标对准像片上某一像点，转动视差螺旋移动右方测标 (视差螺旋顺时针旋转时，两视差板间距扩大，测标在立体观察中下降；视差螺旋逆时针旋转时，测标上升)，使空间测标刚好与某地面点相切时读数。然后，移至另一像点上，同法读出读数。这两次读数之差即为左右视差较。

最后应该指出的是，利用左右视差量测高差，会产生一定误差。因为高差公式是根据航空摄影机光轴垂直、像面水平以及摄影基线位于同一水平线的情况下推算出来的。而实际摄影过程中，完全保持上述条件是很困难的，因此根据左右视差量测的高差，只是两点间高差的近似值。

复习思考题

1. 航空像片一般有哪几种？一般常用哪几种像片，它们各有什么特点？
2. 中心投影有哪些特征？中心投影与垂直投影有哪些不同？
3. 何谓航空像片的平均比例尺、主比例尺？
4. 什么是航空像片的投影差？投影差变化的规律是什么？
5. 利用像对进行立体观察，必须具备哪些条件？
6. 说明利用像对测定高差的原理。

实习 2 航空像片比例尺测定

一、目的：通过实习使学生进一步了解航空像片比例尺的意义。在野外判读时能将实地距离换算为像片上的距离，或将像片上的距离换算为实地的相应距离。

二、要求：

1. 每个同学测定一张航空像片比例尺。
2. 测定的两组比例尺分母（即 M_1 、 M_2 ）之差，不得大于较大一个分母的 $1/80$ 。例如 $M_1=26000$ ， $M_2=25700$ ， $26000 \times 1/80=325$ ，而 $M_1-M_2=300 < 325$ 即认为合格，取其平均数作为该张像片平均比例尺的分母，即 $M=1/2(M_1 + M_2)$ 。上例中其像片比例尺分母 $M=1/2(26000 + 25700) = 25850$ 。

三、步骤：

1. 在像片四角附近各选择一个明显地物点（这些点在地图上必须能够找到其相应位置），如图 4-16 中所示，其对角线的交点大致通过像主点附近，并量测对角线的长度 d_1 、 d_2 。
2. 在地形图上量取像片上相应于对角线的长度 d_1 、 d_2 。
3. 将 d_1 、 d_2 乘地形图比例尺分母 M ，得到实地距离 D_1 、 D_2 。
4. 按下式计算像片比例尺分母

$$M = \frac{1}{2} (M_1 + M_2) = \frac{1}{2} \left(\frac{D_1}{d_1} + \frac{D_2}{d_2} \right)$$

式中： M_1 、 M_2 为像片上两组比例尺分母； M 为像片平均比例尺分母， d_1 、 d_2 为像片上两点间的距离； D_1 、 D_2 为对应于像片上两点间的实地距离。

注：（1）此法仅适用于平坦地区求像片比例尺，其精度比较低，如要精度高，则需要野外实测出对应点间的距离。

（2）丘陵地区像片因受投影差和倾斜误差的影响，不能用一个平均比例尺来代替整张像片不同高度地区的比例尺，因此必须按各不同高度地区分别求像片比例尺。

实习3 立体观察练习

一、目的：立体观察是地理工作者一项基本功，特别是在山区，立体观察能提高判读效果，因此必须学会立体观察。

二、要求：每个学生都要学会立体观察。

三、立体观察

(一) 几何图形的立体观察

1. 用桥式立体镜观察附图，并指出观察到的是什么图形？

2. 不用立体镜观察此图，可用一张硬纸片（大约 $12 \times 18\text{cm}$ ）垂直放在左图和右图之间，使左眼只看左图，右眼只看右图。初看时有二个图形渐渐靠拢成为一个立体模型，这时将中间硬纸片抽掉，仍然有立体模型存在（此时左眼仍保持看左图，右眼仍保持看右图）。试练习是否能看到立体模型，它与桥式立体镜所看到的有什么不同，如大小、形状、难易程度等。

(二) 像对立体观察

1. 在立体镜下安置像片时，应使两张像片的基线在一条直线上，然后将立体镜基线距离调整到与两眼距离（即眼基线大致相等，并使立体镜基线方向与像片基线平行。

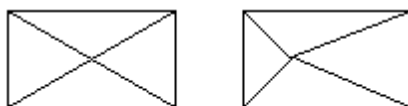


图 3-30 立体观察图

2. 观察时，眼睛接近立体镜，若同一地物影像出现，双影，是由于两张像片相隔太远或太近（即两张像片的相应点距离大于或小于眼基线），或是两张像片的基线未在一一直线上等原因所造成的，这时应慢慢移动像片，使两张像片的基线在一一直线上，并使两张像片的间隔适当，直至影像重合。重合后只要仔细观察就会出现立体。

3. 在立体观察时，像片的阴影部分尽量对着自己，这样对观察立体有很大帮助，可以提高立体观察效果。因为人的生理比较适应光线从人的对方照射过来。

实习 4 反光立体镜测定像点高程差

一、目的：通过实习使学生加深理解横坐标、左右视差和左右视差较的概念。利用简单的工具在像片上量测横坐标，左右视差和左右视差较，并计算像点间高程差。

二、要求：

1. 每个学生至少要在一个像对上量测 5—10 个点。
 2. 选择左像片像主点附近的明显地物点作为该像对高程起始点（假设其高程为 500m）求量测点的初算高程。

3. 左右视差读数，每点须读二次，其差数不超过 0.1mm。然后取其平均值作为最后结果。

三、实习步骤：详见第三章第四节四。

反光立体镜测定像点高程计算表

班级_____组别_____姓名_____日期_____

$$H_A = (\text{航高}) \quad b = \frac{b_1 + b_2}{2} =$$

点号	同名像点的横坐标读数		左右视差 P	左右视差较 P	像点相对 高差 h	注
	左像片 平均读数	右像片 平均读数				
起始点 A			$P_A =$	/	/	相对 A 点高差 M
1						
2						
M						

第四章 航空像片目视判读

航空像片目视判读是凭借人眼观察或借助简单的仪器（立体镜、放大镜等）对航空像片进行量测和分析，以获取所需要的地面各种信息的过程。

航空像片的目视判读效果，决定于航空像片的质量和判读人员的专业水平与判读经验。一般来说，专业知识越丰富，判读经验越多，其判读效果就越好。

目前，航空遥感图像有黑白全色像片、天然彩色像片、黑白红外像片、彩色红外像片和雷达图象等。为了测绘地形图，我国摄制了大量不同比例尺的黑白全色航空像片，基本上覆盖了全国领土。这些黑白全色航空像片容易取得，是航空遥感应用的基本图像资料之一。本章重点介绍黑白全色航空像片的判读原理和方法，其它航空遥感图像，只介绍其主要特点，说明与黑白全色像片的不同之处。

第一节 航空像片目视判读的方法和步骤

一、航空像片判读标志

在航空像片上，不同地物有其不同的影像特征，这些影像特征是判读各种地物的依据，称为判读标志。

航空像片判读标志是地物本身性质、形态等特征在像片上的反映。因此，根据影像标志可以直接从像片上辨认出地物的属性及其空间分布等特征。如影像的形状、大小、色调及阴影等都是常用的航空像片判读标志。

(一) 形状

任何地物都具有一定的几何形状，由于地物各部分反射光线的强弱不同，故在像片上反映出相应的形状。依据影像的形状特征，就可以辨认出其相应的地物。例如：居民地的房屋影像一般均表现为规则的方块状图形，河流常呈弯曲的带状等。

航空像片上地物影像的形状，一般与风景照片上看到的有所不同。风景照片上呈现的地物影像形状通常是地物的侧面形状，而航空像片上的影像是地物的顶部形态。由于航空像片受中心投影性质的影响，具有一定高度的地物，在同一幅航空像片的不同部位，形状是有变化的。在像片中心，无像点位移，看到的是地物顶部的形状；离开像片中心点，就会产生像点位移，在像片四周边缘像点位移最大，变形也最大。只有位于同一高度平面的地物，如湖泊、平坦耕地等，无论在像片的任何部位，其形状与实际地物的形状相似，没有畸变。图 4-1 是航空像片树木的影像示意图。位于像主点上的树木 2，影像反映的是树木顶部树冠形状。在像片边缘的树木 1 和树木 3，影像反映的则是树木斜侧面的形状。

地物影像形状的这种变化，给初学者进行像片判读带来一时不便。但在掌握了航空像片成像规律之后，就可全面地观察研究地物的形状变化，有利于辨认地物的性质。

(二) 大小

地物影像的（尺寸）大小，不仅能反映地物的一些数量特征，而且还能据此判断地物的性质。例如单轨铁路和双轨铁路从形状上往往不易分辨，但是量算它们的宽度，则易于区别。

地物影像大小取决于地物本身尺寸和像片比例尺。要正确判定地物的大小，必须了解像片的比例尺。一般量测像片上影像大小的方法和地形图上相同，其计算公式如下：

$$L=l \times M \quad (4-1)$$

式中：L——地物实际尺寸；l——相应地物的影像尺寸；M——航空像片比例尺的分母。

航空像片是中心投影，地势高低和像片倾斜对像片比例尺和影像大小都产生影响。在同一幅航空像片上，同样尺寸的地物，位于高处者影像尺寸就大些，位于低处者影像尺寸就小。航空像片倾斜，像片上不同部位的比例尺也不一样，同样也影响地物影像尺寸的大小。所以，准确确定地物大小，最好求出地物所在位置的准确比例尺。

通常将航空像片上能分辨出最小地物的大小称为像片分辨率（或地面分

分辨率)。其主要决定于像片比例尺和影像分辨率(即像片或底片上1mm距离内能分辨出(黑白)线对数;影像分辨率主要决定于航摄机镜头分辨力和感光材料分辨力的综合影响)。

像片分辨率(D),可由下式计算出

$$D = (1/R_s) \cdot M \quad (4-2)$$

式中:1/R_s是其影像分辨率的倒数(以1mm计的一对线条可分辨的宽度);M为像片比例尺分母。例如:已知像片影像分辨率为20线对/mm,像片比例尺为1/10000,其像片分辨率为

$$D = (1/20) \cdot 10000 = 500 \text{ (mm)} = 0.5 \text{ (m)}$$

即该像片只能分辨出大于0.5m以上的地物,小于0.5m的地物,像片上一般就分辨不清了。因此,工作时,应依工作需要选择适宜的像片分辨率的航空像片进行工作。

(三) 色调

色调是指在黑白航空像片上影像的黑白深浅程度,称为“灰度”或“灰阶”,它是地物对入射光线反射率高低的客观记录。像片上的色调从白到黑是逐渐变化的,在目视判读中,航空像片上的色调一般可划分为白、灰白、浅灰、灰、深灰、浅黑、黑7级。

色调是航空像片判读中的重要标志。这是因为地物的形状特征是通过与周围地物色调的差别表现出来的;尤其对一些外部形状特征不明显的地物和现象的判读,色调更显得重要。如土壤的干湿程度、沙土的分布范围等,主要是根据色调特征判读的。

影响影像色调的主要因素有下列几个方面:

1. 地物反射特性。航空像片上物体的色调,主要取决于地物对入射光线的反射率。地物的反射率可以用亮度系数表示。亮度系数()是指在相同照度条件下,某物体表面的亮度(B)与绝对白体理想表面的亮度(B₀)之比,即:

$$= B/B_0 \quad (4-3)$$

亮度系数是没有单位的。绝对白体很难找到,通常用硫酸钡纸或氧化镁纸作标准反射面,它的亮度系数是0.98,而绝对黑体的亮度系数为0。通常,用亮度系数表示可见光范围地物反射率大小。

物体的亮度系数不同,反映在像片上的色调就有差异。亮度系数大,像片上的色调浅,亮度系数小,色调就深。

物体的亮度系数具有方向性,也就是说从不同方向看物体,亮度系数是不一样的。亮度系数的方向性在具有镜面反射的物体上表现的最为明显。例如同一个湖面,在背向镜面反射的方向摄影时,亮度系数小,像片上的色调深;若在湖面发生镜面反射的方向拍摄时,则亮度系数大,像片上的色调浅。但是,地面绝大多数的物体对入射光一般都是漫反射,虽然它们各方向的亮度系数不同,却差别很小。通常在计算物体的亮度系数时,是以物体垂直方向的亮度系数作为该物体的亮度系数。

表 4—1 几种地物的亮度系数

地 物	亮度系数	地 物	亮度系数
针叶林	0.04	干燥的沙土	0.13
夏季阔叶林	0.05	潮湿的沙土	0.06
冬季阔叶林	0.07	干燥的黑土	0.03
绿色的庄稼	0.05	潮湿的黑土	0.02
绿色的草地	0.06—0.07	干燥的公路	0.32
干燥的草地(黄色)	0.10	潮湿的公路	0.11
收割后的田地	0.10	干燥的圆石路	0.20
雪地	0.9 - 1.0	潮湿的圆石路	0.09
白色石灰石	0.40	红砖房子	0.20

2. 物体本身颜色。黑白全色底片对各种天然光都感光，但感光程度不一样。因此像片上的色调也就不同。不论彩色体和消色体，在全色黑白像片上都以灰阶表示，其在航空像片上的色调变化如表 4—2 所列。

表 4—2 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	消色体的原生色调	像片的影像色调
白	白	白
淡黄	灰白	灰白
黄、褐黄、深黄	淡灰、浅灰	浅灰
橙、浅红、浅蓝		
红、蓝	灰	灰
深红、紫红、深蓝	暗灰、深灰	深灰
淡绿、绿、紫		
深绿、墨绿	淡黑、浅黑	浅灰
黑	黑	黑

3. 地物表面结构。同样颜色的地物，由于表面结构不同，反射光的能力不一样，反映在像片的色调就不相同。光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，耕地中的小路，其色调就比耕地浅。

自然界中各种地物的表面结构一般可分三类：

(1) 光滑表面。投射到光滑表面的太阳光线按一定的方向反射，航摄机接收不到反射的光线时，光滑表面的影像就呈现深灰或浅黑色。但当反射光恰好射入镜头时，在像片上就呈现白色。如平静的湖面，一般为深灰或浅黑色，而游船激起的浪花却呈白色。

(2) 无光泽的粗糙表面。投射到这种表面上的光线易被均匀地散射，其表面亮度一致，色调较为均一。如耕地、草地等，在航空像片上往往呈均匀的灰色调。

(3) 起伏不平的表面。山地、房屋或树木等都是起伏不平的表面，在阳光照射下，有向阳面和背光面之分。向阳面色调浅，背光面色调深，差别较大。如图 4 - 1 中 3 位置上的树木影像，光照方向和摄影方向一致，像片上呈现的是树冠受光面的影像，色调浅；图中 1 位置上的树木，光照和摄影方向相反，像片上呈现的是树木背光面影像，色调深；图中 2，位于像片中央，

呈现的是其树冠的影像，向阳面和背光面各半，故色调也有深浅之分。

4.湿度大小。同样的物体，由于湿度不同，也会影响色调的深浅。例如：田间土路一般是浅色调，如雨后路面含水分较大，影像色调变深。再如裸露的农田土壤，干燥的色调浅，浇过水的色调深。所以，色调是判读土壤湿度的一个明显标志。

5.摄影季节。由于植物的物候期不同，不同时期像片上的色调也有很大差别。例如，春季摄影的像片，因为当时植物刚发芽，其色调较浅，而夏季摄影的像片，色调就会深一些。所以，在进行像片判读之前，一定要了解像片拍摄的时间。

此外，像纸的质量，洗印技术等对影像的色调均有影响。由此可见，色调是一个不太稳定的判读标志。但是，在同一张（或同一批）像片上地物影像的色调是可以对比的。

（四）阴影

地物的阴影可分为本身阴影和投落阴影两部分。本身阴影（简称本影）是地物本身未被阳光直接照射到的阴暗部分的影像；投落阴影（简称落影）是在地物背光方向上地物投射到地面的阴影在像片上的构像。

在像片判读中，本影有助于获得地物的立体感，这对于地质、地貌判读很有用。地物落影的形状和长度，则可以帮助判读地物的性质和高度。例如：水塔、烟囱等圆形建筑，它们顶部的影像形状较难区分，但利用其落影就容易将二者分辨出来。在利用落影长度判断地物高度时，应注意太阳高度角的变化，以及该地物所处的地形位置，因为这些因素都能影响地物落影的长度。

地物阴影也会给像片判读带来不利，如高山的阴影会遮盖大片其它地物而影响判读。

（五）组合图案

当地物较小或像片比例尺较小时，在像片上往往不易观察到单个地物的影像。但这些细小的地物群体影像可以构成一种特殊纹形的组合图案。由于这些细小地物的性质不同，其构成的图案花纹也就不一样。因此，可根据其图案的特点来判读不同的群体。例如，在中、小比例尺的航空像片上树冠的形状很难区分，但可以借助森林的组合图案特征的不同区别针叶林、阔叶林或杂木林等。

航空像片的判读标志，一般都具有明显的时间性和地方性。严格说，任何像片的判读标志都只能适用于特定的时间和地区。这是因为航空像片是地面的瞬时记录，而且地物随着季节和环境条件的变化，其影像特征都要发生变异。这样，判读标志就必然具有时空的局限性。所以，对不同时期、不同地区的航空像片都要建立专门的判读标志。而且，在运用判读标志进行判读时，也不能只根据一种标志下结论，而要运用多种标志，反复观察对比，详细分析各种现象间的相互联系，才能获得正确的判读结果。

上述五种判读标志，是一般地物在航空像片上构成影像的基本要素，反映了地物本身所固有的特征。根据这些特征可以直接把地物辨认出来。所以，常把这些标志叫作直接判读标志。一般在判读时除了利用直接判读标志外，还利用与判读对象密切相关的地物和现象，运用相关的专业知识和经验进行判读，通常把这些相关参照物称为间接判读标志。例如，在像片上泉水的影像呈线状排列，下面就可能有断层存在。这些呈线状排列的泉水，就是判读断层的间接标志。

二、航空像片目视判读方法

进行航空像片判读时，应遵循先整体后局部，从已知到未知，先易后难，由宏观到微观的原则进行。对每一种地物的判读，首先是观察和总结地物影像特征，然后将所观察到的各种现象，加以“由表及里”，“由此及彼”的综合分析研究，进而判明地物的性质和类型。根据判读对象的不同，判读时可采用以下方法：

（一）直接判定法

对于像片上影像特征比较明显的地物，通过直接判读标志即可判定地物的性质，识别出地物。

（二）对比分析法

这种方法是将像片上待判别的影像，与已知地物影像或标准航片上的影像进行比较，以判定该地物的性质。标准航空像片是预先选定的典型样片，像片上地物性质是已知的。对比分析法在岩性、植被等专业判读中经常采用。

（三）逻辑推理法

利用各种现象之间的关系，依照专业逻辑推理进行的判读。例如上述泉水露头成线状展布的地方，一般都有断层存在。再如，在研究新构造运动时，常常利用河流的移动来判读地壳的升降。河流是地壳垂直运动最敏感的标志，河流向一侧移动，说明另一侧可能有地壳上升。这就是利用地质、地貌专业的知识进行逻辑推理判读出来的。

利用判读标志直接从像片上判读出来的地物多半是地面可见物体。对地理工作者来说，不仅要了解个体地物特征，更需要了解地区的综合特点，以及它们的发生发展规律。因此，逻辑推理方法在专业判读中应用相当广泛。所以，判读中应该注意运用地理专业知识，细致观察各种地物的相互关系，以取得更好的判读效果。

地物的数量特征，是通过仪器量测计算求得的。例如，用立体量测仪、立体镜及视差杆等量测高差，利用密度计测定地物色调、反差等，都有利于判读。

三、航空像片目视判读步骤

地理工作中航空像片判读，通常可分为准备工作、室内判读、野外校核和成图总结等四个阶段进行。

（一）准备工作

1. 资料准备。航空像片是最重要的资料。根据判读任务的需要，应收集不同波段、不同比例尺和不同拍摄时间的各种航空像片。航空像片要构像清晰、反差适中、层次丰富。像片四周的主要标志要清楚，对所收集到的航空像片要进行质量评述（包括像片倾斜、重叠量、比例尺、影像分辨率及其洗印质量等），以保证判读的质量及其任务的完成。

关于像片的说明资料，如航摄机焦距、摄影比例尺、航高、摄影时间等参数对判读都很重要，应收集齐全。此外，还应收集判读地区的地形图，以及相关的专题图和地理文献等，作为判读的参考。地形图的比例尺与航空像片比例尺相近为宜，以便于对比和转绘。

2. 工具材料准备。像片判读所用的工具，主要有立体镜、放大镜、直尺、比例规、透明聚酯薄膜（或透明纸）等。在室内判读最好用反光立体镜，野外判读以桥式立体镜为宜。

3. 熟悉地理概况。在进行判读前，应阅读判读地区的地理文献和地图资料，掌握该地区的基本地理特点，这会为以后判读工作带来很大便利。

4. 圈定像片使用面积。每张像片使用面积的大小，根据工作精度要求和地面高差大小决定。一般只用航向重叠和旁向重叠中线围成的范围作为使用面积，逐片圈定。使用面积的4个角点在相邻像片上应易于寻找和识别，以保证使用面积相互衔接。若工作精度要求不高或地形起伏不大，也可以隔片圈定使用面积。

5. 像片图的制作。由于每张像片所包括的面积有限，为了纵观地区的全貌，经常把所用的单张像片拼接成像片图。按作业方法和用途的不同，像片图可分为像片镶嵌图、像片略图和像片平面图三种。

像片镶嵌图是按照相邻像片的重叠部分拼成的。其制作方法是根据航线和像片编号，依次按明显地物把像片拼接起来，固定在图板上，构成一幅像片镶嵌图。如果再把像片镶嵌图按照一定比例尺照像缩小，可制成镶嵌复照图。镶嵌复照图通常注有地形图的图幅编号、摄影比例尺、摄影日期和复照比例尺（版图一）。在这种图上，可以了解摄影地区的全貌，查找所需要的航空像片，是使用像片时不可缺少的索引图件。

像片略图则是用航空像片的使用面积镶嵌而成的，一般以地形图图幅为单位或根据需要以某一地区为单位制作。制作时从每幅像片略图的中间航线的中心开始。依次使相邻像片使用面积附近的地物重叠起来，并固定在图板上。然后，沿纵向重叠的中线切割像片（切割时不要切断重要地物）。把每张像片的中央部分拼接起来。中间航线拼接以后，即可进行相邻两条航线的拼接和切割。相邻航线的切割线，要选在旁向重叠的中央部分。待全幅图的像片拼接和切割完毕以后，把每张像片留下来的中央部分，贴在图板上，就成为一幅像片略图。像片略图可用于野外调绘和判读。

像片镶嵌图和像片略图是用未经纠正的航空像片制作的。不同像片的比例尺还有一些差别，同时还包含有倾斜误差和投影差。

像片平面图是利用纠正过的像片拼接而成的像片图。航空像片的纠正工作是在纠正仪上进行，纠正后的像片消除了倾斜误差，同时也把地形起伏引起的投影差限制在制图精度范围内，统一了各张像片的比例尺。像片平面图的拼接方法与制作像片略图的方法基本相同，只是镶嵌时不是用明显地物拼接，而是用控制点拼接，故精度较高。

像片平面图用途较广，它除具有像片略图的全部用途以外，还可以象地形图一样在各种工程建设中使用。

（二）室内判读

在了解和掌握判读地区地理概况的基础上，根据判读任务的需要及相关学科的特点，制订出统一的分类系统（土地、植被、地貌等分类系统），并选择已知或典型地区总结和建立其判读标志，然后逐张像片进行判读。

单张像片判读时，要依据判读原则，先进行宏观观察，掌握其整体的特征，先易后难，从浅入深，分别识别出地物的属性及勾画出其分布范围和界线，并用统一的符号和线条标示清楚，绘制出判读草图。

判读过程中，要注意利用已知资料，以及放大镜、立体镜等辅助工具。对重要的地物和现象以及有疑问的地方应加以特别的标记，以便在野外校核时重点进行检查。

（三）野外校核

野外校核是航空像片判读的一个重要环节。野外校核工作要根据室内判读后拟定的路线进行，把室内判读的结果与实地对照，特别是对一些重要现象和有怀疑的地方，应详细加以观察和验证，以修改和补充室内判读的不足。

野外校核除携带单张像片外，还要带像片略图。因为像片略图包括的范围大，能在相当大的范围内进行对比判读，同时还能把当地的判读结果与相邻地区的资料进行对比。

（四）成图与总结

判读结果经过野外校核以后，即可将其转绘到准备好的底图上，以制成专题图件，并根据任务要求，编写总结报告。

四、航空像片转绘方法

由于航空像片为中心投影，有倾斜误差和投影差存在，而一般底图则是垂直投影。因此，把航空像片上地物转绘到底图上，实质上是把中心投影转换为垂直投影。底图应尽量选用最新的地形图，比例尺最好与航空像片的比例尺接近。

像片转绘通常使用的方法是目估法、网格法和光学仪器法等。光学仪器转绘法中又分航空像片纠正仪法、辐射纠正仪法、单投影转绘仪法、航空像片转绘仪法等。具体选用什么方法，应视制图精度要求、地区特点和设备条件而定。

这里主要介绍目估法、航空像片转绘仪法、单投影转绘仪法。

（一）目估法

目估法也叫目测转绘法，是以航片上和底图上相对应的明显地形、地物点为控制，按照转绘内容与明显地形、地物点的相对位置，用目估或用简单仪器把判读结果转绘到底图上。目估法所用的底图越详细，其转绘精度越高。这是一种最简便、最基本的像片转绘法，在山区和平原均可应用。

转绘时，应先转绘像主点附近的和最重要的内容。在转绘山区内容时，可用立体镜观察确定转绘内容与山顶或山脊的相对位置，以提高其转绘精度。如果像片和底图局部地区的明显地形、地物点较少，目估相对位置有困难时，可利用像片上和底图上相应的明显地形地物点，组成三角形或四边形。然后等分对应边，把对应边上的各相应点连成直线，构成对应网格，再以网格为控制，用目估其相对位置进行转绘。

（二）航空像片转绘仪法

航空像片转绘仪（图 4 - 2）由基座支架、转绘棱镜、镜片盘、照明灯和一套不同屈光度的凸透镜组成。

转绘者通过调整比例尺和转动像片盘，使像片上的明显地物点与底图上的相对应点重合，然后就可以把像片上的地物转绘在底图上。

具体方法是，先计算航空像片比例尺和底图比例尺关系，求出缩放系数。缩放系数可通过量测两相应点在底图上的距离和像片上距离的比值来确定。根据缩放系数调整接目镜至像片盘的距离和接目镜至底图的距离。在仪器活动杆和支架上有这两个距离的刻度，可用缩放螺旋调整。待转绘的像片放在像片盘上，通过活动杆和支架的变化，把像片上的明显地物与底图上对应的地物符号重合，根据像点投影在底图上的影像，即可将其转绘在底图上。

当缩放系数较大时，目镜与航空像片和底图的距离相差过大，两个影像

不能同时看清楚，这时就要在目镜两个视通路上（像片和底图上）安排合适的附加透镜，以调整光程差。当像片有倾斜时，可转动像片盘使影像与底图重合，以消除像片的倾斜误差。

航空像片转绘仪，一般只适用于平坦地区像片转绘。对于山区则须将山地划分成若干不同等高度平面，然后用上述方法，一个平面一个平面地转绘，工作量较大，效果也不够理想。

（三）单投影转绘仪法

单投影转绘仪不仅能纠正航空像片的倾斜误差，也能限制因地面高差引起的投影差。所以，不仅能用于平原地区的航片转绘，也可以用于山区的航片转绘。单投影转绘仪限制投影差的方法是用分带纠正办法实现的，也就是采用几个投影面逐次改变投影比例尺，使航空像片上不同高度的地物比例尺接近一致。

我国生产的 HCD-1 型单投影转绘仪如图 4-3 所示。转绘时，首先把航空像片缩小为 4×4 厘米负片，计算航空像片的航高，根据精度要求确定划分高程带的界线高度。然后将缩小的航空像片负片装在转绘仪里，对好纠正点，即可进行转绘。分带纠正转绘时，带与带之间的点位差一般不超过 ±0.4 毫米。

第二节 水体判读

地理环境中，水是一种重要的要素，它对地区的景观特点有着较大的影响，与很多地物和现象存在着密切的关系。水体判读即可单独成图，作为专题判读的系列基础图件，又可为其它专业判读提供依据或作为其定位的参照目标。

水体判读主要是依据影像的色调和形状特征。水体影像的色调深浅变化较大，它与水体深浅、混浊程度、水面悬浮物以及拍摄瞬间的光照条件有关。一般来说，水体混浊、浅水沙底、水面结冰或光线恰好反射入镜头时，其影像色调浅，呈浅灰色或白色。反之，水较深或水虽不太深，但水底为淤泥质，其色调亦较深。

一、河流判读

在航空像片上，河流常表现为界线明显、自然弯曲、宽窄不一的带状。河流上常有堤坝、桥梁、船舶和码头等人工建筑物，这些可以作为判读分析河流的辅助依据。

平原或高原地区的河流一般弯曲较大，色调暗而均匀。山区河流往往弯曲较小，流速较大，色调相对较浅，特别在急流浅滩处，浪花四溅，就可能出现白或灰白的色调。

在航空像片上还可以对河流流向、流速、河宽以及是否通航等情况进行判读。

（一）流向

判定河流流向最好的方法是进行立体观察，正确判定地形的高低起伏，或用像片略图确定分水岭的位置，这样可较准确地判定河流流向。

在用单张或少数几张像片判读河流流向时，常用以下方法：

1. 河流中的沙洲呈水滴状，其尖端一般指向河流下游；
2. 两条河流汇合处成锐角，其尖端一般指向河流下游；
3. 桥墩后面出现的水花和漩涡在下游一侧，且呈浅色楔形轮廓，其尖端指向下游；
4. 停泊在码头附近的船舶，其船尾指向河流下游，等等。

（二）流速

在像片上判读流速是较困难的。当河中有漂浮物体时，可根据漂浮体在像对的两次曝光间隔时间内的移动距离来计算流速（即已知飞机摄影时的曝光间隔时间）；或依据河流所处的地形环境凭经验估算。

（三）河宽和通航情况

河流宽度可以在像片上直接量测（如果要求精度较高，则应在纠正过的像片上量取）。

河流的通航情况，主要是根据河中是否有船只往来，河岸是否有码头等设施来判读。

二、湖泊判读

湖泊在像片上一般表现为均匀的深色调，其湖岸线呈自然弯曲的闭合曲线，轮廓较为明显。但当湖泊中生有水草和其它植物时，边界一般变得模糊，色调也较紊乱。

在像片上可量测湖泊的大小，确定湖泊的外形和湖岸线的平面结构。同时，也可清楚地判读湖泊的发展演化过程，特别是当湖泊趋近于消失时显示得更清楚。因为湖泊消失部分含水量大，表现出比周围色调深，而且常伴有植物丛生。对湖泊补给区的判读，则需要像片略图，或用更大范围的地形图和卫星图像，配合判读。

三、海域判读

海岸附近的浅海海域，一般为暗灰色调，由于海浪影响，色调一般不太均匀。陆地的色调一般较浅。因此，海、陆界线在像片上一般较为明显，可较容易地勾画出它们之间的界线。

根据水涯线变动的影像，可以清楚地判读出潮浸地带和高潮、低潮的位置。潮浸地带一般没有植被生长，多为新的海积物。一般在反光立体镜下，用视差杆可量测出高潮和低潮海水面的高差。

海岸沉积物的搬运方向，可以根据河口泥沙流的方向判读，泥沙流的色调一般为浅灰色。

第三节 地貌判读

利用航空像片进行地貌判读常能取得较好效果，特别是进行立体观察，能获得形象逼真的地貌模型，对地貌研究很有帮助。用航空像片进行地貌判读，不仅能减少野外工作量，而且能提高地貌调查工作的质量和速度。

地貌判读的任务主要是对地貌进行分类；识别各种地貌形态要素及其分布；研究现代地貌形成的地质地理因素等。

地貌判读主要运用图形、色调和阴影等判读标志。地貌影像的图形包括平面轮廓及图案以及地表高低起伏的特征。色调和阴影则可以帮助观察分析各种地貌形态，获得地貌的侧面影像及其物质组成方面的信息。应特别注意水系在地貌判读中的重要作用，各种不同的水系往往与不同的地质构造、岩石类型、地貌类型有关，可以为地貌判读提供依据，所以水系判读是研究地貌及其分析形成因素的一个重要基础。

地貌判读应首先从地貌形态判读入手，了解和掌握了地区的地形概貌后，再进行各种地貌类型的判读和分析。

一、地形形态判读

陆地地貌可分为山地、丘陵、盆地、高原、平原等主要类型。

山地，地势起伏明显，相对高度较大的地貌。因此，在阳光照射下，向阳坡受光较强，亮度（系数）值高，色调浅；阴坡亮度值小，色调较深。因此，山地影像的色调很不均匀，如图 4 - 4 (a)。从形态上看，高山海拔高，通常具有尖顶山峰，及狭窄的锯齿状山脊，地形切割较剧烈，色调差异大，故影像常伴有大的阴影，有时山顶上有白色的常年积雪等。中山相对高差不如高山，切割得较破碎，阴影斑块较小，谷地较宽，且有耕地和居民地分布。低山丘陵相对高度较小，山坡较缓，影像色调差异变化趋缓。有时，可形成单个孤立或零散分布的山丘，一般有较多耕地和居民地分布其间，如图 4 - 4 (b)。

山顶形状和山坡陡缓主要根据色调变化来判读，如山顶向阳面一般呈三角形，突出在阴影之中，三角形的顶点即为山顶。如山顶色调变化较舒缓或不明显，则表示受光面呈浑圆或平缓的山顶。两斜坡色调深浅交界线就是山脊。山脊阴坡的色调也有深浅之分，色调浅且均匀表示坡缓，色调深或有阴影者表示山坡陡峻。两山脊之间的低洼部分为山谷。像片上可清楚地分出狭谷和宽谷。狭谷两侧坡度较陡峻，其底部常被阴影遮盖，影像色调多为深色；宽谷底部较平坦，常有农田和居民地分布。

盆地，盆地的影像特征是四周被山地、高原或丘陵所围，中间则呈低平的盆状地形。

平原，平原影像的主要特征是地面平坦，色调均匀，多分布有耕地农田、居民地和道路等。有时，平原局部影像的色调变化也很大，如作物覆盖时或土壤湿度差异较大时，色调就变的较深且不均匀，如图 4 - 4 (c)。

高原是顶面比较平坦的宽阔高地。一般影像色调较浅，且较均匀。高原被沟谷切割的部分影像色调有深有浅（沟谷分布走向不同所致），阴影呈带状。特别是在西北黄土高原地区这种影像特征更为典型。

以上这些地貌形态规模较大，分布范围广，一般用小比例尺航空像片，

或在像片略图上即可进行判读。

二、流水地貌判读

地表流水是地貌的主要外力作用之一，由于地表流水的侵蚀、搬运和沉积，使地面上形成各种各样的侵蚀沟谷等流水地貌。流水地貌分布广，其影像特征随着气候条件、地质环境、地势高低、植被类型以及人类活动的特点而有所不同。因此，应结合各种地理环境因素进行具体判读和分析。

在航空像片上主要流水地貌的判读有以下要素。

（一）沟谷

沟谷的判读，一般从沟谷的形态入手。从谷坡形态、沟谷横剖面形态、纵向切割变化以及结合影像色调、阴影等判读标志，逐步地展开。

沟谷的形态主要取决于岩性，例如在坚硬的粗粒透水岩石地区往往发育着谷坡陡、谷底较窄的V形谷。在粘土类岩石地区，谷坡则较缓，谷底宽平，多呈U形谷。隘谷是深邃而狭窄的河谷、谷坡壁立、陡峻，在像片上呈深色的曲折带状，且谷底为河床。峡谷其谷坡较陡，微有切割或具有阶梯状表面，谷底常有水流。因此，一般说来，峡谷在像片上的色调是谷口较浅，谷底较深。如有阶梯状谷坡存在时，色调则深浅相间，不对称的河谷两坡，一陡一缓，这种河谷多发育在岩层呈缓倾或水平状的岩层的地区，像片上不仅两坡的色调有差别，而且图形也有很大的不同。

从沟谷分布的总体平面图形上分析，可有树枝状、格子状、平行状、放射状等类型。利用像片略图或小比例尺大范围航片较为容易判读。

（二）河漫滩和阶地

河流河漫滩、阶地沿河岸成带状展布。河漫滩高于河床，一般呈浅灰色调，但有时河漫滩上分布着湿地和沼泽化低地，这时河漫滩的图案较为复杂，变为斑斑点点的灰色调。阶地一般可分为堆积阶地、侵蚀阶地和基座阶地。堆积阶地分布于河流中、下游，色调较浅，上面常分布有耕地、居民地和道路等。

侵蚀阶地完全由基岩组成，色调一般较暗，而且多位于河流上游的山区。

基座阶地的阶地面上有较厚的河流冲积物堆积，阶地坎裸露出基岩，因此阶地面上色调一般较浅且均匀，常有耕地和居民地分布。阶地坎的影像色调一般较深。

阶地之间的界线，以阶地坎的位置来确定。阶地陡坎向阳时为比阶地面浅的条带，背阴时为比阶地面暗的条带，这样可以清楚地确定阶地前缘或后缘的位置，划出阶地的界线。

（三）河床

河床在像片上较为容易判读。根据河床中有水部分在像片上所反映的条带状图案，可以判读出河床的分布。河床的色调取决于河水的深浅和混浊程度，河水较清澈、较深的河床一般为深灰色，水浅或混浊的河床一般为浅灰色。河床迁移所形成的牛轭湖、迂回扇等是河床迁移的典型标志。据此可研究古河道及河流迁移等。图4-5是平原上自由曲流、牛轭湖和古河道的影像（有的古河道已辟为农田，但其河道遗迹还清晰可辨）。

（四）冲积锥和洪积扇

冲积锥分布在冲沟口，洪积扇一般都分布在山前沟谷的出口处。前者坡度较大，规模较小；后者坡度较小，规模较大，在像片上的影像均呈扇形。

冲积锥的色调一般较浅，而洪积扇的色调一般顶部较浅，下部较深。图 4 - 6 是干旱气候地区洪积扇像片，其上有暂时性细流网。

三、黄土地貌判读

黄土地貌是指在第四纪堆积的黄土地层上发育的地貌类型。在我国以黄河中游地区黄土高原最为典型。

黄土由于质地均一，结构疏松，垂直节理发育等特点，形成了黄土地貌独特的景观，其特点是地形破碎，沟谷密集，形态多样。在航空像片上呈现出一种在均匀浅灰色调上的密集树枝状图案(图 4 - 7)，根据这一图形模式，不难对黄土地貌加以识别。

黄土地貌的形态较为特殊，它以沟谷与沟间地为其主要地貌形态；沟间地可从形态上分为塬、梁、峁等类型。黄土地貌的判读即从黄土地貌独特的形态出发，结合航空像片上影像的色调、阴影及其图案的表现，特别是结合在立体镜下的观察，黄土地貌的主要形态是不难识别和判读的。

例如，黄土冲沟谷壁直立，谷底宽平，多呈 U 字型或槽型，沟脑呈半圆的勺形。其整体平面分布形态则多呈树枝状。沟间地黄土塬是黄土堆积的高原地形，塬面比较平坦，起伏不大，坡度一般为 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，其上分布有村庄耕地，色调浅且比较均匀。

现代塬面多为沟谷所切割，尤其塬地四周多侵蚀为破碎的台地和丘陵地形。黄土梁是两条沟间的分水岭，多为长条形，顶部一般呈穹状，有些则是大致平坦的平顶丘陵。黄土峁是黄土梁进一步被侵蚀切割而成的孤立丘陵地，丘陵顶部一般呈凸起圆形，且高度一般不大。

因为黄土具有垂直节理，地下水位又较低，所以在黄土斜坡上常挖有可居住的窑洞，村庄成立体型，这也是判读黄土地貌的重要标志。

总之，在判读时，可充分利用小比例尺航片或像片略图，先从整体上阐明沟谷及沟间地的分布、沟谷分布密度及其平面形态等，然后逐步地对单个地貌形态进行研究和分类。

四、喀斯特地貌判读

喀斯特地貌发育在碳酸盐岩等可溶性岩石广泛分布地区。我国喀斯特地貌分布广泛，以广西、贵州和云南最为普遍。喀斯特地貌的特点是微地貌特别发育，正负地形互相交替，地形显得杂乱无序。在喀斯特地貌区，常有孤峰和峰林、溶蚀漏斗、落水洞、溶蚀洼地、溶蚀盆地、伏流、盲谷等独特的地貌形态。从图 4 - 8 (a) 影像中可见，在平缓倾斜的石灰岩层上分布着许多漏斗，有单个的，也有成群分布的。漏斗多呈圆形和椭圆形。有些为松散沉积物填充，色调较浅。在图 4 - 8 (b) 中，分布有孤峰、峰林和溶蚀洼地等。孤峰和峰林是喀斯特正地形，影像呈深色调；溶蚀洼地是负地形，呈浅色调，构成黑白色调交替、杂乱的图案。

伏流是河流突然消失、流入地下的河段。盲谷是河流流入地下，地表没有出口的河谷。伏流和盲谷都是判读喀斯特地貌的重要标志。

五、风成地貌判读

我国西北地区分布有大片沙漠和砾漠的干旱荒漠区。由于风的侵蚀搬运

和堆积形成了风成地貌类型。

砾漠即戈壁滩，其特点是地表比较平坦，几乎完全为砾石和石块所覆盖，居民地很少。所以，在像片上表现为均一的浅色调，夹杂着一些稀疏的蒿草所形成的黑色斑点。

沙漠在像片上也表现为均一的浅色调。沙漠上多分布着各种类型的沙丘。在判读沙丘时，首先辨认出活动沙丘和固定沙丘。活动沙丘色调浅，峰脊线尖锐、清晰，平面形状比较规则；固定沙丘则生长有植物，色调较暗，峰顶浑圆，平面形态较为紊乱。随着所处的自然条件不同，沙丘又可分为新月形沙丘、金字塔状沙丘、蜂窝状沙丘以及纵向沙垄和横向沙垄等。新月形沙丘由单向风造成，其形似新月，向风坡长而缓，背风坡短而陡，两面不对称，色调也不一致。金字塔沙丘呈角锥状。蜂窝状沙丘呈盾形或圆形，丘间为碟状洼地，起伏和缓。有时新月形沙丘相互连接而形成横向沙垄，其排列方向垂直于主导风向，而且两坡不对称（图 4 - 9）。纵向沙垄平行于风向，横断面常呈梯形或三角形，往往有若干条平行排列。

六、冰川地貌判读

我国西部的高山地区，广泛分布着现代冰川和冰川地貌，这在航空像片上可清楚地判读出来。常年积雪和冰川在像片上为白色。现代冰川在像片上可看出移动痕迹。冰川谷的横剖面为“U”形，谷底缓平而宽阔，谷坡陡。在支冰川注入主冰川时，往往形成悬谷。冰川谷的纵剖面没有河谷那样平缓。当冰川后退以后，冰川谷侧面会形成长垄状冰碛，在冰川终端形成终碛。终碛在像片上容易辨认，它常常形成冰碛堤横截主谷成弧形，弧形凸向下游，在终碛后边常有冰碛湖或是沼泽化的地区。冰斗出现在冰川上游的雪线附近，它是冰雪挖蚀凹地，其特点是三面陡崖峭壁，只有一个开口朝向冰川下游。在冰斗与冰斗之间往往形成锯齿状山脊和角峰（图 4—10）。冰川地貌的这些特征，一般在立体镜下观察得很清楚。

七、火山地貌判读

火山是由熔岩或火山碎屑岩构成的锥状地形，其影像一般呈锥形山体，具有放射状水系或冲沟。年青火山能保持完整的火山口，有时积水形成火山口湖。古火山经长期侵蚀破坏，一般仍能表现出残留的环状山形的影像。火山常沿一定方向成群出现，反映了断裂的延伸方向。火山喷出熔岩形成的熔岩台地，色调比较均匀。色调的深浅多与熔岩性质有关，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，有时有绳状流动构造。图 1 - 11 为新生代火山，火山锥体、基性熔岩绳状流动构造清晰可见。

第四节 地质判读

地质判读的基本任务是从像片上识别各种岩性及其分布，以及对地质构造的判读分析。为编制地质图、专题地质图以及为地质、地貌调查提供基础资料和科学依据。

一、岩性判读

要查明各种地质现象，首先要对岩石进行研究。因此，岩性的判读具有重要意义。但是，由于地表岩石成分多样，类型复杂，在航空像片上一般仅能识别出主要的岩类或有显著标志的某些岩石，故岩性判读一般难度较大。所以，在判读时，既要注意影像标志的收集运用，又要利用像片上反映出的相关地物和现象进行综合判读，以提高判读的效果和质量。

岩性的判读标志主要是图形、图案和色调特征，但地貌、水系和土壤、植被状况与岩性密切相关，在判读中也具有重要作用。例如，岩浆岩的侵入岩体呈团块状，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。沉积岩的主要特点是成层性；其影像多为不同色调的条带状图案。由于岩石成分的差异，经风化形成的不同形态以及由岩石节理造成的各种花纹图案，都反映了岩性的不同。岩石影像色调的不同，反映了岩石成分、岩石本身色彩和所处环境条件的不同。例如：花岗岩二氧化硅含量高，对太阳光的反射率强，影像多为浅灰色调；而含铁镁质多的辉绿岩、橄榄岩则多为深灰色调。但色调标志多有局限性，同属一种岩性，如湿度不同，其色调会有很大差别。另外，水系特点、地形以及植被类型等都与一定的岩性有关，这些也是判读岩性的重要标志。

按成因岩石分为沉积岩、岩浆岩和变质岩三大类。由于它们的成分、结构和构造的不同，在像片上形成了不同的影像特征。

（一）沉积岩

沉积岩在地表分布范围广泛，其出露面积约占陆地面积的四分之三，所以沉积岩判读是很重要的。

沉积岩具有成层性，其层理所反映的影像特征多为条带状的图形（图 4-12），且具有一定的延伸性，这是判读沉积岩的重要标志。由于岩石成分和岩层产状的不同，可形成不同的地形和图案特征。

下面介绍几种常见沉积岩的影像特征：

1. 砾岩。多呈团块状。层理不明显，表面较粗糙，砾岩露头往往形成陡崖或嶮岩，露头附近常有成块砾岩崩塌。砾岩影像的色调一般较暗，多呈斑块状图案。

2. 砂岩。厚度一般较稳定，层面平整，节理发育。砂岩的层理和节理影像一般较为明显，露头常形成稳定的层状。由于砂岩成分和胶结物的不同，会形成截然不同的地形和影像特征。如石英砂岩，不易风化，山坡常为条带状陡坎，岩层倾斜时常形成陡峻的山脊。图 4-13 是北京十三陵地区龙山影像，a 为震旦系石英砂岩，形成锯齿状山脊，岩层倾向东南，在山背西北侧形成陡坎。砂岩为水平产状时往往形成台地或方山。在广东韶关的丹霞山和福建的武夷山，水平产状的红色砂岩，在侵蚀、溶蚀和重力崩塌共同作用下，

形成陡崖和深谷的丹霞地形（图 4-14）。

粉砂岩却易遭风化，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，易受风化，节理影像不明显。页岩露头常形成低矮浑圆山丘。表面多有松散粘土质残积物覆盖，在像片上往往可看到有农田分布。

页岩如果与石英砂岩、石灰岩等坚固岩石互层时，页岩一般分布在低洼处。如图 4-13 中，a 和 b 处石英砂岩和石灰岩，c 处为震旦系的紫色页岩，形成一条东北-西南的负地形。

页岩影像的色调，一般随含炭质的多少和本身颜色而定，炭质多则深，少则浅。但由于页岩上面经常覆盖较厚的风化残积物，或无植被覆盖时色调一般偏浅。

4. 碳酸盐岩。包括石灰岩、白云岩等，其影像色调随岩石成分的不同而不同，一般为深灰色调和浅灰色调。判读这类岩石主要是根据其地貌特征。在我国南方热带亚热带地区，碳酸盐岩往往形成喀斯特地貌，有峰林、漏斗、落水洞等地貌形态，影像容易辨认。在北方，这类岩石在低山丘陵区常表现为浑圆的山丘，如图 4-13b。但在高山、中山地区常形成陡峻的山岭。

（二）岩浆岩

岩浆岩的形态多呈团块状、无层理。影像色调随暗色矿物（铁镁质）含量的多少而不同，深浅变化较大。

1. 侵入岩。侵入岩呈不规则的块状，外形浑圆，无层理，其影像特征与岩石成分有关，酸性侵入岩因其铁镁质矿物含量少，二氧化硅含量多，色调一般较浅；花岗岩是分布较广的酸性侵入岩，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巉崖。花岗岩色调浅而单一，如大面积出露多形成树枝状水系，图 4-15 是大比例尺花岗岩像片，除去阴影部分外色调都比较浅，且具有特殊的花纹图案。

辉长岩、橄榄岩等属于基性、超基性侵入岩。它们的影像特征具有岩浆岩的一些共同特征，即无层理、成块状分布。色调一般较深，规模往往较小。基性、超基性侵入岩易受风化，小型侵入体多呈负地形，残积层较厚。大型基性岩侵入体在岩体中部也可形成正地形。

2. 喷出岩。基性喷出岩质地坚硬，结构致密，颜色较深。在地貌形态上一般凸起在围岩之上。当其出露面积大呈水平层状时，常形成高原或台地（如内蒙第三纪熔岩流高原和雷州半岛第四纪的玄武岩台地）。酸性和中性喷出岩，如流纹岩、安山岩等，色调较浅，多呈团块状，与花岗岩的影像近似。在地貌上，酸性喷出岩通常易形成圆锥状和圆滑的小丘形高地。

喷出岩最直观的形态是火山和流动构造。所以年青火山岩比古老的喷出岩更容易判读。因为新近喷发的岩浆分布受到现代地形的影响，一般分布在现代火山的山坡和山麓地带，影像色调较深，表面光滑，有时还留有熔浆流动的痕迹。

3. 脉岩。脉岩的主要影像特征是呈线状的外形（图 4-15），其色调决定于脉岩的成分，一般与围岩有差异。酸性脉岩多为浅灰色调，基性脉岩色调较深，可呈灰色调。地形上脉岩与围岩相比，或是相对突起或是相对下凹，一般经风化后在地形上脉岩都有一定的反映。

脉岩判读一般须用较大比例尺的航空像片，而且要求出露好且具有一定规模，才能取得较好效果。

（三）变质岩

变质岩依其原岩类型的不同，分别具有沉积岩和岩浆岩的基本特征。正变质岩常保留岩浆岩的团块状特征，负变质岩常保留沉积岩的条带状特征。但由于变质作用，使原岩的部分物理和化学性质趋向一致，使原岩的判读标志不明显。另外，变质岩常受到多次构造变动，构造变得更为复杂（图 4-16）。所以，这类岩石的判读难度较大。

以下介绍几种主要区域变质岩的判读：

1. 片麻岩。这种变质岩类的岩石成分和抗风化能力和花岗岩相似，可依据岩石内部的一些强烈小褶皱的影像特征来判读。以片麻岩出露为主的地区，一般构成低矮的山丘，常具有反映某种褶皱走向的固定条带，有时可由植被或小型地貌反映出来。露头不好时，岩性一致的片麻岩，在像片上有时容易与侵入岩混淆。

2. 结晶片岩和石英岩。这类岩石大多数为浅色调，比较坚硬，抗风化力强，多形成正地形。片岩经过剥蚀作用后，很容易形成梳状地形。石英岩产状倾斜时，往往成尖锐山峰、锯齿状的分水岭。

3. 千枚岩、板岩。这种由粉砂、粘土岩变质而成的浅变质岩类与页岩、泥岩的影像特征相似，其形态往往表现出鳞片状，岩石裸露时更为明显。

二、构造判读

构造判读的任务主要是从像片上确定岩层的产状、褶皱、断裂等现象。构造判读的效果决定于基岩的出露程度、岩石成分和侵蚀切割程度等。通常岩石出露愈好，表现出来的构造要素也就愈多，判读也就愈容易。岩性差异越大，岩层产状与构造的关系一般反映得越明显。地面切割得愈强烈，表现出来的构造细节也愈多，判读的标志也就愈明显。

地貌和水系特点也是判读构造的重要标志。此外，岩石的性质和颜色以及土壤植被的类型，在判读构造时，都是必须注意的。

航空像片只适于分析研究个别构造或小型构造，如追索大型构造或编制构造地质图时，应使用卫星图像或航空像片略图。

（一）水平岩层判读

水平产状的沉积岩层经切割以后，当顶部岩层较硬时，地形上常构成方山，在像片上岩层轮廓线与地形图上的等高线很相似（图 4-17），特别是岩层软硬相间时，往往形成阶梯状山坡，岩层轮廓线更清楚。

有时水平岩层界线容易和梯田界线相混淆，判读时应加以注意。一般岩层轮廓线具有连续性，色调较一致；梯田轮廓线不连续，色调也有变化。

（二）倾斜岩层判读

倾斜岩层在地形上常形成单面山。倾斜岩层的走向、倾向和倾角等产状要素的判读可按以下方法进行：

1. 走向。当地面平坦时，像片上岩层露头影像的延伸方向，就是岩层的走向。当地面起伏不平，倾斜岩层受到切割时，岩层露头呈现出复杂的曲线，这时同一岩层上相邻等高程点间的连线就是岩层走向线。

2. 倾向。岩层倾向主要用岩层 V 字形（或三角面）法则判读。用 V 字形法则判定岩层倾向，首先要认出沟谷和山脊。同一岩层在沟底的出露点要比山脊出露点低，故相邻两山脊的出露点与沟底的出露点构成一 V 字形，沟底是 V 字形的最低点（图 4-18）。所以，V 字形尖端所指的方向一般代表岩层的倾向。当 V 字形尖端指向沟谷上源，说明岩层倾向与地面坡向相反；V 字形尖端指向沟谷下游时，说明岩层倾向与地面坡向相同，如图 4-18。但当岩层倾向与地面坡向一致，且岩层倾角小于地面坡度时，V 字形尖端指向的反方向是岩层的倾向（此情况是一例外）。

3. 倾角。在像片上判读岩层倾角，大致可分出陡斜岩层（ $> 60^\circ$ ）、中等倾斜岩层（ $60^\circ - 30^\circ$ ）、缓倾斜岩层（ $< 30^\circ$ ）三种类型。通常，岩层倾角越小，V 字形越尖锐。随着岩层倾角增大，V 字形将逐渐变得宽缓、开阔，直至直立岩层时成为一直线。因此，可用目估法大致划分岩层的倾斜程度。

在像片上研究岩层 V 字形形态，应选在像片中央部分。否则，由于像片边缘部分投影差较大，可能产生影像的变形，引出错误的判读结果。

在像片上确定岩层的产状要素，如有量测仪器（视差测微尺或立体量测仪），可以用“三点法”进行定量量算。

三点法是在山谷中同一岩层露头上选三个点，其中两个点选在山谷的相对山坡上，是相同高度露头点（V 字形的底边上），第三点取在 V 字形的尖端，如图 4-19 中的 A 和 B 是在山坡同一岩层上选出的相同高度的两个点。C 点位于 V 字形尖端，高度低于 A 和 B 两点。A 和 B 两点的连线就是这个岩层的走向线，根据像片的实际方位，就可确定岩层的走向。由 C 点作 AB 走向线的垂直线，便是岩层的倾向线。为了确定倾角的大小须要用视差杆或立体量测仪量出 C 点对 A（或 B）的高差，从倾向线和走向线的交点（像片上的 D 点）做 DE 线，并使 DE 线的长等于按像片比例尺计算出的 CA（或 B）之间的高差，然后再连结 E 和 C，EC 与倾向线之间的夹角 ECD 就是该岩层的倾角，以 α 表示。其倾角的大小可以用量角器量出，也可以用计算方法求得。为此，按像片比例尺求出 DC 的实际水平长度，DE 是 CA 两点之间的高程差，用公式：

$$\text{tg } \alpha = \text{DE}/\text{DC}$$

计算岩层倾角 α 值。

由此可见，为了确定岩层的产状要素，要已知像片比例尺和像片实际方位。

（三）褶皱构造判读

褶皱构造一般在像片上反映的较为明显。如在色调上，常表现出不同色调（岩层）的对称重复出现；而不同岩层常呈封闭的圆形、椭圆形或长方形。判读褶皱构造较明显标志是褶皱的转折端影像，褶皱转折端的形态常呈圆滑的弧形转折，或尖棱形、箱状等，在像片上能较容易地识别。由于褶皱构造的规模大小不同，有时应借助小比例尺像片或像片略图来发现和判读褶皱构造。

岩层 V 字形对于查明褶皱和确定褶皱类型有很大作用。当沿某一层面岩层 V 字形出现对称或重复分布时，说明可能有褶皱存在。例如图 4-20 所示，岩层 V 字形尖端相背对称分布，一般说明两翼岩层向外倾斜，为背斜构造（a）；岩层 V 字形尖端相对时，说明两翼岩层向轴心倾斜，是向斜构造，如

图 4-20 (b)。

褶皱构造的判读有时也应结合水系和地形等特征的分析，以更好地确定褶皱的类型和性质。

(四) 断层判读

断层在像片上的反映一般较明显，有些断层在地面工作中不容易发现，但在像片上却呈现清晰的影像。例如同一岩层产生水平错动，岩层产状突然变化，岩层呈互相截断现象，构造上不连续以及由于断层作用所引起地形陡然变化等，都可作为判读断层的明显标志。有些隐伏断层，可利用与断层相关的地物，用逻辑推理方法进行判读。如沿断层分布的植物带分布以及成线状排列的泉水出露等。

最新活动的断层，影像更为明显。由于这些断层对现代地貌有显著的影响，在地面上往往出现陡坎或深沟、切断沿断层线的山脊等地貌形态，形成断层崖（图 4-21），同时也可使水系移位或变动。露头较好时，还可划分出断层两侧地层之间的相互位移关系，确定出断层性质，如正断层和逆断层等，见图 4-21。

岩层产状和层序较好时，沿断层线可以看出岩层的断开和走向的变化。这种变化在平移断层的断裂处更明显。根据像片比例尺，沿断层线量出同一岩层断开的距离，即该断层的水平断距。

第五节 植被和土壤判读

一、植被判读

用航空像片进行植被判读，按判读目的不同，判读内容有很大区别。林业工作者主要是对各种林分做出性状和数量的判定，研究各种森林现象的发生，发展规律，为查清森林资源，确定各种经营管理措施提供依据。地理工作者进行植被判读，主要是判定植被群落的性状，以及它们的分布规律。

(一) 植被判读标志

植被判读中，形状、色调、大小、阴影及图案等判读标志均有重要的意义和作用。由于植被是随季节而变化的，所以，判读标志也是变化的和不稳定的。就以植被的色调来说，随着季节的不同，色调有显著变化。常绿树终年常青，影像色调变化不大。而草本植物和落叶树则夏绿秋黄，影像色调夏深而秋浅。另外落叶树的树冠和阴影形状，随季节的不同，也有相应的变化。所以，在进行判读时，应注意植被的物候特征。

植被的判读标志，随着像片比例尺的不同，作用也不一样。例如在夏季拍摄的大比例尺像片上各树种的色调差别不大，但它能明显地反映出各树种所特有的树冠形状及其大小，以及本身阴影的特点。因此，影像的形状和大小就成为主要的判读标志。而秋季拍摄的中、小比例尺像片上，由于比例尺小，使各种形状的树冠表现为圆形的颗粒，形状和大小失去了判读的价值。而色调的差别却成了主要的判读标志。所以，在植被判读中，收集像片资料时，应对像片的比例尺有所选择，同时对不同比例尺像片的使用也应有不同的侧重。

植被判读中所用的形态标志，一般都是指成熟林的树冠形状。各种树种都具有独特的树冠形状（图 4 - 22），一般在立体镜下可清楚地分辨出。如果是独立树或是在林地背光一侧，可利用其落影进行判读。

此外，进行植被判读时，要充分分析研究树种的立地条件。因为树种的生物学特征不同，各树种有自身的分布规律，在判读时应注意利用。例如，北方山区荆条灌丛和由蚂蚱腿子、绣线菊等组成的杂灌丛，从色调和图案上很难分辨。但荆条灌丛多生长在山的阳坡，而杂灌丛生长在阴坡。可利用山坡坡向将其区分开。再如小兴安岭的云冷杉和红松，树冠形状和色调较难区分开。但考虑到云冷杉多分布在低洼河滩地上，而红松则分布在排水良好的山脊或坡地上。这样，就可以比较容易把二者区分开来。

(二) 几种主要植被群落类型的判读

1. 针叶林。针叶林是由松、柏、枞等树种组成。针叶树多为常青树，在可见光波段的反射率较低，其色调在各个季节拍摄的像片上一般多呈深灰色调。树冠形状常呈锥形和边缘不整齐的锯齿形。

2. 阔叶林。阔叶林的种类很多，如杨、枫、榆、栎等。阔叶林的影像特点受地区和成像季节的影响很大，不同季节和地区的像片，阔叶林的树冠形状、色调和阴影都不相同。夏季阔叶树的树冠形状多为圆形，在立体镜下多为棉桃状，向阳部分色调浅，背阴部分色调深。在树叶凋落的冬季，则呈不规则的灰色圆网状。

阔叶林的色调在夏季基本一致，比针叶林稍浅。在秋季像片上，各树种

的色调均有所变浅，但仍与针叶林色调有差别。几种阔叶树生长在一起，北方往往叫作杂木林，这种树林除具有深浅混杂的色调以外，还往往生长在山的阴坡。

果树林在平坦地区常是有规则的种植，排列整齐。在山区多种植在居民点附近或农田四周土层较厚的地方。依此特征，不难从像片上识别出果树林。

3. 灌木丛。灌木丛的种类很多，影响因素也较复杂。一般特征是影像颗粒细小、色调为均一的浅灰到深灰色，往往可以借助地带性分布规律来区别不同类型。如华北地区的荆条灌丛多生长在山地的阳坡，而绣线菊等类灌丛就生长在山地的阴坡，二者虽色调和颗粒大致相同，但根据生态环境能把它们区分开。

4. 竹林。大面积竹林多生长在我国南方。北方只在个别地方有零星种植。竹林的色调一般比阔叶林浅，呈浅灰色调，影像图案常呈整齐的毛絮状。

5. 草本植被。草本植被主要根据色调判读。草原在像片上一般表现为均匀的浅灰色调，干草地色调更浅，湿草地色调深一些。

二、土壤判读

土壤判读是根据航空像片上所反映出的影像特征，确定各种土壤类型、性状和分布范围，为土壤调查制图和土壤利用改良提供所需要的资料。

在像片上直接判读土壤是比较困难的，因为土壤没有一定的几何形状，且往往被植被覆盖。使之不能直接反映在像片上。即使是裸露土壤，像片上反映的也只是土壤的表面，而不是土壤的垂直剖面。但在航空像片上判读土壤并非不可能。因为不同土壤类型的物理性状和化学成分是不同的，光谱特性也不一样。此外，自然界的一切现象都不是孤立存在的，它与周围环境有着密切联系。所以通过自然环境分析可以间接地识别和分析土壤，进行判读。实践证明，在航空像片上无论判读自然土壤，还在农业土壤，都是可能的。对大、中比例尺土壤调查制图，一般可提高工作效率三倍到四倍，同时也提高了成图的质量，显示出土壤判读的优越性。

（一）土壤判读的基本方法

土壤类型判读，主要利用色调和图案两个标志。土壤色调的深浅与土壤有机质含量、土壤湿度大小和质地粗细有关。有机质含量高，湿度大，质地细的土壤色调较深；反之，色调较浅。例如，砂质土壤一般为浅灰色调，而粘土质土壤则为深灰色调。不同的土壤类型，其影像的图案不尽相同。例如菜地和水田可利用不同影像图案特征，把菜园土、水稻土和旱作土分开。

实际上根据判读标志直接判定出来的土壤类型毕竟是少数，所以在土壤判读中经常应用的是逻辑推理法的综合分析判读，即根据土壤发生学的理论，按照成土因素进行判读。土壤的成土因素包括气象、植被、母质、地形和农业生产活动等。土壤是在这些因素的综合影响下形成的自然体。其中只要某些因素发生变化，一般就会引起土壤相应变化。例如，我国西北地区系大陆性气候，温差大，雨量小，植被十分稀疏，形成荒漠土。我国东北地区属寒湿润气候，林区形成灰化土或灰色森林土；而在我国长江以南的森林地区，由于气候温暖，雨量充沛，形成红壤或黄壤。所以，根据判读地区的景观特点，一般可以推断出相应的土壤类型，这种方法对判读自然土壤类型比较有效。

利用成土因素分析进行土壤判读，可以采取如下步骤：首先进行地形和

植被判读，判定该地区的景观类型，勾画界线，如分出山地、平原、丘陵、盆地、森林区、水稻区、旱作区等。然后在同一种景观类型内部，再根据地貌特点，推断母质类型、勾绘出不同母质的分布范围，这样就可以判读出不同的土属。最后再按微地貌和阴影进一步划分更小的范围，推断不同土种的轮廓界线。根据微地貌分区，即可抽样化验，以确定其土壤类型。

在平原地区进行农业土壤的判读，微地貌的区分具有重要意义。微地貌不仅影响着土壤质地，也直接影响水分、肥料的再分配。所以，微地貌的界线往往也是不同土种的分界。

（二）不同条件下土壤判读举例

1. 裸露土壤的判读。裸露土壤是指作物收获后或尚在幼苗期的农田以及植被生长极其稀疏的荒漠土壤、盐渍化土壤或其它裸地。这些土壤表面直接反映在像片上。有机质含量高、湿度大者色调较深，盐渍化或灰化土壤则相反，一般为浅色调。结合所处的生物-气候带和地形部位，以及周围母质的不同，往往能够识别出沼泽土、黑土、盐土、灰化土、石灰性土及受漂洗作用的白浆土等。根据色调深浅程度还可确定土壤沼泽化、灰化、盐渍化程度，推测腐殖质含量的多少。

表土结构状况的差异明显影响裸露土壤的影像图案特征。具有良好结构的疏松土壤常表现为均匀的棉絮状图案；板结的沉板田，白浆土及盐碱化土壤一般形成单调均一的浅色影像。

土壤质地也会影响影像特征，如砂质土壤一般呈较为明亮的影像，而且砂地易遭风蚀，高低不平，可产生微小的阴影，造成不规则的色调变化，有时还可形成明显的沙丘和沙垄。

2. 覆盖有自然植被的土壤判读。这种土壤为自然植被遮盖，在像片上无直接反映。但土壤和自然植被间往往存在着密切的依存关系，通过判读自然植被来推断土壤类型和性状。

根据植被首先可以区别森林土壤和非森林土壤。根据植被判读知识，还可以进一步区分出针叶林、阔叶林及由不同林木组成的各种林型，根据不同林型就可以推断相应的土壤类型。

草本植物及其覆盖的土壤，可以按不同植物群落来判读土壤类型。例如可判读出草原土、草甸土和沼泽土三大土壤类型。

3. 农业土壤判读。当播种的作物接近封行时，作物本身的阴影基本上遮盖了地表，像片上见到的主要是作物的影像。在这种情况下，主要是依靠因地制宜、看土种植的经验，通过作物种类及土地利用方式的判读来确定土壤。例如在华北地区，高粱一般种于较低洼易涝的沼泽土壤上；玉米则种于水肥条件较好的草甸性土壤；花生种于砂性土；小米、小豆之类种于高燥瘠薄的土壤等。

在航空像片上根据水田、菜园的图案特征，能够判读水稻土和菜园土，尤其在比例尺较大的像片上更为容易。水田影像的特点是田块分割的较小，且四周为粗细均匀、边缘光滑、交角明显的暗色线条（即田埂）所封闭，呈网状（平原区）或笋节状（山区）。旱地地埂形成的线条边缘一般比较毛糙，影像色调也相对较浅，高度熟化的菜园土大多呈明暗相间的栅栏状图案。这是菜畦的反映。

自然界的情况是复杂的，不同季节摄制的航空像片，影像会有很大不同。有些相互依存的关系也不是绝对的，特别是人类活动的影响往往使原来较单

纯的相关性复杂化。所以，在进行土壤判读时，要全面分析影像特征，充分利用各种判读标志，相互补充，相互验证，才能取得较好的判读效果。

第六节 居民地、道路判读

一、居民地判读

居民地常分为城市、集镇和乡村三种类型，在各种比例尺的航空像片上一般都较容易识别。

(一) 城市

城市的特点是面积大，房屋稠密，除有广大居住区分布外，还有工厂、商业区、学校、公园等建筑（图 4 - 23）。城市大都位于交通道路的交汇点。有的在江、河、湖、海旁边，亦有码头和桥梁等建筑与之配套，这些标志在像片上反映得都较清楚。

像片上房屋排列特点和道路的布局能清楚地反映出城市的平面结构，如棋盘式、放射式或综合式。在大比例尺像片上，可根据屋顶形状以及高度、阴影等特点来判读建筑物的结构。如钢筋混凝土结构的房屋，一般层次多，落影较长，色调多为浅灰；砖木结构的房屋一般矮小，落影较短小，色调多为深灰。进一步可判读建筑物的用途和城市土地利用情况，除根据其特殊建筑物的形状及其分布的位置特征外，还要注意观察它的附属建筑。如商业区多位于城市中心，街道较整齐，临街房屋比较高，街上行人、车辆亦较多。工业区多位于城市边缘，交通方便的地方，往往有铁路相通，房屋排列多不甚整齐，院内还常有水塔、烟囱、燃料堆、材料堆放场等。学校校园内一般都有运动场。纺织厂、钢铁厂可根据其特殊的厂房形状和高炉等来判读。一般住宅区的房屋较为矮小、零乱，组成小的院落，但新式住宅区多为排列整齐的楼房，规划有序。城市周围往往还有菜地分布，菜地一般都呈栅栏状图案。

(二) 集镇

集镇一般分布在公路和铁路沿线，通常都有车站等建筑物。集镇面积比城市小，街道窄且不太规则，尚未形成一定的平面图形结构。集镇也有一些工厂和学校，而且往往有 1—2 条主要大街形成商业区，周围有农田和菜地分布。

(三) 乡村

乡村居民地比较小且分散，但随各地区的历史和自然条件的不同，居民地的结构与分散程度有很大区别。我国北方农村一般比南方乡村的面积大，也比较集中。平原地区又比山区面积大而集中。山区农村因耕地分散，通常是比较分散的小村庄。

在航空像片上，乡村的轮廓一般能判读出来，如图 4 - 4 (c)。但如果房顶建筑材料与背景差别不大时，色调差异小，特别在小比例尺像片上分散零星的居民点就不容易辨认了。

二、道路判读

道路可分为铁路、公路、乡村大路和小路。在像片上可以根据路面宽度、色调和形状进行判读。

(一) 铁路

铁路在航空像片上一般为深灰色调，呈线状延伸，转弯较平滑均匀。铁

路沿线有车站、水塔等附属建筑，与其它道路相交时，无论公路或大路一般为垂直交叉通过铁路。

铁路分为单轨铁路和双轨铁路，在大比例尺像片上可直接分辨出来，在中小比例尺像片上可以用量算的办法区分出来。一般来说，单轨铁路宽 5 米，双轨铁路宽约 10 米（指路基）。

（二）公路

公路与铁路的影像图形相似，均为线状，但公路转弯较急，曲率半径小，与乡村大路相交不一定成直角。

公路影像的色调从浅灰到深灰，差别很大，这是因路面材料不同造成的（图 4-4（c））。简易公路多为砂石路面，色调较浅；沥青路面一般为深灰色。公路的级别可根据色调、宽窄及附属建筑物的不同来判读。主要公路一般为沥青路面，宽度大，过河桥梁多为木、石结构，可用立体镜进一步分辨。

（三）乡村道路

乡村道路的影像多为浅灰色或白色的线条，宽窄不一，边缘往往不清晰。乡村大路，在经过规划的地区，多为直线或折线状，在山区则多为曲线。农村小路比大路窄，影像常为浅色的细线

第七节 其它航空遥感图像及其判读

近代遥感技术发展迅速，继黑白全色航空像片之后又出现了（天然）彩色航空像片、红外航空像片、热红外（扫描）航空图像，以及雷达航空图像等多种遥感图像，大大丰富和扩大了人类探测和收集地面信息的范围和领域。这些遥感图像由于成像方式和使用的波段不尽相同，影像特点也各不相同。但其判读原则及其方法与黑白全色航空像片基本上是一致的。因此，以下仅介绍这些图像的主要特点，特别是与黑白全色航空像片的不同之处，借鉴已学的知识和方法，来掌握其它航空遥感图像的判读。

一、彩色航空像片

彩色航空像片与黑白全色航空像片的成像过程完全一样，只是所用的感光材料不同。彩色像片使用的是彩色感光材料，感光范围为 $0.4\text{—}0.76\ \mu\text{m}$ ，即对可见光波段全色感光。彩色像片是以色彩的不同反映地物和现象。由于其感光的范围与人眼视觉一致，彩色像片上地物的颜色与天然地物的色彩是相近的，所以又称彩色航空像片为天然彩色航空像片或称真彩色像片（以示与以后的假彩色像片区别）。

由于人眼对色彩的分辨能力远大于对黑白物体的分辨能力。所以，一般利用彩色像片进行判读比用黑白像片判读更直观，分辨率高，效果好。应用彩色像片判读与黑白像片判读完全一样，形状、大小、色调、阴影以及组合图案依然是识别地物的主要判读标志，尤其是色彩色调分析更为重要。

二、红外航空像片

红外航空像片是航空摄影机用红外感光材料进行摄影成像的，其成像过程与黑白航空像片相同。红外感光材料的感光波长一般为 $0.4\text{—}0.9\ \mu\text{m}$ （有的已扩展到 $1.3\ \mu\text{m}$ ），包括了可见光和近红外的一部分（光红外）。所探测和记录的是地物和现象反射可见光和近红外波段的强弱变化。红外航空像片，有黑白红外航空像片和彩色红外航空像片两种。

（一）黑白红外航空像片

黑白红外航空像片与黑白航空像片一样，都是以深浅不同的黑白色调反映地物和现象的。但由于所使用的波段不同，二者色调特征不完全相同，特别对于植被、水体等地物表现更为明显。

植物的光谱特性，对可见光是吸收得多，反射得少，在反射的可见光中又以绿色较多。而全色胶片对绿色光感光又较弱，所以在黑白全色像片上绿色植物的影像色调较深。绿色植物对近红外线具有较强的反射率。所以，在黑白红外像片上绿色植物的影像色调一般较浅，特别是生长期中的嫩树叶、青草和庄稼，其色调显得更浅。

不同树种对近红外线的反射率是不同的，如油松在近红外波段反射率比阔叶树水曲柳的反射率约低近一倍，在红外像片上油松的色调较深。所以，在近红外像片上一般能区分不同的树种。农作物发生病虫害时，人眼尚未发现时，作物叶子的细胞色素就已经遭到破坏。近红外波段的反射率降低，影像色调变深，据此能预报农作物病虫害的情况。因此，红外像片在农、林业中得到广泛的应用。

水对近红外波段强烈吸收，所以水体在近红外像片上常成深灰，甚至为

黑色调。其色调变化的规律与水的深浅、混浊程度有关，水越深，越清澈，吸收红外线的的能力就越强，影像色调也就越深。红外像片的这个特点对水资源调查提供了有利条件。

由于红外线波长较长，散射作用相对较小，所以红外像片影像抗干扰能力强，影像反差有较大改善，有利于判读。但有时由于山体阴影深重也会遮挡地物的细节，对判读造成不利影响。

总之，由于黑白红外航空像片不同于黑白全色航空像片，在判读时应特别注意对地物光谱特性的了解和掌握。根据地物光谱特性及结合实际情况(摄影条件、环境特点等)分析像片上色调的变化，即不难掌握红外像片的判读。

(二) 彩色红外航空像片

彩色红外航空像片是使用彩色红外感光片和黄色滤光镜头配合在空中成像的。彩色红外感光片涂有三层感光乳剂，而黄色滤光镜可将进入镜头的蓝光吸收掉，而将绿光记录后呈蓝色，红光记录呈绿色，近红外线记录呈红色，三层乳剂层叠加得到一幅彩色红外像片。彩色红外像片上地物所呈现出的颜色一般与实际地物的色彩不相同，所以，这种像片又称为假彩色像片。

自然界物体反射的光线，一般都不是单一一种色光，例如绿色植物，在可见光、近红外波段(0.4—1.3 μm)，有二个反射率较大的峰，一个为绿光(0.55 μm左右)，另一个为近红外(0.8—1.3 μm)。因此绿色植物在彩色红外像片上的色彩就成为蓝色(绿 蓝)和红色(近红外 红)二色的叠加，而生成品红色。植物的红外反射峰比绿光反射峰大很多(3—5倍)，所以绿色植物在像片上往往呈现偏红的色彩。由于植物种类的不同，以及物候期各异，因此，不同植物所呈现的色彩亦有差别，一般在品红到红色、深红之间变化。根据像片上色彩的变化，即可识别出不同的植物，并可对植物生长发育变化，作物病虫害的发生做出分析和预报。

水强烈吸收红外光，并吸收红光，对蓝绿光反射稍强些。因此，水体在彩红外像片上常呈蓝黑色、蓝灰色；清澈的净水呈蓝色，当水含泥沙或受污染，长波反射增强，影像色彩发生变化，从蓝向青、黄变化。因此，彩红外像片对清水、浊水、受污染水及土壤湿度等有较好的反映，易于判读。

居民地因房屋材料不同，在彩红外像片上呈现不同的颜色，如青瓦房一般呈灰蓝色；红瓦房、新草房由于反射红光、红外光而呈浅黄色；旧草房则呈灰色、深灰色。

彩色红外像片由于黄色滤光镜的滤光作用，消除或减少了短波蓝光散射的影响，使像片反差得到改善，影像清晰度提高，色彩更为鲜艳，为各种判读提供了良好的基础。因此，目前彩色红外航空像片已广泛应用于农业、林业、地质找矿、水文等自然资源的调查和环境监测评价等方面。特别是近年来在开展城市遥感中，利用彩色红外像片对城市绿地、城市土地利用调查以及污染的监测和评价，城市管理和规划发挥了很大作用，取得一系列研究成果，显示出彩色红外航空像片所具有的优越性。

三、热红外航空图像

由第二章中可知，自然界中的物体温度高于 0°K (—273) 都不停地向空间发射电磁波。在常温条件下，其发射的电磁波主要集中在红外波段。热红外航空图像则是探测地物发射辐射能量变化的图像。

热红外图像采用光学机械扫描方式成像。热红外波段有 3—5 μm (中红

外)和 8—14 μm (远红外)两个重要大气窗口。由于 8—14 μm 波段包含了地球表面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。长波红外辐射与物体温度密切相关,一般称为热辐射。热红外图像实质上是地表辐射温度分布图。

热红外航空图像以灰度来表示地物的热辐射强度,但在图像的几何特征和物理意义方面与黑白全色航空像片有较大不同。

(一) 热红外图像的特点

1. 记录的是地物热辐射强度。黑白全色航空像片影像色调的深浅,反映了反射太阳光的强弱。热红外图像记录的是热辐射能量的强度。地物的红外辐射强度与温度有关,温度高,红外辐射强度大,影像色调浅;温度低,红外辐射强度小,影像色调深。有些地物,在黑白全色航空像片上色调相近,差异小,而不容易分辨。如其温度不同,在热红外图像上色调就不一样,便能够区分。如白云岩和灰岩在普通航空像片上难于区分,但在上午 6 时的热红外图像上,由于它们的比热不同,白云岩比灰岩温度高,而显出色调的区别。

2. 昼夜都可成像。热红外扫描图像与红外航空像片不同,红外航空像片是采用摄影方式成像,探测的是近红外波段,光源是直接来自太阳光。因此必须在白天成像。热红外扫描图像,探测的是地物的发射光谱,地面上一切物体昼夜不停地向空间发射红外线,所以热红外扫描传感器昼夜都能获得热红外图像。

热红外图像与地物之间的温差关系很大,地物之间温差大,影像的反差大,影像就清晰;反之,影像就不清晰。但地物间的温差是由日照和地物性质决定的,一般来说,午后 1 时和黎明 6 时前后,温差最大,成像效果最好。但是,中午成像的热红外图像,受地形阴影干扰太大,一般不如黎明前成像效果好。据罗恩等人(1970)研究,黎明前的图像比白天的图像好得多。但对有些地物,白天的图像也还是很有用的。如 1976 年太原地区红外遥感试验、太原晋阳湖冷却循环池,热水流进循环池的冷却过程在白天图像上反映得很清晰(图 4-24)。这是因为白天水体温度比周围土地温度低,呈暗色调。一旦有热水流入,温度比原来池中水温高,呈浅色调,易于识别。

3. 影像分辨率较低。影像分辨率主要决定于光学扫描的瞬时视场角和成像高度。瞬时视场角越小、飞机航高越低,地面分辨单元越小,分辨率就越高。分辨率与瞬时视场角和航高的关系式为:

$$d_0 = H \cdot \theta$$

式中: d_0 为地面分辨单元; θ 为瞬时视场角(弧度); H 为航高。

对于红外扫描仪,瞬时视场角的大小是一定的,一般为 1—3 毫弧度。航高为 1000 米时,地面分辨率为 1—3 米。这比普通航空像片的分辨率低。

地面分辨率不仅与瞬时视场角和航高有关,而且也与扫描角有关。即使在同一航高下,随着扫描角的变化,同一条扫描线上,地面瞬时视场从中间向两边逐渐增大,地面分辨率也逐渐降低(图 4-25)。

(二) 热红外图像的判读标志

热红外图像的判读标志虽然也是影像的形状、大小、色调和阴影特征等,但其特性与黑白全色航空像片有较大不同。

(1) 形状特征。热红外扫描图像上的地物形状,一般反映了实际形状,

或近似实际形状，但有时会发生很大畸变。畸变的原因与扫描系统特点和地物温度有关。

热红外图像是中心轴投影，图像连续成带状。在沿航线方向没有像点位移，图像比例尺一般是不变的。可是沿扫描方向（垂直于航向），由于每条扫描线上中央的瞬时视场小，两端的瞬时视场大，图像从两边向中央压缩，像点从两边向中央位移，越靠图像两边像点位移越多，图像比例尺则越小，地物形状发生畸变。图 4 - 26 中的公路产生 S 形弯曲，就是由扫描系统引起的变形。一般来说，这种图像的投影中心轴线附近的图形最真实。

热红外图像接收的是地物热辐射强度，对非热源地物，如水体、山地、丘陵以及农田道路等，一般呈真实或近似真实的形状，特别是图像中部地物形状更真实。对热源地物或温度高的地物，则往往反映不出真实形状。因为温度高，向周围空间辐射的红外能量大，产生似光晕现象，地物的形状就被掩盖、歪曲或扩大，甚至面貌全非。

飞机运行不稳、滚动、俯仰都会使图像发生位移和畸变。

(2) 色调特征。色调是热红外图像判读的重要依据。色调的深浅受以下几种因素的影响：

(a) 地物热辐射能量的大小。地物热辐射能量大，影像色调浅；地物热辐射能量小，影像色调较深。地物热辐射能量决定于地物温度高低和发射率的大小，温度越高，辐射能量越大，如高炉、火光等热源，影像往往呈白色调。土地的温度较低，无论白天或夜间成像，均呈深浅不等的灰色调。有些地物虽温度相同，但由于发射率不同，也会有不同的色调，如大理石和石英虽然温度相同，但大理石发射率为 0.942，石英为 0.627，所以大理石的色调较深。

(b) 成像时间。以水体和植物为例说明成像时间对影像色调的影响。水体具有较高的热容量，较好的导热性能，日温差很小，土地的热容量较低，日温差较大。白天水体的温度比周围土地低，水体为深色调；夜间水体温度又高于周围土地，所以影像为浅色调。图 4-27 (a) 为白天成像，河流为黑色。图 4-27 (b) 为夜间成像，河流为白色。再如绿色植物，反射短波红外能力强，辐射长波红外的能力弱，又由于白天水分蒸发，温度低，色调多呈深灰。而夜间，特别是森林有逆温现象，温度高于地面，一般呈浅色调。

图 4-28 是美国加利福尼亚州卡林特山和坦布列山地区的热红外图像。在白天图像 (a) 中因受太阳热效应的影响，图像清晰，地形特征明显。夜间图像 (b) 中，因未受太阳照射，地形影响基本上被消除，图像好似有些模糊。但不同岩性的热辐射差异得到反映。图像 (b) 下部浅色调山区为玄武岩露头，上部深色调山区为页岩和粉砂岩露头，浅色山地则是砂岩和砾岩露头。

(c) 气象条件。热红外图像记录的是地物辐射能量的差异，天气阴、晴或有风对其色调均有影响，如云层遮住太阳，地面温差减少，影像呈均一的黑灰色调。

地面风使图像产生独特拖影状条纹图案，如图 4-29，使图像“发脏”。风产生的条纹往往出现在平地障碍物的下风处。地面风还能使一个小小的热点的影像面积扩大很多，影响面积的正确估计。

由于环境因素对地物辐射温度有明显影响，在热红外图像判读时应注意环境资料的收集和分析。

(3) 阴影特征。黑白全色航空像片上的地物阴影是光阴影，也就是太阳不能直接照射部分的影像，而热红外图像的阴影则是热阴影，也就是地物热辐射强度弱的部分。白天，被阳光照射的地面升温，热辐射增强，色调浅；未被阳光照射的地面，也就是光阴影的部分，温度较低，热辐射较弱，色调深，类似太阳照射的光阴影。所以，白天热红外图像有与黑白航空像片类似的特征。黎明前，太阳引起的热效应影响小，可认为完全是热辐射图像，色调变化完全反映了地面热辐射的差异。

四、航空侧视雷达图像

雷达是一种主动式传感器，用天线向地面发射微波，接受从地面返回到雷达天线的反射或散射能量（称为雷达回波），并记录成像。一般用于空中对地面进行探测成像的叫侧视雷达，是一种全天候、全天时遥感系统。

雷达图像以深浅不同的黑白色调反映地物（图 4-30），能得到 60% 的重叠率，可进行立体观察。由于雷达图像反映的是雷达回波强度，所以，地物影像的形状、色调和阴影特征与黑白全色航空像片不同。

地物形状特征在雷达图像上反映得比较清楚，富有立体感。一般来说，平行于航向的线状地物与雷达波探测方向垂直，图形更为清晰。如河岸、山岭等平行于航向时，影像清晰。雷达有一定的透视能力（雷达对沉积物和地面的透视能力，随波长变长而增大），对揭露地质线形构造非常有利。

雷达影像的色调差异，主要取决于回波的强弱（图 4-31）。雷达回波强的地物色调浅；否则，色调深；没有回波的部分则呈黑色。雷达回波的强弱，与地表特征（如物质性质、地面坡向和粗糙程度等）和雷达系统的特征（如雷达使用的波长、俯角、航高）有密切关系。如在山区，凡是朝向雷达天线的山坡，一般都有较强的回波，影像色调浅，背向雷达天线的山坡，因不能直接得到雷达波的照射，就没有回波，所以具有较深的色调。粗糙地物表面能使雷达波产生漫散射，引起比较强的回波，影像色调较浅。光滑表面产生镜面反射，几乎没有回波，影像呈深色调。湖泊表面和山体背后无雷达回波，呈黑色调。又如雷达俯角小的情况下，因镜面反射，雷达回波强度小或没有回波；而在近距离俯角大的情况下，镜面反射波就能为天线所接收，产生强烈回波。

雷达图像上的阴影是受地形起伏影响，无雷达回波的地区，与黑白全色航空像片上的光阴影不同，黑白全色航空像片上的阴影位置和长短，决定于太阳高度、方位和地形，而与航摄飞机的航向和航高无关。侧视雷达影像上的阴影位置与长短，不仅决定于地形，而且与飞机的位置和航高有关。雷达阴影的方向与雷达波的射向一致，和飞机航向垂直。航高低，阴影长；航高大，则阴影短；飞机航高不变，地物距飞机远者阴影长，近者则短。阴影使雷达图像具有反差大，立体感强的特点。

航空侧视雷达能获得全天候遥感图像，工作效率高，具有一定的穿透能力。与航空像片相比，它的比例尺较小，分辨率较低。目前，侧视雷达图像

的应用尚不普遍，有待进一步的发展和推广。

复习思考题

1. 什么叫航空像片的判读标志？判读标志主要有哪几种？
2. 判读标志为什么具有时间性和地方性？
3. 影响地物影像色调变化的有哪几种主要因素？
4. 航空像片目视判读常采用哪几种方法？逻辑推理法对地理判读有何重要意义？
5. 航空像片判读分哪几个步骤？每个步骤包括哪些主要内容？
6. 像片转绘方法有哪几种？如何用像片转绘仪和目估法转绘像片内容？
7. 居民地和道路的影像有何特征？
8. 根据哪些标志判读水体？不同水体各有哪些特征？
9. 航空像片地貌判读常用哪些判读标志？
10. 山地、丘陵、平原在像片上各具有哪些主要特征？
11. 流水、冰川、喀斯特、风成、黄土、火山等地貌类型的影像有何主要特征？
12. 三大岩类影像有哪些主要特征？
13. 在航空像片上如何确定岩层产状？如何判读向斜构造、背斜构造和断层？
14. 植被的判读标志有哪些？针叶林、阔叶林的影像有何特征？
15. 土壤判读有何特点？试述土壤判读的基本方法。
16. 黑白红外航空像片与黑白全色航空像片有何异同？
17. 彩色红外航空像片有何特征？在农林生产和管理上有何重要作用？
18. 热红外航空图像有何特点？其判读标志与黑白全色航空像片有何不同？
19. 侧视雷达图像有何特点？

实习 5 航空像片室内地质判读

一、实习目的和要求

使学生掌握利用各种判读标志进行地质判读的基本方法，了解常见岩石和构造现象的影像特征。要求：

- (一) 判读各种沉积岩层的岩性。
- (二) 判定岩层的产状。
- (三) 把判读结果蒙绘在透明纸上，绘制成判读草图。

二、材料和工具：航空像片、透明纸、铅笔(普通 2H 铅笔和特种铅笔)、立体镜、放大镜、直尺、橡皮。

三、判读方法和步骤

- (一) 单张像片目视观察，了解像片上的一般地理特征。
- (二) 根据岩石的色调、组合图案、地形特点判读岩性。
- (三) 根据“V”字形法则判读岩层走向和倾向。
- (四) 按图例把判读结果用透明纸蒙绘下来，绘制草图。

四、参考图例

断层、岩层倾向和走向、岩性界线、石灰岩、页岩、砂岩、花岗岩(图从略)

五、编写判读报告

六、附录

如安排地貌、土壤或植被判读实习，可参考以下内容：

(一) 地貌判读

1. 目的与要求：使学生掌握地貌判读的基本方法和各种地貌形态的影像特征。

2. 判读方法和步骤：

(1) 单张像片肉眼观察，了解判读地区的一般地貌形态特征。判定山地、平原、丘陵等主要地貌形态分布。

(2) 判定像片上的主要地貌类型。

(3) 在立体镜下观察微地貌的特征。

(4) 用透明纸蒙绘判读结果。

(二) 土壤判读

1. 目的与要求：使学生们掌握土壤判读的基本方法，特别是逻辑推理方法的运用。

2. 判读方法和步骤：

(1) 单张像片肉眼观察，了解判读地区的一般特征。

(2) 根据色调和图案标志直接判定砂土、水稻土等土壤类型。

(3) 在立体镜下划分微地貌类型的分布。

(4) 根据第四纪沉积物的专业知识判读土壤质地和土壤类型。

(三) 植被判读

1. 目的和要求：使学生掌握植被判读的基本方法，了解各种植被群落的

影像特征。

2. 判读方法和步骤：

- (1) 单张像片肉眼观察，了解一般地理特征。
- (2) 研究判读标志（树冠、阴影、组合图案）。
- (3) 在立体镜下观察树冠形状特征。
- (4) 植被群落类型划分。

实习6 土地利用判读

一、实习目的和要求

土地利用反映了人类活动和环境因素对土地的影响，牵涉到水体、植被、交通道路、居民地等地理要素。通过这个实习，使同学掌握多种地理要素的判读方法，提高综合分析判读技能。

要求同学判读一个地区的土地利用现状，并绘制土地利用专题地图。

二、材料和工具

航空像片（普通黑白像片或彩红像片）、地形图、立体镜、放大镜、透明纸、铅笔等。

三、判读方法和步骤

采用室内目视判读和野外校核调绘相结合的方法进行判读，其步骤如下：

（一）阅读判读地区文献资料，拟订土地利用现状分类系统（参考全国农业区划委员会1984年拟订的全国土地利用分类系统，见附录）。

（二）建立各种土地利用类型判读标志。

（三）室内土地利用判读。

（四）实地校核和调绘。

（五）用目估法（或光学仪器法）把土地利用界线转绘到地形图上。

附录：全国土地利用现状分类（全国农业区划委员会，1984）

耕地，种植农作物的土地。包括新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮植地；以种植农作物为主间有零星果树、桑树或其它树木的土地；耕种三年以上的滩地和海涂。耕地中包括南方宽 $<1.0\text{m}$ ，北方宽 $<2.0\text{m}$ 的沟渠、路、田埂。

11. 灌溉水田，有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉，用以种植水稻、莲藕、席草等水生作物的耕地，包括灌溉的水旱轮作地。

12. 望田地，无灌溉工程设施，主要依靠天然降水，用以种植水稻、莲藕、席草等水生作物的耕地，包括无灌溉设施的水旱轮作地。

13. 水浇地，指水田、菜地以外，有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉的耕地。

14. 旱地，无灌溉设施，靠天然降水生长作物的耕地，包括无固定灌溉设施，仅靠引洪灌溉的耕地。

15. 菜地，种植蔬菜为主的耕地，包括温室、塑料大棚用地。

园地，种植以采集果、汁、根茎等为主的集约经营的多年生木本和草本作物，覆盖度 $>50\%$ ，或每亩株数大于合理株数 70% 的土地，包括果树苗圃等用地。

21. 果园，种植果树的园地。

22. 桑园，种植桑树的园地。

23. 茶园，种植茶树的园地。

24. 橡胶园，种植橡胶树的园地。

25. 其它园地，种植可可、咖啡、油棕、胡椒等其它多年生作物的园地。

林地，生长乔木、竹类、灌木、沿海红树林等林木的土地。不包括居

民绿化用地，以及铁路、公路、河流、沟渠的护路、护岸林。

31. 有林地，树木郁闭度 > 30%的天然、人工林。

32. 灌木林，覆盖度大于 40%的灌木林地。

33. 疏林地，树木郁闭度 10 ~ 30%的疏林地。

34. 未成林造林地，指造林成活率大于或等于合理造林株数的 41%，尚未郁闭但有成林希望的新造林地（一般指造林后不满 3—5 年或飞机播种后不满 5—7 年的造林地）。

35. 迹地，森林采伐、火烧后，五年内未更新的林地。

36. 苗圃，固定的林木育苗地。

. 牧草地，生长草本植物为主，用于畜牧业的土地。

41. 天然草地，以天然草本植物为主，未经改良，用于放牧或割草的草地，包括以牧为主的疏林、灌木草地。

42. 改良草地，采取灌溉、排水、施肥、松耙、补植等措施进行改良的草地。

43. 人工草地，人工种植牧草的草地，包括人工培植用于牧业的灌木。

. 居民地及工矿用地，指城乡居民点、独立居民点以及居民点以外工矿、国防、名胜古迹等企事业单位用地、包括其内部交通、绿化用地。

51. 城镇、市镇建制的居民点，不包括市镇范围内用于农、林、牧、渔业生产用地。

52. 农村居民点，镇以下的居民点用地。

53. 独立工矿用地，居民点以外独立的各种工矿企业、采石场、砖瓦窑、仓库以及其它企事业单位的建设用地，不包括附属于工矿、企事业单位农副业生产基地。

54. 盐田，以经营盐业为目的、包括盐场及附属设施用地。

55. 特殊用地，指居民点以外的国防、名胜古迹、风景旅游、墓地、陵园等用地。

. 交通用地，居民点以外的各种道路及其附属设施和民用机场用地，包括护路林。

61. 铁路，铁路路线及站场用地，包括路堤、路堑、道沟、取土坑和护路林。

62. 公路，指国家和地方公路，包括路堤、路堑、道沟和护路林。

63. 农村道路，指农村南方宽 1m，北方宽 2m 的道路。

64. 民用机场，民用机场及其附属设施用地。

65. 港口、码头，专供客、货运船舶停靠的场所，包括海运、河运及其附属建筑物，不包括常年水位以下部分。

. 水域，指陆地水域和水利设施用地，不包括滞洪区和垦殖三年以上的滩地、海涂中的耕地、林地、居民点、道路等。

71. 河流水面，天然形成或人工开挖河流常年水位线以下的面积。

72. 湖泊水面，天然形成的积水区常年水位线以下的面积。

73. 水库面积，人工修建总库容 10 万立方米，正常蓄水位岸线以下的面积。

74. 坑塘水面，天然形成或人工开挖蓄水量 < 10 万立方米正常水位岸线以下的蓄水面积。

75. 苇地，生长芦苇的土地，包括滩涂上的苇地。

76. 滩涂，包括沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮浸地带，河流、湖泊常水位至洪水位间的滩地、时令湖、河洪水位以下的滩地；水库、坑塘的正常蓄水位与最大洪水位间的面积。常年水位线一般按地形图水线求得，或另行调绘。

77. 沟渠，人工修建，用于排灌的沟渠，包括渠槽、渠堤、取土坑、护堤林。指南方宽 1m，北方宽 2m 的沟渠。

78. 人工建筑物，人工修建，用于除害兴利的闸、坝、堤、水电厂房、扬水站等常年水位线以上的建筑物。

79. 冰川及永久积雪，表层被冰雪常年覆盖的土地。

. 未利用土地，目前还未被利用的土地，包括难利用的土地。

81. 荒草地，树木郁闭度 < 10%，表层为土质，生长杂草，不包括盐碱地、沼泽地和裸露地。

82. 盐碱地，表面盐碱聚集，只生长天然耐盐植物的土地。

83. 沼泽地，经常积水或渍水，一般生长湿生植物的土地。

84. 沙地，表层为沙覆盖，基本为无植被的土地，包括沙漠，不包括水系中的沙漠。

85. 裸土地，表层为土质，基本无植被覆盖的土地。

86. 裸岩、石砾地，表层为岩石或石砾，其覆盖面积 > 50%的土地。

87. 田坎，主要指耕地中南方宽 1m，北方宽 2m 的地坎或堤坝。

88. 其它，指其它未利用土地，包括高寒荒漠，苔原等。

实习 7 从航空像片上转绘判读内容

一、实习目的和要求

使学生掌握目估法转绘判读内容的技能。

二、材料和用具

航空像片（用土地利用判读实习航片）、地形图、直尺、比例规、透明纸、铅笔等。

三、实习方法和步骤

（一）航空像片和地形图同名地物点较多的地方，根据转绘地物点与地形图要素的相对位置，用目估或用比例规确定其位置进行转绘。独立地物可采用点位测定法进行转绘。

（二）航空像片和地形图同名地物点较稀地区，可以根据明显地物点绘制局部网格，然后根据网格转绘。网格的绘制，首先找出 3—4 个在像片和地形图上都有的地物点，以这些地物点为控制点，在像片和地形图上分别组成三角形或四边形，再等分对应边，连接对应等分点，组成网格，网格尺寸一般不应大于 1 平方厘米。

第五章 航天遥感与卫星图像

航天遥感是以人造地球卫星、航天飞机或宇宙飞船及运行于太空的飞行器作为遥感平台的遥感，即通过安装在这类飞行器上的传感器来获取地面电磁波信息的遥感。

目前主要作为地球观测、地学应用的航天遥感有：陆地卫星系列、斯波特卫星系列、海洋卫星和气象卫星系列等。

本章主要介绍美国陆地卫星及陆地卫星图像。

第一节 陆地卫星

陆地卫星 (Landsat) 是美国发射的一系列卫星, 原称地球资源技术卫星 (ERTS), 以探测地球资源为主要目的。1972 年 7 月 23 日发射了第一颗地球资源技术卫星 (图 5-1)。1975 年 1 月 22 日, 第二颗地球资源技术卫星发射以后, 把对陆地和海洋的资源探测任务分开, 地球资源技术卫星以探测陆地资源为主要任务, 改称陆地卫星 (海洋资源的探测发射了“海洋卫星” (Seasat))。1973 年 3 月 5 日又发射了第 3 颗陆地卫星。这三颗卫星分别称为陆地卫星 1 号、2 号、3 号。1982 年 7 月 16 日、1984 年 3 月 1 日分别发射了第 4 号、第 5 号陆地卫星 (图 5-2)。这两颗卫星是改进的新型陆地卫星。并计划今后发射更新的第 6 号陆地卫星。

一、陆地卫星的传感器

在陆地卫星 1—3 号上装载的传感器有反束光导管摄像机 (RBV)、多光谱扫描仪 (MSS)。在陆地卫星 4、5 号上, 除装载多光谱扫描仪 (MSS) 外, 还装载专题制图仪 (TM); 在新的陆地卫星上, 将安装增强型的专题制图仪 (ETM)。

前三颗陆地卫星上装载的 RBV, 因为这种传感器容易出故障, 回收的图像很少。4、5 号陆地卫星再没有装载这种传感器。以下主要介绍多光谱扫描仪和专题制图仪。

(一) 多光谱扫描仪 (Multi Spectral Scanner) (MSS)

多光谱扫描仪是把来自地面上地物的电磁波辐射 (反射或发射) 分成几个不同的光谱波段, 同时扫描成像的一种传感器, 在陆地卫星 1—5 号上均装有这种传感器。表 5-1 列出 MSS 各波段的编号及波段的划分。

表 5-1 MSS 各波段的编号和波段的划分

陆地卫星 45/MSS 编号	波段划分范围
MSS-1	0.5—0.6 μm
MSS-2	0.6—0.7 μm
MSS-3	0.7—0.8 μm
MSS-4	0.8—1.1 μm

注: 陆地卫星 1—3 上 MSS 编号依次为 4、5、6、7。

多光谱扫描仪扫描的几何关系如图 5-3 所示。扫描镜与地面及其与聚光系统的光轴均成 45° 的交角, 扫描镜的摆幅为 3.72° , 视场角为 14.9° , 对应地面扫描宽度为 185km。探测器以 4×6 的阵列排列, 即分四个波段, 每个波段有 6 个探测器记录, 如图 5-3 的形式。探测器的扫描频率为 13.62 次/秒。在卫星运行中, 扫描是连续的, 自西向东为有效扫描。当回扫时, 快门关闭扫描器与地面的通道, 为无效扫描, 这样每扫描一次, 对应地面上为 $6 \times 82.7\text{m} = 496.2\text{m}$ 。在卫星前进中连续进行扫描记录。

(二) 专题制图仪 (Thematic Mapper (TM))

专题制图仪是新型光学机械扫描仪, 与多光谱扫描仪相比, 它具有更好的波谱选择性, 更好的几何保真度, 更高的辐射准确度和分辨率。专题制图

仪可以同时感测 7 个不同波段，如表 5-2。

表 5-2 TM 波段的编号和波段的划分

波段编号	波段划分
TM-1	0.45—0.52 μm
TM-2	0.52—0.60 μm
TM-3	0.63—0.69 μm
TM-4	0.76—0.90 μm
TM-5	1.55—1.75 μm
TM-6	10.4—12.5 μm
TM-7	2.08—2.35 μm

TM1—4 四个可见光波段的探测器装在主焦平面上，5、7 两个红外波段和一个热红外波段（波段 6）的探测器安装在冷焦平面上，前者有 16 个探测器，后者有 4 个探测器。当扫描镜扫描一次时，在波段 1—5 和 7 中，将产生 16 条数据扫描行，在波段 6，将产生 4 条数据扫描行，探测器的瞬时视场（IFOV）前者为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ ，后者为 $120\text{m} \times 120\text{m}$ 。

专题制图仪采用双向扫描，即正扫与回扫都是有效的。为达到双向扫描的效果，在仪器里安装了扫描行校正器，它的作用是使扫描镜在两个方向产生有用数据。在扫描镜转换时，校正器向前跳动，从而使得下一组光栅与上组光栅正好衔接起来。

（三）增强型专题制图仪（ETM）

在新的陆地卫星上将安装增强型专题制图仪，它是在 TM 传感器的基础上增加了一个波长 $0.5—0.9 \mu\text{m}$ 的全色波段，称为 pan 波段，其瞬时视场为 $13\text{m} \times 15\text{m}$ 。其他 7 个波段的波长范围、瞬时视场均与 TM 相同。

二、陆地卫星的轨道与覆盖

（一）运行特征

4、5 号陆地卫星的轨道参数基本相同，列表 5-3。表 5-3 陆地卫星轨道及覆盖参数

卫星编号	4(5)	1、2、3
高度 (km)	705 (平均)	远地点 918 近地点 905
倾角 ($^{\circ}$)	98.22	99.125
周期 (分圈)	98.9	103.267
降交点时间	9 45a.m.	
覆盖周期	16 天 (233 圈)	18 天 (约 251 圈)
扫描宽度 (km)	185	185
在赤道上轨道间距 (km)	170	195

1. 近极地、近圆形轨道。陆地卫星的轨道十分接近于正圆轨道，而且轨道经过南北极附近地区，故又称“极轨卫星”。

用于资源探测和环境监测的卫星多是极轨卫星。这种卫星的优点是可以

覆盖全球绝大部分地区（南北纬 60° 以上的地区除外），与静止卫星比较，它所获得的地面图像的分辨率较高。由于是近圆形轨道，这样就使得探测器在地面上的瞬间视场大小一致。即图像的比例尺保持相同。

2. 运行周期。4—5 号陆地卫星沿轨道绕地球一圈的时间约为 99 分钟，每天绕地球运行约 14.5 圈。

3. 轨道与太阳同步。陆地卫星的轨道是太阳同步轨道，即在轨道上每一个点上的地方时将保持固定不变（图 5-4）。卫星在由北向南运行中，在任一给定的相同纬度上所有的点都具有相同的地方时。卫星过赤道的地方时 4 号、5 号为 9 45a.m，在南北纬 70° 之间，陆地卫星由北而南运行中，地方时大致在上午 9 时多至 11 时多（图 5-5）。这样就保证了卫星传感器能在较为一致的光照条件下对地面进行探测，以获得质量较高的图像。

卫星轨道与太阳同步是通过“轨道的进动”实现的。由于地球是个赤道部分微突的椭球体，这个突出部分对绕地球运行的卫星轨道产生一个引力力矩。当轨道倾角小于 90° 时，轨道面逆地球自转方向进动（自东向西）；当轨道倾角大于 90° 时，轨道面就顺着地球自转的方向进动，而地球自转的方向与公转的方向相同。陆地卫星轨道的倾角的大小正好是按轨道面进动速度与地球公转速度相等，即小于 1° （ 0.986° ），这样就保证了卫星与太阳同步的特性了。

（二）扫描与覆盖

陆地卫星在一个预先设计的轨道上运行，星载传感器沿着轨道在地面上的轨迹，按一定宽度（185km），垂直于运行方向进行扫描，这个扫描宽度称之为“扫幅”。不同轨道间不是连续的，而是跳跃式的。这是由于在卫星飞行的同时，地球也在自西向东自转。每下一次的轨道轨迹均向西移动。陆地卫星 4—5 号在赤道上西移了 2752km，经过 16 天，运行 233 圈才能对全球覆盖一遍。如果有两颗卫星相位成 180° 运行，则 8 天可以覆盖一次（图 5-6）。实际上，由于云层的影响，地面接收站的接收能力不足等原因，往往获得覆盖全球的全部清晰的地面卫星图像周期要比 16 天（8 天）要长。

三、陆地卫星的地面控制、接收和处理系统

（一）地面控制中心

陆地卫星的地面控制中心设在美国国家宇航局戈达德空间飞行中心（GSFC）。它是指挥陆地卫星工作的枢纽，它控制陆地卫星工作的安排，对陆地卫星发出不同的指令，控制陆地卫星运行的姿态、轨道，指挥传感器信息的传输及星载仪器与地面接收机构协调配合等工作。

（二）地面接收站

地面接收站的主要工作是接收从卫星上传送回来的信息数据，并记录在磁带上，交给数据处理中心进行处理。地面接收站装有大型的抛物天线，当卫星进入其视野范围（仰角大于 5° ）时，地面接收站就可以实时接收从卫星上发回来的信息数据，也可以接收延时发回（即扫描时记录在磁带上；等卫星进入视野范围时，再按指令发回）的信息数据；亦可以接收由中继卫星转发的信息数据。在发射陆地卫星 1 号时（1972），全球只有 4 个地面接收

站（3 个在美国，一个在加拿大），目前全球已有二十多个地面接收站，我国 1985 年在北京密云建立了地面接收站，1986 年 12 月开始业务运行，它可接收处理 MSS、TM 信息。

（三）地面数据处理机构

地面数据处理机构的主要任务是对视频数据进行视频-影像转换，生产和提供各种陆地卫星产品。例如我国的“中国遥感卫星地面站”可以完成接收数据及制作完成各种胶片、像片及计机用磁带，可以向用户提供各种陆地卫星产品。

第二节 陆地卫星图像

一、陆地卫星图像的物理特性

陆地卫星图像是地面各种地物光谱特性的反映，它是以深浅不同的黑白色调表现出来的。因此，在判读图像时首先必须了解影像的色调差异、光谱效应以及空间分辨率等物理特性。

(一) 灰阶

地面上各种地物的辐射强度不同表现在卫星图像上是色调的深浅不同，色调深浅的分级称为灰阶（或称灰度）。因此，灰阶是区分地物辐射强度和影像色调深浅的标准。多光谱扫描仪（MSS）图像灰阶划分为15级，第一级是辐射强度最强的，为全白色；第15级辐射强度相当于零，呈黑色。各级灰阶之间的差值相当于最大辐射量的14分之一。专题制图仪（TM）图像的灰阶一般划分为16级。

卫星图像分为不同波段，不同波段图像上的灰阶只反映该波段的辐射强度。例如，TM-1图像上的灰阶只反映0.45—0.52 μm 的辐射强度；TM-7图像上的灰阶只反映2.08—2.35 μm 的辐射强度；二者色调的变化是完全不同的。而且与黑白全色航空像片的色调变化也是不同的。所以，不能以常规经验来观察和理解卫星图像的色调深浅。

地面上的各种地物很少是单纯辐射某一波段光谱的，所以判读各波段的卫星图像时，不能用一般观察地物辐射强度的经验，也不能像看黑白全色像片或普通黑白电视那样来理解图像的灰阶。

在每幅卫星图像的下边框都附有灰标，灰标是灰阶的视觉标志。判读时，可以把灰标上的灰度与影像上的色调进行对比，确定影像的灰阶。

(二) 光谱效应

各种地物物质成分、表面结构以及表面温度等的不同，造成光谱特性的差异。这种差异反映在黑白像片或图像上就是色调深浅的不同；在彩色图像上则表现为色彩的差异。航天遥感的传感器大都是分波段探测的。因此，或是同一地物，在不同光谱波段的图像上，其色调是不相同的。也就是说，采用不同波段图像判读，识别地物的能力和判读效果是不一样的，亦称光谱效应不同。表5-4、表5-5分别列出MSS和TM图像光谱效应。

表 5-4 MSS 图像光谱效应

波 段	光谱效应
MSS-1 0.5—0.6 μm	属蓝绿光波段。对水体具有一定的透视能力，透视深度一般可达10—20m，水质清澈时，甚至可达100m；对于陆地的地层岩性，松散的沉积物以及植被有明显的反映；对于水体的污染，尤其是对于金属和化学污染具有较好的反映。
MSS-2 0.6—0.7 μm	属橙红光波段。对于水体的浑浊程度、泥沙流、悬移质有明显的反映；对于岩性也有较好的反映；因该波段位于叶绿素吸收带，所以植被具有较暗的色调，而伪装的树枝、病树则有较浅的色调。

续表

波 段	光谱效应
MSS-3 0.7—0.8 μm	属可见光中的红光和近红外波段。对于水体及湿地反映明显，水体为深色调；浅层地下水丰富地段、土壤湿度大的地段，有较深的色调，而干燥的地段则色调较浅；对植物生长情况有明显的反映，健康的植物色调浅，病虫害的植物色调较深。
MSS-4 0.8—1.1 μm	属近红外波段，与 MSS-3 相似，但更具有红外图像特点，水体的影像更加深黑，水陆界线特别明显，对植被的反映与 MSS-3 相似，对比性更强

表 5-5 TM 图像光谱效应

波 段	光谱效应
TM-1 0.45—0.52 μm	属蓝光波段。对水体有较强的透视能力；对叶绿素反映敏感；对区分干燥的土壤和茂密的植物也有较好的效果
TM-2 0.52—0.60 μm	属绿光波段。与 MSS-1 相似。对水体的透视能力较强；对植被的反射敏感，能区分林型、树种。
TM-3 0.63—0.69 μm	属红光波段。与 MSS-2 相似。可以根据植被的色调判断植物的健康状况，也可以区分植被的种类和覆盖度；还可以用以判定地貌岩性、土壤、水中泥沙流等。
TM-4 0.76—0.90 μm	属于近红外波段。相当于 MSS-3、MSS-4 的一部分。此波段避开了小于 0.76 μm 出现的叶绿素陡坡效应的坡面和大于 0.9 μm 可能发生的水分子吸收谱带，使之更集中地反映植物的近红外波段的强反射，茂密的植被呈浅色。可用于植被、生物量、作物长势的调查
TM-5 1.55—1.75 μm	属于近红外波段，波长大于 TM-4。处于水的吸收带（1.4—1.9 μm ）内，对含水量反映敏感，可用于土壤湿度、植物含水量调查、水分状况研究、作物长势分析等，从而提高了区分不同作物类型的能力；对岩性、土壤类型的判定也有一定的作用。
TM-6 10.4—12.6 μm	属于热红外波段。对热异常敏感。可用于区分农、林覆盖类型；辨别地表温度差异；监测与人类活动有关的热特征；进行水体温度变化制图。
TM-7 2.08—2.35 μm	属于热红外波段。可用于区分主要岩石类型，可用于地质探矿与制图。

（三）空间分辨率

对于陆地卫星图像来讲，空间分辨率就是指地面分辨率。它大致上相当于传感器探测地面上的瞬时视场的大小。传感器接收瞬时视场上的平均辐射量，而在每个视场范围内就不能再区别内部的辐射差异，故可视为其分辨率。由于传感器在对地面扫描时，瞬时视场前后有重叠部分，这就使分辨率大于瞬时现场，也就是在卫星图像上可以分辨的最小面积小于瞬时视场的面积。例如陆地卫星 4、5 号的 MSS 的瞬时视场为 83m × 83m，而地面的分辨率为 83m × 68m。表 5-6 列出 4、5 号陆地卫星图像的地面分辨率。

表 5-6 陆地卫星图像分辨率

陆地卫星编号	传感器名称及波段编号	地面分辨率(m)
4、5	MSS1、2、3、4	83 × 68
4、5	TM1、2、3、4、5、7	30 × 30
4、5	TM6	120 × 120
1、2、3	MSS4、5、6、7	79 × 79

地面分辨率可以理解为在图像显示出地面上最小地物的尺寸（也就是像元）的大小。一般讲，凡是大于分辨率的地物可较为容易辨认；小于分辨率的地物辨认就比较困难。实际上在判读时，由于地物与所处背景反差条件的不同（即地物本身与背景间辐射量的差别），有时大于分辨率的地物在判读时也可能很难以辨认，而有时小于分辨率的地物反而容易辨认。如果用“可辨”这个词来说明从图像上判读地物难易程度的话，那么，当与背景的灰阶反差小时，虽然地物大于分辨率，但该地物可能被“淹没”在背景之中，不易辨别而可辨性差；当与背景的反差大，光照条件又适宜时，虽然地物小于分辨率，而该地物可能会“突出”在背景之上，可辨性也好。

（四）不同季节对图像的影响

地球表面绝大部分地区，由于不同季节的太阳辐射、气温、降水等变化，使地表植被、湿度也随之发生变化。特别是植物的变化更为明显，例如植物的发芽、生长、成熟、枯黄、落叶以及农作物的收割等都有明显的季节性。这些变化对于卫星图像的色调和可辨性都有不同程度的影响。例如，冬季由于气候干冷，植物枯黄，以及地表裸露，图像上能较好地反映地表物质（岩石、沉积物）的光谱特性；在夏季由于植物茂盛，而有利于植物的判读。春、秋两季，由于不同植物的生长季节不同，就有可能更细地区分和判读植被的类型。因此，在判读时，应根据判读的内容、目的，选择最佳季节的图像，以提高判读的效果。

二、陆地卫星图像的几何特性

（一）地理坐标

卫星图像中心的经纬度数据是根据成像时间、卫星轨道参数等要素，通过计算机求得的，它是由地面接收处理机构完成的，记录在胶片（或图像）上的文字注记中。经纬度注记在像幅四周，其间隔在中、低纬地区为 30'，纬度 60° 以上地区，采用 1° 的间隔。粗制图像的经纬度是用图像中心点的经纬度数据推算的；精制图像经纬度是经过地面控制点纠正后计算而得的，故其精度较高。

卫星图像经纬度的确定，是受卫星轨道倾角和运行等因素控制的，由于陆地卫星轨道倾角约为 99°，因此，在极地附近，卫星运行轨道几乎与纬线平行，图幅的南北方向与一般地图不同。在中纬度地区，卫星的轨道与经纬线成明显的斜交，并且总是经线的上端向西斜。在赤道地区，卫星轨道与经纬线略成斜交，故图幅上经纬线和地图上的经纬线相近似，可参考图 5-7。

（二）投影性质

多光谱扫描仪图像和专题制图仪图像都是在陆地卫星运行中，扫描仪沿垂直于飞行方向进行扫描而产生的连续的条带图像。可以说每一瞬时视场都相当于框幅摄影的单幅像片，而每一扫描行都有一个中心（星下点）。每幅卫星图像是由多行扫描而成的，所以说卫星图像是一种多中心投影。这与普

通航空像片，每一幅只有一个中心是不同的。由于卫星飞行高度大，扫描角度又小，所以卫星图像在变形上比航空像片要小得多，我们可以把卫星图像看作是近似于垂直投影，与同比例尺地形图的精度十分接近。

精制的陆地卫星图像是利用地面控制点作了精确校正的，用计算机归算成通用横轴墨卡托投影（UTM）或极地球面投影（PSP），其精度与同比例尺地形图相似。

（三）重叠

MSS、TM 图像都有航向重叠和旁向重叠，这与航空像片的概念相似，但亦有不同。

1. 航向重叠。这二种卫星图像都是连续扫描成像的，相邻图像的航向重叠是地面处理机构在对图像进行分幅时，为了便于用户应用时进行拼接图幅人为处理加上的航向重叠（航空像片的航向重叠是在两个摄影站摄影形成的）。陆地卫星图像的航向重叠宽度为 15km，约占图幅 8%。

2. 旁向重叠。旁向重叠是轨道间相邻图像的重叠，是由轨道间距和扫描的宽度决定的。这种重叠与航空像片的重叠十分相似，可以用来进行立体观察，但立体感不明显（由于航高过大）而且限于高纬度、重叠较大的地区。4、5 号陆地卫星在赤道地区轨道间距约为 170km，约有 15km 的重叠（图 5-8）。因为地球是一个椭球体，卫星轨道在极地地区相交，因而相邻轨道间的距离从赤道向两极逐渐缩短，而卫星对地面扫描的宽度不变。因此，卫星图像的旁向重叠，是从赤道向两极逐渐增大，旁向重叠的百分率见表 5-7：

表 5-7 陆地卫星图像的旁向重叠率（%）

纬度	0	10	20	30	40	50	60	70	80
重叠率（%） (Landsat4、5)	7.3	8.7	12.9	19.7	29.0	40.4	53.6	68.3	83.9

三、陆地卫星图像的符号及注记

陆地卫星图像的四周边有一些符号和注记，这些符号和注记对于卫星图像的判读是很需要的，它表明了一幅卫星图像的一些技术参数。陆地卫星的符号和注记，不同年代、不同类型的图像是不同的，下面介绍 MSS 和 TM 的符号和注记。

（一）陆地卫星图像的编号

按标准分幅，一幅卫星图像称为一景，为了使用方便，每一景有一个编号，这种编号称为“全球参考系统（WRS）”，由两个数字组成，例如 123—32，前者 123 为“轨径”（path）号，后者 32 为“行”（row）号。

陆地卫星 4、5 号覆盖全球一次共飞行 233 圈，轨径编号为 001 至 233（图 5-9）。规定穿过赤道西经 64.6° 为第一圈轨径，编号为 001，自东向西编号。我国领土大致位于 4、5 号卫星的 113—146 号轨径之间。

“行”（row）是指在任一给定的轨道圈上，横跨一幅图像的纬度中心线，当卫星沿轨道圈移动时给定的一个编号。第一行开始于北纬 80° 47'，与赤

道重叠的（降交点）作为第 60 行，到南纬 $81^{\circ}51'$ 为 122 行。然后开始第 123 行，向北方行数增加，穿过赤道（相当于 184 行），并继续向北直至北纬 $81^{\circ}51'$ 为第 246 行。（从 123 行后为夜间飞行）。我国领土的大陆部分白昼图像大致位于 23—48 行之间。

（二）叠合符号

在图像四角分别有“+”符号，是图像的叠合符号，在多波段图像彩色合成时，各波段图幅可利用此符号得到准确的重叠套合，其图幅对角连线交点就是图像的中心点 C，如图 5-10 所示。

（三）纵向重叠符号

陆地卫星图像两侧的上部和下部各有两个“—”、“T”的符号，它表示相邻接的上下两幅图像的纵向重叠线（图 5-10），凡同一轨径上相邻的两景图像（行号相邻）可以依此符号相接。但是不同日期的两相邻图像不一定能正好相接，因为不同日期的同一号的轨径不一定能完全重合。

（四）经纬度注记

经纬度注记在图幅的四周边。上、下两边注明经度，在经度注记前（或后）有一短竖线，表示该经度的位置；左右两侧边注明纬度，在纬度注记的上（或下）有一短横线，表示该纬度的位置。由于图幅与经纬线斜交，因而上下两边可能出现纬度注记，东西两边也可能出现经度注记。

（五）成像时间等文字的注记

在图幅下部有一行注记，说明成像时间，成像条件等。这些注记不同年代的图像有所差异，但主要项目基本相同。

1. MSS 图像的注记。

MSS 图像的注记含义，列表如下：

表 5-8 MSS 图像注记

符号位置	注记含义
01—08	成像时间 日、月、年
09—25	图像中心的经纬度
26—34	“D”表示卫星是下降的；“A”表示卫星是上升的。数字是全球参考系统的轨道数和行数
35—51	星下点（像底点）的经纬度
52—61	
52—58	传感器光谱带代码
60	“D”表示直接发送；“R”表示记录器回放出来的数据
61	空白
62—75	中心点时的太阳高度角和太阳方位角
76—87	
76	“U”=未校正 “S”=系统水平校正 “G”=根据几何的地面控制点进行几何校

续表

符号位置	注记含义
77	<p>“ R ” =根据相对应的地面控制点进行几何校正</p> <p>表示像幅大小</p> <p>“ 1 ” =185km × 185km (100nmile × 100nmile)</p> <p>“ 2 ” =92.5km × 92.5km (50nmile × 50nmile)</p> <p>“ 3 ” =185km × 170km (100nmile × 92nmile)</p>
78	<p>规定投影类型</p> <p>“ L ” =兰勃特投影</p> <p>“ P ” =极地球面投影</p> <p>“ H ” =Hotine 斜轴投影</p> <p>“ s ” =空间斜轴墨卡托投影</p> <p>“ U ” =通用横轴墨卡托投影</p> <p>“ N ” =自然透视投影</p>
80	<p>表示重复取样法</p> <p>“ C ” =立体取样</p> <p>“ N ” =最近的邻点取样</p>
81	<p>表示用于计算像幅中心点坐标的星历表的类型</p> <p>“ P ” =推测的</p> <p>“ D ” =确实的 (仅用于系统水平校正)</p>
83	<p>表示处理方法</p> <p>“ N ” =正常处理</p> <p>“ A ” =非正常处理</p>
84	
85	<p>表示传感器增益选择</p> <p>“ H ” =高增益</p> <p>“ L ” =低增益</p>
86	<p>表示发送方式</p> <p>“ 1 ” =线性方式</p> <p>“ 2 ” =压缩方式</p>
88 — 100 101 — 115	<p>NASALANDSAT (美国) 国家宇航局陆地卫星</p> <p>“ E ” =计划鉴别代码 ;</p> <p>“ A ” =陆地卫星任务 ;</p> <p>陆地卫星号数 ;</p> <p>观测时间相对于发射日期的天数 ;</p> <p>观测时的时、分、秒 (格林尼治时间)。</p>

2. TM 图像注记含义。列表如下：

表 5-9 TM 图像注记

符号位置	注记含义
1—8	图像接收日期
9—25	图像中心的经纬度
26—34	白天 (D) 或晚上 (A) 的轨道号
35—51	星下点 (标准) 的经纬度
52—61	波段号
62—75	太阳的高度角和方位角
76	处理类型
78	投影种类 ; “ G ” = 高斯克方格投影 “ S ” = 空间斜轴墨卡托投影 “ U ” = 通用横轴墨卡托投影 “ P ” = 极地球面投影 “ T ” = 横轴墨卡托投影 “ O ” = 斜轴墨卡托投影 “ L ” = 兰勃特投影 “ A ” = 阿尔勃斯投影
80	重采样方法 “ C ” = 三次卷积法 “ N ” = 最近邻法
81	星历数据种类 “ P ” = 推测的 “ G ” = 全球定位系统计算的星历数据
88—100	为机构及项目编号
101—128	接收日期 陆地卫星号 TM 数据号文件版本号

第三节 地球观测实验卫星 (SPOT) 图像

地球观测实验卫星 (SPOT) 是以法国空间中心为主设计制造的, 由法国国家地理院负责图像处理。这是一种用于地球资源观测的卫星。

一、地球观测实验卫星 (SPOT) 的轨道特征

1986年2月22日发射了 SPOT-1, 其外形如图 5-11。1990年1月22日发射了 SPOT-2。它们的轨道参数见表 5-10。SPOT 卫星的内部结构见图 5-12 所示, 所载传感器为两台高分辨率可见光扫描仪 (HRV)。其内部结构如图 5-13 所示。

表 5-10 SPOT 卫星轨道参数

轨道高度	832km
运行周期	101.4 分
每天绕地球圈数	14.2
轨道重复周期	26 天 (369 圈)
轨道倾角	98.72 °
在赤道上轨道间距	108.5km
赤道降交点时间	10 30 (地方时)

二、SPOT 卫星图像特征

SPOT 卫星的传感器有两种波段, 一为全色波段, 一为多光谱波段, 见表 5-11。

表 5-11 SPOT 卫星传感器的波段

	多光谱波段	全色波段
光谱波段	0.50 — 0.59 μm 0.61 — 0.68 μm 0.79 — 0.89 μm	0.51 — 0.73 μm
仪器视场角	4.13 °	1.13 °
地面分辨率	20m \times 20m	10m \times 10m
地面宽度	60km	60km

SPOT 卫星的 HRV 扫描方式与陆地卫星的 MSS、TM 有所不同, 它不是垂直于卫星轨道方向扫描, 而是与卫星运行方向相同的扫描。其成像过程是: 将电荷耦合器置于透镜的焦平面上, 多光谱有 3000 个探测原件, 在宽度为 60km 的扫描带上, 每个探测原件的瞬时视场为 20m \times 20m; 全色波段 (可见光) 有 6000 个探测元件, 相当于地面上瞬时视场为 10m \times 10m。

SPOT 卫星上两台 HRV 的扫描宽度均为 60km, 其重叠扫描宽度为 3km, 两台实际的地面扫描宽度为 117km (图 5-14)。

可见光扫描仪的可旋转反光镜, 可以旁向倾斜 $\pm 27^\circ$, 以 0.6° 间隔分档, 在相邻轨道对同一地面扫描, 可以获得立体像对。由于反光镜可以旋转,

每台的视域为 $\pm 440\text{km}$ ，两台视域为 937km 。因此，对地面扫描频率提高，对同一地区的两次扫描可不再是 26 天；在赤道上同一地区 26 天最高可以重复扫描 7 次；在 40° 的地区，每 26 天最多可以重复扫描 17 次。这要由用户提出要求，由地区控制中心进行控制和调节，才能达到。

第四节 极轨气象卫星及其卫星图像

自 1960 年美国发射第一颗气象卫星以来，发射的气象卫星已经超过 150 颗。气象卫星从运行特征来讲，分两大类：一类是与地球同步气象卫星，它位于地球赤道上空 35800km，公转方向与地球自转方向一致，角速度相等，故从地面上看，是静止不动的，又称静止气象卫星。另一类是轨道经过两极地区，轨道高度在 1000km 左右，与太阳同步的气象卫星，称为极轨气象卫星。这类气象卫星扫描幅度较宽，对地面扫描重复周期短，在环境监测上有其优越性。下面介绍极轨气象卫星及其卫星图像。

一、极轨气象卫星

现在正在运行的美国发射的 NOAA 泰罗斯 (TIROS-N) 极轨气象卫星的轨道参数见表 5-12。

表 5-12 泰罗斯极轨气象卫星轨道参数

轨道高度	833km	870km
倾角	98.739 °	98.899 °
周期	101.58 分	102.37 分
每日轨数	14.18	14.07

我国于 1989 年 9 月 7 日和 1990 年 9 月 3 日分别发射的试验试用型风云一号 A (FY-1-A 和风云一号 B (FY-1-B) 两颗极轨气象卫星其外形见 (图 5-15)，其轨道参数见表 5-13。

表 5-13 “风云一号”轨道参数

轨道高度	900km
倾角	99 °
周期	102.3 分
每日轨数	14.0

NOAA 卫星 7、9、11 号升轨过赤道的当地时间为 14 30，降轨为 2 30；NOAA 卫星 8、10、12 升轨为 19 30，降轨为 7 30。FY-1-A 过北京台时间为 4 00 和 16 00，而 FY-1-B 为 8 00 和 20 00。

二、极轨气象卫星的图像

NOAA 极轨气象卫星的传感器为改进的甚高分辨率辐射仪 (AVHRR)，它有五个通道，其波段划分可见表 5-14。

表 5-14 AVHRR 的波段划分及用途

通道	波长 (μm)	用途
1	0.58—0.68	白天云、地表
2	0.725—1.0	云、水泥、植被、水
3	3.55—3.93	火灾、夜间海温
4	10.3—11.3	海、陆、云顶温度
5	11.4—12.4	同上

风云一号的传感器为扫描辐射计 (HRPT)，分为五个通道，其波段划分和用途见表 5-15 与表 5-14 比较，可见两者的不同是在第 3、4 通道，其它通道的用途，两颗卫星基本相同。

表 5-15 HRPT 的波段划分及用途

通道	波长 (μm)	用途
1	0.58-0.68	白天云、地表
2	0.725—1.10	云、水泥、植被、水
3	0.48—0.53	海洋观察 (水色)
4	0.53—0.58	同上
5	10.5—12.5	海、陆、云顶温度

(一) 极轨气象图像的分辨率和扫描宽度

泰罗斯气象卫星图像与风云一号气象卫星图像的分辨率基本相同，在星下点的地面分辨率为 1.1km，向两边分辨率逐渐降低，在边缘部分约为 4km。

极轨气象卫星的扫描角较大，泰罗斯气象卫星的有效扫描角为 $\pm 55^\circ$ ，相当于地面宽约 2880km，而风云一号的有效扫描角度为 $\pm 55.4^\circ$ ，相当于地面约为 3225km。

(二) 极轨气象卫星的覆盖

极轨气象卫星与陆地卫星不同，其重复观测与覆盖全球的速度比陆地卫星快得多，NOAA 卫星单、双号配合，其过赤道的时间为单号 (9、11) 为 14 30、2 30，双号为 (10、12) 19 30、7 30。风云一号 FY-1-A 的过北京地面站的时间为 4 00、16 00，FY-1-B 为 8 00、20 00。它是连续覆盖，每一颗卫星每天均可覆盖全球一次。

(三) 极轨气象卫星图像的投影

极轨气象卫星图像，由于扫描宽度大，扫描带的边缘变形较大，分辨率较低，但经过处理和校正后，在投影上与地图相同，如球面极投影、墨卡托投影或等角圆锥投影。

(四) 极轨气象卫星图像用途

极轨气象卫星图像除作为天气预报的主要依据之一外 (如每天在电视上所见)，在环境监测和应用上愈来愈发挥出重要作用。例如：在作物和牧草生长状况、大面积作物和森林病虫害的监测、鱼汛的预测、海雾的监测、城市热岛观测，地震的预测等方面的应用。极轨气象卫星的应用领域有待进一步地探索、研究和扩展。

复习思考题

1. 陆地卫星的传感器有几种？波段是怎样划分的？
2. 陆地卫星为什么要采用中高度、近极地的近圆形轨道？
3. 为什么陆地卫星轨道要与太阳同步？
4. 什么是光谱效应？MSS、TM 各波段的光谱效应各有哪些特点？
5. 为什么小于地面分辨率的物体有时也能在卫星影像上辨认出来？
6. 陆地卫星图像的注记含义各是什么（对照卫星图像逐段判读）？
7. SPOT 卫星扫描方式与陆地卫星有何不同？

实习8 在卫星图像上连绘经纬线网

目的要求：熟悉卫星图像的经纬度注记的符号，并学会连绘图幅经纬线网，要求每个学生绘制一张卫星图像的经纬线网，精度达到0.2毫米。

二、材料和工具：卫星图像一张、大三角板、2—4H绘图铅笔、橡皮以及与卫星图像等大的透明纸（或聚脂薄膜）一张。

三、方法：

1. 观察卫星图像周边的经纬度注记和经纬度位置标记—竖线（|）和横短线（—），观察时应特别注意在上下边是否有纬度注记，左右边有否经度注记。

2. 把对应经纬度位置标记的内侧端点，用直线连接，构成整幅图像的经纬线网。

3. 检查纬线是否平行，纬线间距是否相等；经线是否平行（中、低纬度），经线间距是否相等。

如果是在透明纸上连绘经纬线网，应把透明纸蒙在卫星图像上，并用透明胶带固定，然后按上述方法连绘。

实习9 熟悉卫星图像边框符号和注记

一、目的要求

了解图像边框符号和注记的意义，通过实习记住与判读有关的符号与注记。

二、材料和工具

卫星图像一幅、笔、实习报告纸等。

三、方法

1. 观察图像上各种符号和注记，对照教材有关内容了解其含义。
2. 用文字写出注记和符号所代表的含义和说明。
3. 注意记住与判读有密切关系的内容，如成像时间、传感器类型、波段编号、太阳高度角和方位角等等。

第六章 卫星图像的目视判读

目视判读是卫星图像应用的最基本方法，即使用计算机进行数字图像处理时，诸如训练场地的确定、样本的选择以及自动分类决策的预估等，也都不同程度地需要目视判读作为基础。

第一节 卫星图像的判读特点

一、卫星图像的特点

卫星图像与航空像片同属于遥感成像方式获得的资料，都是按一定比例尺，客观、真实地记录和反映了地表地物辐射（反射或发射）电磁波的强弱变化。因此，卫星图像具有与航空像片一样的特性（物理、几何特性）。判读航空像片的一些原则和方法，基本上适用于卫星图像的判读。由于卫星图像是在远离地球表面（大于 80km）的空间成像，所采用的航天遥感工作平台以及所携带的传感器类型、工作方式及其性能等与航空摄影有所不同，使卫星图像有如下的一些特点：

（一）卫星图像更具宏观性

卫星图像成像距离远，成像比例尺小，覆盖面积大。因此，卫星图像更具概括性，使较大型的地物和景观的宏观特征得以突出地显现出来，例如：山地和平原的分布，山间盆地的形态，区域地层展布，以及地质构造形迹等大型地物和现象，在卫星图像上一般都可清晰地反映出来。由于卫星图像覆盖面积大，有利于展示地物和现象间的空间关系，为分析研究它们之间的关系及其相互影响，提供了更为有利的条件和基础。

（二）卫星图像具有多波段特点

航天平台所携带的传感器多为多通道同步成像，获取的是多波段图像。而且，随着新一代传感器的使用，卫星图像波段选择的针对性越来越强，波段数目增多，信息量更为丰富，分辨地物的能力不断提高，应用领域不断扩展。

（三）卫星图像的时相动态性更好

由于航天遥感平台有规律不间断地运行，可较容易地获得不同时相的卫星图像。这样不但可对同一地区自然景观和现象进行动态变化的分析研究，而且还可获得植物和作物生长发育情况、冰雪消融、云量及降水变化等信息，可为分辨识别地物提供进一步的信息，为气象、水文、洪水的预报提供依据，对火山爆发、地震灾害、地质灾害等作出分析和预报。

卫星图像还具有几何畸变小、能同时提供数字图像产品、可直接进行计算机处理分析、以及成像光照条件一致、现实性好等特点。因此，在进行卫星图像判读时，要注意利用卫星图像的特点提取有用信息，充分地发挥卫星图像的应用效益。

二、卫星图像的判读标志

卫星图像的判读标志是指卫星图像上反映出的地物和现象的图像特征。卫星图像同航空像片一样，都是以深浅不同的黑白色调（灰阶）或不同的色彩构成的各种各样图形表现出来的。因此，卫星图像的判读标志也可概括为：色调、形状、大小、阴影和组合图案特征。由于卫星图像所具有的特点，这些标志在表现形式上以及在判读运用中又有别于航空像片，具有卫星图像判读的特点。

（一）色调标志

色调（或色彩）是地物或现象反射或发射电磁波强弱程度在遥感图像上的记录和反映，是判读卫星图像的主要标志和依据之一。

卫星图像是分波段成像的。因此，分析卫星图像色调特征时，首先必须分清图像属于哪一波段及其波长的范围。不同波段的图像，色调变化是不一样的。例如：陆地卫星 TM_1 图像上的色调变化，只反映地物或现象对 TM_1 (0.45—0.52 μm) 蓝光波段反射的强弱；若地物反射蓝光的强度强，在 TM_1 图像上相应的色调浅，反之则色调深。而 TM_2 图像上的色调，只反映地物反射 (0.52—0.60 μm) 黄绿光的强弱程度。所以，在分析卫星图像色调变化时，必须了解和掌握地物的光谱特性，依照地物光谱特性分析各种地物在卫星图像上色调变化的特征，从而识别出不同地物和进行信息的提取。

卫星图像的色调深浅依然以灰阶来度量，陆地卫星 TM 图像或 MSS 图像，均在图像的下边框处标示出灰阶表。判读时，可依灰阶表来确定该幅图像中的色调。

卫星图像的色调与地物本身的颜色、表面结构（平滑或粗糙）、湿度大小、植被覆盖程度、光照以及气象条件等因素有关，并随时间而变化。因此，色调的变化，要依具体地区，不同环境背景及其影响因素等，作具体的分析。所以，在运用色调标志判读时，一定要注意色调标志的地区局限性和时间局限性，注意总结本地区各种地物色调变化的规律，以提高判读的效果和质量。

彩色卫星图像是以色彩色调的不同，表现不同地物的图像。在分析图像色彩变化时，首先要了解彩色图像的种类，如天然（真）彩色或是假彩色，或者是彩色等密度分割图像，或是其它形式的彩色合成图像等；然后结合彩色合成原理（第七章介绍）和地物光谱特征，正确分析地物呈现的色彩及其变化。

（二）图型标志和其它标志

由于卫星轨道高度高、比例尺小，因此，卫星图像上单一个体的形状、大小、阴影特征，除大型地物外，很难反映出来，而往往反映出众多个体在形状、大小和阴影等方面的群体综合特征。所以，属性相同或性质相近的个体组成的群体，一般在色调及其所形成的图案纹形上，往往呈现出一种特定的图形模式，根据该图形模式可直接判读识别出相应的地物或现象，常称此图形模式为图型标志*。

卫星图像的图型标志是地物形态特征与其光谱特征的综合反映，主要取决于地物的性质及其平面形态以及高低起伏的特征。例如，我国南方石灰岩广泛分布地区（广西、贵州一带），地表喀斯特地貌十分发育，峰丛、溶丘、干谷、洼地正负喀斯特地形纵横交错，在卫星图像上构成了深灰色调带麻点状、菱形或网格形的“桔皮状”（或称“花生壳状”）的图型。按照这一图型标志，可从图像上直接识别出喀斯特地貌类型。又如我国黄土地区，水土流失严重，沟谷纵横，地形切割破碎，在卫星图像上表现出大范围的呈浅灰色调的细密型树枝状图型，依此可确定黄土地貌的分布。所以，在判读卫星图像时，要善于总结出一些地物和现象所反映出的特殊图型标志，依此来进行判读。

三、卫星图像的判读方法

由于卫星图像与航空像片性质上的一致，判读标志的运用又相近似，卫星图像的判读可沿用航空像片的判读原则和方法进行。但应注意结合和突出卫星图像的特点。

（一）直接判定法

卫星图像比例尺小，在卫星图像上除了较大型的地物个体，可根据其色调、形态等标志直接判定外，一般地物个体的形态等细部特征，在卫星图像上都不如航空像片清楚。因此，在卫星图像上直接判定一般是依据其色调标志和图型标志进行直接判定，例如对喀斯特地貌或黄土地貌进行的分析判读。

在进行各种标志的综合分析时，要相互对照、互相补充印证。另外，应强调指出，色调（或色彩）标志在卫星图像直接判定中的重要性，对色调分析必须要结合具体的图形或图像特征，即“色”要附于一定的“形”上。这样，色调才具有实际意义，才可能判定识别地物。

（二）对比分析法

对比分析法是对卫星图像不同波段、不同时相的图像进行对比分析，以及与地面已知资料或实地进行对比。对比的目的在于建立卫星图像与实地地物和现象的对应关系，总结判读经验，发现图像异常，以便从卫星图像上提取更多信息，使判读成果更为准确可靠。

对比分析方法是卫星图像判读的重要方法和常用方法。如通过对不同波段或不同时相的卫星图像色调的对比和分析，可把不同地物和现象识别出来。例如：大豆和玉米两种作物，从图像上可能很难区分开，但是，利用不同时相图像的对比，有可能将两者区分开。图 6-1 是大豆和玉米在不同时间两度空间的反射光谱曲线。从该图分析可见，在播种后的一段时间，两者光谱曲线接近，而在播种 30 天前，绿色覆盖尚不完全时，光谱曲线的差异比 75 天、100 天和 140 天都显著得多。因此，选择播种 30 天前后的图像资料，就能把种植大豆和玉米的土地分开。所以，在对比不同时相的图像资料时，要注意选择所要判读地物和现象光谱差异最大时的最佳时间，利用此时图像对比，有利于提高判读效果。

另外，通过对比已知资料或与实地对比，可发现图像异常，而引起判读者的注意，据此常能引出一些新的发现或有意义的启示。例如，矿区外围找矿中，常利用对比分析法，发现找矿线索，寻找到有意义的控矿构造等，使矿区远景得以扩大。

（三）逻辑推理法

基于卫星图像的特点，卫星图像的判读更多的是应用地学规律的相关分析和实际经验，进行逻辑推理法的判读，即借助各种地物和自然现象间内在联系，结合图像上表现出的特征，用专业知识的逻辑推理方法，判定某一地物和现象的存在及其属性。

卫星图像的视域宽广，能显示较大区域的地物和现象的空间分布。根据地物和现象在自然界中固有的相互依存关系和规律，运用逻辑推理法，就能从易被人们忽视，或难于发现的潜在的或微小的图像差异中，寻找出识别地物的依据，从而提取更多有用的信息。例如，从水系分布的格局、密度，可推断出有关岩性及地貌类型等方面的信息。从植被类型分布，可推断出土壤类型等方面的信息。

进行逻辑推理时，必须尊重图像的客观现实，分析时要对图像上反映的每一个微小差别和具有潜在意义的信息，一一做出交代，说明原因。对于判读中出现的一些疑难，要结合野外实地观察和验证加以解决。只有这样才能不断地提高判读的效果。

总之，卫星图像的判读一般要比航空像片的判读难度大。在实际判读中要结合运用直接判定法、对比分析法和逻辑推理法。

近年来，在卫星图像专业判读中总结出“单项提取、系列成图、综合分析”的方法，即首先从卫星图像上提取单项信息，如水体、河流、地貌形态、土地覆盖类型、植被、土壤等要素的分布，并依次作出系列单要素判读成果图。然后，根据专业的需要将其中几个或全部单要素图重叠，根据各要素之间的相互关系进行综合分析研究，作出进一步的综合判读。

单项提取、系列成图、综合分析的方法，有利于从卫星图像中提取更多信息，是目前各专业判读中较广泛采用的方法之一。

四、卫星图像的判读步骤

卫星图像的判读步骤，同航空像片一样，可分为准备工作、室内判读、实地（野外）校核、验证和成图总结四个阶段。各阶段的实际内容与航空像片基本上是相同的。卫星图像判读要强调的是根据其判读任务的需要，判读工作要有侧重，突出卫星图像的特点。

例如，在准备工作中，以卫星资料收集为主，收集不同时期（时相）、不同波段、不同比例尺、不同类型的卫星图像，以及对典型地物光谱曲线的测试和收集工作等。而其它的一些工作，如工作底图、文字资料、专题地图等资料的收集、整理的原则和方法，基本上与航空像片相同。

室内判读强调多种判读方法和资料的综合运用，如假彩色合成图像，彩色等密度分割图像，以及各种增强处理的图像的应用，以辅助判读，提取信息，或相互验证，使判读准确可靠。

判读成果的验证和校核，一般先是与航空像片或已知资料对比，进行检验。对一些重点或典型区，或是判读疑难处（图像异常），重点到实地查证校核。

转绘和成图，根据近几年来进行的一些遥感工程情况看，一般都是采用遥感系列成图的方法，分要素或按不同需要和功能分别成图，形成系列。这样，不但发挥了卫星图像信息丰富的特点，而且为区域的开发、规划以及科学管理提供了较全面的信息基础，亦可为建立地理信息系统（GIS）提供信息保证。

第二节 水体判读

基于水的光谱特性、水体一般在卫星图像上均能反映出直观而清晰的图像特征，易于判读。而且，卫星图像能在较大地域上展现水体、水系的分布，显现出区域的地形宏观特征、构成一地区的地势基本格架。因此，在卫星图像判读中，往往先进行水体判读并进行单要素成图，为水资源和水环境的分析研究，以及其它专业的判读提供基础。

一、水体的光谱特性

太阳光到达水面，一部分被水面反射回空中，它的反射强度与水面性质有关（如水面粗糙度等）。其余的光则透射到水中，其中大部分被水体吸收；部分被水体中的悬浮粒子所散射，产生水中散射光，其散射强度与水体浑浊度有关，返回水面的那部分散射光称为后向散射光；另外部分透射到达水底，形成水底反射光。这样，水中后向散射光及浅水条件下的水底反射光，组成水中光，如图 6-2 所示。空中遥感传感器接收的光包括：水中光、水面反射光、天空光以及大气散射光。其中，水中光、水面反射光包含了水体信息，如水中悬浮物、浮游生物、浊水污水等质量和数量信息，以及水面性质等有关信息。

水体对太阳光吸收、反射和透射是随波长而变化的，总的是吸收大于反射和透射。图 6-3 表示厚度为 1mm 的水层的吸收光谱曲线。其中，可见光波段水吸收率较低，即在蓝、绿光波段透射能力相对较高。因此，水浅时，蓝、绿光波段可透射过水体，反映出水底情况。水对近红外波段吸收较强，在 $1.4\ \mu\text{m}$ 和 $1.9\ \mu\text{m}$ 附近，其吸收率接近 100%。显然，对于自然水体，即使水很浅，也能吸收绝大部分的红外辐射。所以，在近红外波段的卫星图像上，水体色调一般呈深色调。与周围植被或土壤的色调形成较大的反差。可容易地把水体与其他地物区分开。影响水体光谱特性的因素主要有以下几个方面：

（一）水体反射率与浑浊度的关系

自然界水体中含有多种有机物和无机物，其中有些杂质处于悬浮状态。水体的反射光谱与悬浮物的性质和含量密切相关。利用光谱辐射计，通过测量得出：悬浮泥沙所引起的浑浊程度是影响水体反射率的主要因素之一。图 6-4 表示浑浊水体（悬浮泥沙含量为 $99\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）和清水（悬浮泥沙含量为 $10\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）的反射光谱特性曲线。可见，在可见光的橙、红光波段内，浑浊水的反射率比清水的反射率高 5% 左右。清水在 $0.75\ \mu\text{m}$ 处，反射率降为零，而含有泥沙的浑浊水，在近红外波段的 $0.8\ \mu\text{m}$ 处还出现较高的反射率。在 $0.95\ \mu\text{m}$ 处浑浊水反射率下降为零。陆地卫星测量的反射率结果，也表明在 $0.6\text{—}0.7\ \mu\text{m}$ 波段反射率与水体的浑浊度之间存在着线性关系，如图 6-5 所示。

（二）水体反射率与叶绿素的关系

水体中的叶绿素浓度对水的光谱特性影响较为显著。水体叶绿素浓度增加，蓝光波段的反射率明显下降，而绿光波段的反射率却明显上升。图 6-6 为叶绿素含量不同的三种海水反射光谱曲线。叶绿素的浓度是衡量水体初级

生产力和高营养化作用的重要指标。因此，用遥感方法可监测藻类的存在和浓度。

自然水体中的杂质，除了悬浮无机物和叶绿素外，其它物质也会造成水体光谱特性的变化。例如，水上油溢污染使紫外和蓝光波段反射率增高。而水体中酸，或无机盐类的含量等，对水的反射率影响则较小，看不出差异。

综上所述，水体由于浑浊度、叶绿素或水表面性质不同，具有不同的光谱特性变化。显然，了解这些特性及变化对水体判读是很有用的。

二、水体判读

水体判读一般采用陆地卫星 TM_4 (0.76—0.9 μm) 或 MSS_4 (0.8—1.1 μm) 的近红外线波段图像。在近红外图像上，水体呈封闭的自然平面状，色调均匀且深，一般呈浅黑或黑色调，常表现出与周围地物明显的界线。因此，在这种黑白图像上能比较容易地分辨、识别出水体。在由 TM_4 、 TM_3 与 TM_2 合成的标准假彩色图像上，水体呈蓝黑色、深蓝色，更易从图像上分辨出来。一般大于扫描像元的水体，在卫星图像上均有相应的反映，在背景反差较好的情况下，小于像元面积的水体，有时也能反映出来。

湖泊、水库、池塘的区别，要结合水体的平面形状、大小、位置，以及水体水源条件、人工建筑等辅助工程（如水坝等）综合判读，一般是不难区分开的。

对于水体的深浅，基底情况，泥沙含量，以及悬浮生物，受污染情况的判读要进一步对 TM_1 和 TM_2 图像，以及对彩色合成图像上水体的色彩、色调变化进行分析，结合具体地理环境背景以及实践经验进行深入的综合判读。

三、河流、水系的判读

河流、水系的判读仍以采用近红外波段图像为主。主干河流及其支流在卫星图像上一般表现较为直观、清晰，可容易地识别出来。在 1:50 万比例尺的卫星图像上一般河床宽度大于 15 米的河流，都可判读出来。卫星图像覆盖面积范围大，水系分布特征在图像上清晰可见，一般不难判定。

应用陆地卫星 TM_2 (或 MSS_1)， TM_3 (或 MSS_2) 和 TM_4 (或 MSS_4) 及其合成的标准假彩色图像，可对较大型河流及河流入海口泥沙的运移、沉积进行判读。图 6-7 为黄河河口三角洲及入海泥沙扩散的判读图。从其彩色合成图像上，可清晰观察到黄河河口河水含沙量大呈乳白色的浅色调，以及由河口渐向两侧扩散的沿岸泥沙流。根据色调的有规律变化，可勾绘出沿岸泥沙流的运移方向、沉积状态。

水系是在一定集水区内，大小河流构成的脉络相通的系统，体现出区域地形的基本框架。一个地区的水系特征，是与该地区的地质构造和地貌形态密切相关的。因此，水系特征在地质、地貌判读中有重要的作用。卫星图像上常见的水系类型如图 6-8 所示。

树枝状水系 各级支流向各个方向自由发展，没有明显的固定方向，形如树枝。主、支流间呈锐角相交。树枝状水系多出现在岩性均一、产状平缓、构造简单、地形坡度不大的地区。如黄土、泥岩、页岩、厚层砂岩、花岗岩、凝灰岩分布地区。

格状水系 格状水系是一种严格受地质构造控制的水系，其特点是主流与支流呈近直角相交。形成平行的矩形或菱格状图形。常出现在褶皱构造山区、单斜山区，如主流发育在向斜轴部，支流顺向斜两翼发育，即可形成此水系。

平行状水系 水系特点是各级水流近于平行，或以很小的角度交汇，支流多呈延伸的直线状或注入主流或汇入集水盆地中。平行状水系多出现在稳定的倾斜岩层或斜坡上，如滨海斜坡及单面山的两侧。

放射状及向心状水系 水道呈放射状自中心向四周延伸的水系称放射状水系。多发育在火山锥和穹窿构造的地区。沟谷一般切割较深，多呈“V”形谷，两侧常发育有短小的支流或冲沟，水流从四周向中心汇集的水系称为向心状水系。多发育在湖盆洼地和局部沉降区。

羽毛状水系 羽毛状水系是树枝状水系的变种，其特点是主流粗壮，支流短细互相平行如羽毛状，常发育在黄土区。有时在含泥质很高的粉砂岩区也能形成密度较稀的羽毛状水系。

扇状水系 多发育在河口三角洲或冲洪积扇上，水系呈扇状。

星状水系 在碳酸盐岩地区，特别是湿热气候条件下的石灰岩地区，地面上大小溶蚀洼地、漏斗纵横交错，洼地水流彼此分立，呈星点状，故名星状水系。

水系特征除了受地质构造和岩性控制外，还与气候、地面坡度、植被分布以及人工改造等多种因素有关。因此，水系判读还应具体结合其他因素综合地判读。

第三节 地貌判读

卫星图像地貌判读通常从地貌宏观形态特征入手，结合其色调、图型等标志，从整体到局部逐渐深入。判读时要依据地貌学原理结合具体地区的地质、水文、土壤、植被等地理因素进行分析和综合判读。

卫星图像地貌判读时，以采用冬季成像的太阳高度角较低的卫星图像为佳，一般宜采用可见光波段和近红外波段的图像，例如陆地卫星 TM₁₋₄ 图像，及假彩色合成图像。

一、地貌形态判读

卫星图像的地貌形态，主要是指构造地貌中较大型的地貌形态，如山地、平原，以及盆地、丘陵等。它们在卫星图像的特征，与航空像片上有相似之处，只是更概括，范围更大。一般不难判读。判读时，为了观察地形的起伏变化，可将阴影（部分）对向自己，“逆光”观察，以得到正立体的观察效果。

（一）山地、丘陵、盆地的判读

山地和丘陵由于地形起伏，形成阴坡和阳坡，产生色调的深浅变化。特别是“逆光”观察时，可观察到地形的高低起伏，较明显的山脊线和谷坡，以及山体分布的轮廓。进一步判读可根据地形切割程度，并参考相应的地形图，将山地划分为高山、中山、低山和丘陵。

高山和中山一般色调不均匀且变化较大，阴影浓重，山脊陡峭，地形切割较大。常具有较明显的山脊线，有时可见积雪或冰川分布。

低山和丘陵一般色调差异变化较小，谷地宽浅，谷坡舒缓，地形切割小，山顶常呈浑圆状。低山一般为连续的山体，有时可见不连续或不太明显的山脊线。而丘陵常为孤立的山丘，常散布于山地与平原的过渡地带。

盆地是被山地或高原包围，中间相对平坦的地区，色调较均一。具有一定规模的盆地，在反差条件较好时，盆地轮廓一般都不难勾画出。

判读时，若与假彩色合成图像或其它增强图像配合效果会更好。山地不同坡向的山坡上植被种类及其生长状况、植被垂直分布的特点、各种地貌形态及人工开发利用状况，均可在图像上不同程度地反映出来。因此，根据色彩、色调的分析，并结合实地资料进行综合判读，可准确地判定山地、丘陵、盆地及其分布的范围以及开发利用的现况。

（二）平原、高原的判读

平原、高原地面较为平坦，色调均匀且单一，呈平面状展布。可依其所处位置、形态及海拔高度，区分出低平原和高平原。平原中可区分出山前冲积平原、冲积平原和海积平原。平原是人口集中和主要的农作区，城镇广布、耕地宽平密布、道路交通及灌溉渠道纵横共同构成了平原的景观。判读时可结合这些与平原相关的地物和现象进行判读。

二、流水地貌判读

水在卫星图像上显示明显，由流水侵蚀、搬运、堆积而形成的流水地貌在卫星图像上也有较明显的反映。例如，山区和平原中的河床、洪积扇、河口及其三角洲等。判读时可同时应用彩色卫星图像和不同波段、不同时相的卫星图像一起进行分析和判读。这不但可提高判读的效果和精度，而且可为

研究地貌的动态变化及其变化规律提供信息。

（一）河床和阶地的判读

河床在卫星图像上一般呈自然的曲流状，在近红外图像上色调较深，常形成与周围背景较大的色调反差，容易分辨出。在卫星图像上可区分出主干河床、支流河床。如背景反差好，或配合适当的增强处理图像判读，可划分出四级到五级支流水系。

一般在大比例尺卫星图像上，平原地区或较大型的主干河床上可观察到其河漫滩和河流阶地，判读时可用放大镜仔细辨认。一般较新的阶地位于近河床的两侧，由于靠近河床，地下水位高，土壤湿度大，色调较深；而较老的阶地位于距河床较远的较高地段，土壤湿度相对干燥，色调较浅。但有时可受到植被、地下水等因素的影响，色调发生变化。因此，判读时应结合具体情况进行。

（二）冲洪积扇的判读

卫星图像上，常在河流进入平原，河流出山口附近发现有扇形展布的冲洪积扇，有时不同规模的冲洪积扇，沿山前地带一字分布。卫星图像往往能展现出冲洪积扇的全貌，可对冲洪积扇的物质构成及其分带，水系变化，以及形成过程进行进一步的分析和判读。例如，冲洪积扇扇顶地段多由沙砾物质组成，植被不发育，一般呈浅色调，而中、下段物质构成逐渐变细，多为粉沙或粘土，并广布耕地，植被发育，色调较深。尤为明显的是扇前（缘）的潜水溢出带，由于地下水位移近地表或地下水溢出，构成一呈弧线形的外缘线，洪积扇可以此线为界圈画出来。在新构造运动活跃的山前地段，常可见新、老冲洪积扇呈串珠状或叠瓦状展布，并伴有水系的改道形迹等现象，据此可对冲洪积扇的演化及本地区新构造运动，作出进一步的分析和研究。

（三）河口三角洲的判读

应用卫星图像对河口三角洲的判读常可获得好的效果，例如，可对三角洲河床的分布作全面的判读了解；利用不同波段和不同时相的图像，对河口的沉积，以及三角洲的增长变化作出分析。图 6-7 就是对黄河河口三角洲泥沙扩散及其变化的判读图，从图上可见，渤海西部岸线河口两侧呈一弧线，逐渐向外扩展，黄河三角洲在不断增长中。

（四）古河道判读

利用卫星图像判读古河道可首先从图像色调入手。由于古河道与其周围存在水、土条件的差异，如土壤湿度大，以及植被较发育的特点，在陆地卫星 TM_4 近红外波段图像上，色调一般与其周围背景存在差异。这样，沿此色调差异追索，可发现一隐约的且有一定走向的宽带状河道图像，往往就是古河道所在。图 6-9 是天津市南郊海河古河道的判读图，基本就是按此方法判读，并得到地面验证。亦可利用假彩色合成图像一起判读，效果更好。古河道在假彩色合成图像上一般呈具有一定走向的宽带状，色调偏红色（古河道上植被发育），或深蓝色（湿度大，无植被），而与其周围地物形成色彩色调差异。

另外，判读时可从图像上提取出一些与古河道密切相关的地物，如牛轭湖、天然堤、废弃的河道汉等，配合确定古河道的位置和分布。如图 6-10 所示，点线连成的河道即为判读出的古河道。

三、风成地貌判读

应用卫星图像判读和研究风成地貌，尤其是对于一般人难以到达的沙漠腹地，荒漠地区的调查与分析研究，具有重要的实际意义和优越性。

沙漠和荒漠区，气候干旱，植被稀少，地面裸露，在各波段都有较高的反射率，所以在各波段卫星图像上，一般均呈浅色调。由于风力作用，沙漠上形成各种沙丘，以致在图像上形成大面积浅色调疏密不同的波纹状图型，据此可圈画出沙漠的分布范围。

在卫星图像上，根据色调和图形结构的不同，可区分出荒漠的类型；根据沙丘的组合形态和分布规律，可判读出沙丘的类型。如沙丘链呈波纹状，沙垅呈条纹状等。根据沙丘链波形的展布，可确定当地盛行风向；利用不同时期卫星图像进行对比分析，可以研究沙漠进退动态变化。在标准假彩色图像上，沙漠中的绿洲呈鲜红色的点状或斑块状，与周围呈浅黄色的沙漠有明显的差异。

四、黄土地貌判读

黄土是一种浅色调的第四纪松散堆积物，在各波段卫星图像上一般呈均匀的浅色调。由于黄土垂直节理发育，易受冲蚀等特点，地面被沟谷纵横分割，形成密集而坡陡的沟谷，在卫星图像上形成独特的密集型树枝状的图形标志。这种图形是判读黄土地貌特有的标志。

黄土塬是地势较高的宽广平坦的黄土堆积面，色调较浅。黄土塬边缘不断受沟谷切割，使塬面变窄，形成不规则的形状。主沟较稀疏，支流短细而密集。梁状黄土丘陵区，支沟发育明显。梁峁状黄土丘陵，冲沟较杂乱。在陕西保德幅、绥德幅卫星图像或标准假彩色合成图像上，可看到各种类型的黄土地貌的图像特征。

五、喀斯特地貌判读

喀斯特地貌是碳酸盐岩分布地区一种典型地貌类型。喀斯特的发育受到岩性、地质构造以及气候条件的控制，形成峰林、峰丛、溶蚀洼地等不同的正负溶蚀地形，它们在卫星图像上表现为较深的色调和独特的“桔皮”状图形。在广西河池幅、柳州幅及贵州省贵阳幅的卫星图像上，可看到典型的喀斯特地貌图像特征。

在我国北方如华北地区，喀斯特地貌不发育。卫星图像上石灰岩地区一般色调较浅，水系呈稀疏树枝状，地貌形态为崎岖陡峭，山体且呈似层状展布。

六、冰川地貌判读

现代冰川明亮的色调、特殊的外形在卫星图像上易于识别。可先宏观观察冰川分布范围，配合地形图可以确定雪线的高度，并量测雪被和冰川的面积。根据其外形轮廓，可以确定冰川类型，如冰斗冰川、山谷冰川等。应用不同季节的卫星图像，还可进行雪线变化的研究，一般效果较好。在西藏的珠穆朗玛峰幅、新疆的乔戈里峰幅卫星图像上，都可以看到典型冰川地貌的图像特征。

七、火山及熔岩地貌判读

(一) 火山地貌判读

较大型的火山，以其独特的形态在卫星图像上反映较为明显，图 6-11 为吉林省天池幅卫星图像判读草图，天池是著名长白山的火山口，为巨型复式锥式火山，山口积水成湖，称为天池。火山锥体主要由碱性粗面岩组成，顶部覆盖灰色碱性浮岩。由于冬季白雪皑皑，夏季白岩裸露，终年呈灰白色，故有“白头”之称。卫星图像上清晰显示出灰白色的近圆形火山锥和放射状水系。

小型的火山呈圆点状，火山群图像呈现不同密度的星点状分布。山西大同幅卫星图像上有较明显的图像显示。

（二）熔岩地貌判读

熔岩地貌多分布在火山周围，大面积分布的火山熔岩多以中、基性和基性熔岩为主，它们在产状形态上往往为台地（熔岩被）及穹丘状地形。我国雷州半岛玄武岩地貌，不仅地形上构成山丘，而且灌木植被十分发育。它在 TM_1 卫星图像上构成中间突起的斑状且呈暗黑色调。而在 TM_4 卫星图像上为浅灰色调。仔细观察也能看到火山口、熔岩流的溢流通道及熔岩流形态。

第四节 地质判读

卫星图像地质判读包括岩性和地质构造判读。地质构造判读一般效果较好；而岩性判读，由于影响因素较多，判读的难度较大。

地质判读主要是根据图像的色调、形态和图形标志进行，特别应注意图像上显示出的地质体空间分布特征以及体现出的相互关系特征的提取和应用。要依据地质学理论，结合具体地区的地形、水文、土壤、植被等相关地物和现象，进行逻辑推理判读。

一、岩性判读

自然界岩石类型繁多，其成份、结构构造、颜色及形成条件都不同。不同岩性由于所处的大地构造位置、地貌单元、海拔高度、气候带和地理位置的不同，表现出不同的形态、生长不同的植物、发育不同的土壤等。而且，由于成像、气象、光照及图像冲洗等条件不同以及外界因素的干扰，导致岩性判读标志的多变性，并显示出地区的局限性。因此，在判读时，要全面观察和总结本地区的判读标志，从复杂多变中力求归纳出一些具有相对稳定和普遍意义的判读标志。岩性判读多依据图像特征，光谱特性并结合地形、水系、植被和土壤等特征进行综合判读。

图 6-12 表示几种岩浆岩和沉积岩反射光谱曲线。从曲线中可见：波长在 0.5—1.0 μm 波段范围内，岩石间的光谱差异并不大。因此， TM_{1-4} 波段图像，或 MSS 各波段图像上各种岩性间色调差异不明显，不能单纯依色调将不同岩性分开。为此，在陆地卫星 4/5 的专题制图仪 (TM) 中为岩性判读增加了 TM_5 (1.55—1.75) 和 TM_7 (2.08—2.35 μm) 波段。从图 6-14 所列几种沉积岩的反射光谱曲线中可见，岩性在这两个波段范围内差异明显增大。所以，在岩性判读中应注意收集和利用 TM_5 和 TM_7 图像。

基于岩性判读的复杂性，在判读中要结合当地具体地理环境条件，进行具体分析，寻找出区分岩性的主要标志。例如，在华北地区凝灰岩和灰岩在图像上色调很相近，但灰岩分布区植被不发育，而凝灰岩分布区植被较繁茂，因而利用夏季卫星图像上植被特征，可将它们区分开。这样，在以主要标志判读的基础上，结合多种要素和标志相互补充和印证，可使岩性判读效果更好，质量更高。

有时，有些岩性在图像上的差异（如色调、图形等）不十分明显，或较为模糊，可采用对比分析法判读，即在与图像比例尺相同或相近的地质图上，先确定 2—3 种区域内主要的典型岩性（或是岩层标志层），并找到图像上对应的位置和分布。这样，从对比这 2—3 种岩性在色调、图形，以及在地形、植被、水文、土壤等方面的微小差异入手，总结出判读标志，并以此向更大范围推广。

以下简要介绍三大岩类的判读：

（一）沉积岩的判读

沉积岩若以浅色矿物为主，岩石风化面颜色又较浅的，反射率偏高，色调较浅；以暗色和杂色矿物成份为主，三价铁胶结物较多，岩石风化面颜色较深的，反射率偏低，色调偏深。如图 6-13 所示。从图中看出，几种沉积岩

的曲线形态比较相似，在 TM_1 ， TM_2 ，及 TM_4 波长范围曲线有重叠。因此，在这些波段的卫星图像上，仅依靠色调不容易把它们区别开来。沉积岩在可见光、近红外波段(0.4—2.5 μm)的光谱特性，主要是由铁离子、碳酸根离子、羟基离子及水含量引起的。图 6-14 为几种沉积岩反射光谱曲线。波长小于 1.1 μm 波段，主要是由于铁离子的吸收引起的。岩石中水和羟基含量，在波长 1.4 μm 、1.9 μm 、2.3 μm 处呈现吸收。碳酸根离子、羟基离子及水的含量不同，吸收强弱亦不同，而使反射光谱特性曲线产生明显差异。 TM_5 和 TM_7 的波段范围，正处在这些吸收带范围。因此， TM_5 和 TM_7 图像对于区分沉积岩具有特殊的效果。

沉积岩判读除了利用色调特征以外，图形特征也是判读依据之一。沉积岩一般具有清晰的层理，在卫星图像上多呈条带状、条纹状。由于区域构造、岩层产状和地形切割程度不同，这些图形亦有变化，如呈现弧形、环形或直线形、折线形等。碎屑岩、粘土岩及碳酸盐岩等岩性的判读如下：

1. 碎屑岩。卫星图像上碎屑岩以清晰的层理为其判读的重要标志。其中，石英砂岩常呈浅色调，图形一般呈条带状，常构成陡峭的山岭。砂岩按其成份以及结构构造和物理性质可分为多种岩性类型，它们在卫星图像上色调和图形特征变化较大，如砂岩色调一般为灰白色调，而含铁质砂岩则呈深色调。砂岩通常与砾岩、页岩互层，以条纹或条带状图形为主，由于抗风化能力的不同，常形成垅岗地形。倾斜岩层构成单面山或猪背岭。砂岩区水系多为平行羽状、树枝状或格状等水系。

页岩多与砂岩、泥岩互层，黄色和灰色页岩呈浅色调，碳质页岩、红色页岩呈深色调。本类岩石易风化剥蚀，常成负地形。因透水性较差，地表径流发育，常呈密集树枝状水系。

2. 粘土岩类。粘土岩和粉砂岩具有相似的图像特征，在实际判读时，往往作为一类判读。卫星图像上粘土岩的基岩裸露地，一般呈现细条纹或条纹夹条带图形。粘土岩在图像上可呈现出一些特殊的纹形，如西南地区的一些粘土岩，图像上呈现蜂窝状纹形。华东和华南地区的某些粘土岩则构成姜状的纹形。可见，纹形特征是识别粘土岩和粉砂岩的重要判读标志。

粉砂岩层理较不明显，表面光滑，在图像上呈细线或密线束纹状，河网较发育，多为树枝状水系。在卫星图像上一般呈暗灰色长条形斑状。因其湿度和有机质含量不同，色调亦有变化。

泥岩类： 一洪水庄组（灰色）页岩； 一长龙山组（紫红色）页岩；
一下马岭组（杂色）页岩；

碳酸盐岩类： 一景儿峪组（灰白色）泥灰岩； 一寒武纪（深灰色）灰岩； 一铁岭组（灰黑色）白云岩； 一雾迷山组（灰色）灰岩； 一高于庄组（黑灰色）白云岩；

砂岩类： 一常州村组（浅黄白色）石英岩； 一常州村组（褐黄色）石英岩；(11)一长龙山组（灰黑色）砂岩；(12)一串岭沟组（灰黑色）粉砂岩

3. 碳酸盐岩。碳酸盐岩具有不同程度的可溶性，在不同气候条件下，色调、图形特征的差异较大。

南方湿热地带，厚层质纯的灰岩，发育典型喀斯特地形，其次是白云质

灰岩、白云岩。而硅质灰岩、泥灰岩喀斯特地形发育较差。它们的分布一般呈条带状，尤其在背斜核部或其倾伏端、断裂地区更显著。图像上呈区域性密集棋盘状或菱形状的“花生壳”状纹形。裸露的碳酸盐岩一般呈现浅灰和灰色调。若风化面为浅黑色的白云岩类岩石，呈现深灰色调。

北方干旱温暖地区，喀斯特地形不发育，图形呈块状，水系稀疏，色调浅而均匀。随着岩性坚硬程度、厚度及产状的不同，地貌形态差异较大。一般硅质灰岩常形成尖棱状山脊，砂质灰岩、泥质灰岩、薄层灰岩多成浑圆状陡坎和低丘地形。

(二) 岩浆岩的判读

酸性、中性、基性和超基性岩的反射光谱特性有明显的变化规律：即从酸性岩到超基性岩，随着 SiO_2 含量减少，铁镁质矿物含量逐渐增高，反射率逐渐降低，色调随之变深。图 6-15 为华北某地几种侵入岩的反射光谱曲线，图中明显反映出这种规律性。即使是相似的岩性，有时由于成份差异，表面颜色不同，反射率仍有差异。表 6-1 是西北北山地区三种花岗岩反射率的地面实测值。其中灰白色花岗岩反射率最高，色调最浅；其次是淡红色花岗岩；而砖红色花岗岩反射率较低，色调较深。

岩浆岩多呈团块状、宽缓条带状、脉状产出。卫星图像上可依据色调、形态及微地貌的差异进行判读。进一步判读可圈画出侵入岩、喷出岩及现代火山岩。一般侵入岩比喷出岩容易识别，其中大、中型酸性侵入岩尤为明显可辨。

1. 侵入岩的判读。侵入岩在卫星图像上多呈圆形或椭圆形，其整体轮廓一般容易与围岩区别开来。

表 6-1 西北北山地区不同颜色花岗岩反射率地面实测值

反射率 地质体 \ 波长 (μm)	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
灰白色花岗岩	0.42	0.50	0.48	0.54	0.58	0.60	0.61
淡红色花岗岩	0.25	0.24	0.40	0.45	0.47	0.50	0.56
砖红色花岗岩	0.12	0.18	0.17	0.22	0.27	0.25	0.29

(引自《遥感图像地质解译教程》)

侵入岩在卫星图像上色调较均一。一般情况下，酸性岩和碱性岩色调为浅灰至灰白色调。有时酸性岩体上植被丛生，色调受到植被干扰，呈深色调。而基性岩和超基性岩一般为深灰至浅黑色调。

在卫星图像上，裸露的侵入岩常表现出与围岩在色调、地形、水系等方面的差异。在半覆盖和覆盖地区，色调就不能作为主要标志，而是以地形、水系、植被和人文标志等反映出的图形特征来判读，酸性岩和碱性岩一般为正地形，基性岩和超基性岩一般为负地形。酸性、中性岩水系多为树枝状。基性、超基性岩水系显示出环状、放射状、局部为树枝状等来区分和判读。

2. 喷出岩的判读。喷出岩分为火山碎屑岩和火山熔岩两种。

火山碎屑岩分布于火山锥附近，表面较光滑，容易受到雨水冲刷，形成稠密的冲沟。火山碎屑岩厚度变化较大，稳定性差，在图像上呈现出宽、窄

不一的条带状或斑块状纹形。有的构成山地和陡峭的山脊，有的构成小丘岗。色调变化大，从浅灰、暗灰到深灰。此外，常伴随火山熔岩或残留的火山形态。

新喷发的火山熔岩，特别是第四纪以来的火山熔岩，一般有完好的火山地形。火山熔岩单独或成片地分布在火山穹窿、断裂带上。地形多为锥状丘陵。图像上呈锥状、放射状、环状和平台状等图形。老的火山熔岩，表面风化严重，火山形态已有较大的变化，原火山机构的外形多数已不反映在现代地形上。可根据岩性的色调、水系和微地貌差异等标志进行判读。如雷州半岛南端玄武岩在卫星图像上呈深色调的圆形、块状等图形，还可以看到火山熔岩被破坏风化后形成的台地、陡坎，或定向排列的小丘和岗地。

（三）变质岩的判读

在三大岩类中，变质岩在图像上的色调和图形都较复杂。一般情况下，正变质岩的光谱特性及其色调特征与岩浆岩相似；副变质岩的光谱特性及其色调特征与沉积岩和部分岩浆岩相似。但不同的原岩经受不同的变质作用后，生成种类繁多的变质矿物，岩石结构构造复杂，直接影响了变质岩的光谱特性和色调特征。变质岩的反射光谱特性主要是由矿物成分决定的。由浅色矿物组成的岩石（如石英岩、大理岩、混合花岗岩），它们的风化面颜色一般较浅，反射率偏高，图像上色调较浅；暗色矿物含量较高的岩石（如黑云母片麻岩、角闪岩等），它们表面风化颜色偏深或呈黑色，图像色调呈深灰至黑色。

变质岩在可见光、近红外波段（ $0.4—2.5\mu\text{m}$ ）的光谱特性主要与铁、铝、铜等金属离子和羟基、碳酸根离子及含水量密切相关，图 6-16 表示几种变质岩的反射光谱曲线。从图中看出，不同曲线在蓝光波段有明显差异，这是由于岩石中所含的铁、锰离子引起的，并在 $1.1\mu\text{m}$ 波长之前出现明显的吸收带。各种变质岩均在 $2.2—2.45\mu\text{m}$ 附近分别出现羟基离子的强吸收带。由于各种岩石羟基离子和碳酸根离子的含量不同，故表现的吸收强弱不同，反映出各种岩性反射光谱曲线的明显差异。因此，采用 TM_7 图像，通过色调差异亦可能把变质岩类型区别开来，但色调受到各种因素干扰，因此往往结合图形特征进行综合判读。

变质岩的图形，由于原岩不同亦有明显差异。正变质岩在卫星图像上具备岩浆岩和变质作用产物综合纹形特征，其内部由于片理、片麻理的发育或混合岩化作用，在图形背景上叠加一些断续细纹或肠状细纹图形特征，总体上形成具有模糊的片麻理的块状纹形特征。

副变质岩在卫星图像上具备沉积岩与变质作用产物的双重纹形特征，即副变质岩在总体轮廓上保留了沉积岩的条纹、条带图形特征。由于变质作用，这些条纹、条带显示出高度塑性流动的回曲状、飘带状，在图像上具有模糊的条带状纹形。混合岩则具有杂乱的团块状纹形，并可综合其它特征及实际资料综合进行判读。

二、构造判读

应用卫星图像进行地质构造判读，主要是从宏观上判读地质构造类型及其展布以及各构造之间的相互关系，弥补地面地质调查和航空像片地质判读的不足和局限性。

（一）单斜构造的判读

卫星图像上具有一定规模的水平产状岩层一般较为少见，倾斜岩层是最常见的一种岩层产状。由于岩层产状的变化，图像上构成了各种复杂的图形。应用卫星图像一般可以判读出岩层的走向；在个别情况下，如当岩层较厚，走向稳定，倾角中等（ 35° — 45° ）时，光照条件又较好，可能显示出岩层三角面（V字形），或单面山的形态，依单面山和岩层三角面判读岩层倾向。单面山可作为判读岩层产状的主要依据。

单斜构造是大面积倾斜岩层，在一定范围内产状稳定所形成的构造类型。在卫星图像上常形成彼此平行、疏密相间、色调深浅不一的条带，这些条带随着岩层走向延伸，条带可呈宽而疏的缓产状，也可呈窄而密的陡产状。坚硬的单斜岩层在产状和缓的情况下，地貌上常形成大面积的单面山；产状陡时，形成并排的猪背岭。或平行的直立岩层，呈栅状纹形展布。

单斜构造常为大型褶皱构造的翼部，对其它地质构造的判读有重要意义。图 6-17 是柯坪单斜构造判读图。

（二）褶皱构造的判读

褶皱构造在卫星图像上表现为色调或色彩不同的条带且呈对称平行排列，其整体图像常呈闭合的图形。由于褶皱的类型不同，有圆形、椭圆形及不规则环带状等多种形态。褶皱由不同岩性岩层构成时，各岩层有不同颜色和不同的抗风化能力，从而在图像上形成不同的色调和纹形，或者形成带状的岩层以褶皱轴为中心形成单面山地形的对称分布等。这些，都可作为判读褶皱构造的重要标志。

按褶皱构造图形特点不同，可把褶皱分为紧密型褶皱、宽展型褶皱和平缓型褶皱，如图 6-18 所示：

1. 紧密型褶皱（复式褶皱）。这种褶皱一般形态为有规律重复出现的长条形图形，转折端较窄，峰谷紧密相邻，向斜背斜交替出现。地貌上表现为一系列大致平行的山脉，既有正地形（背斜山，向斜谷），又有逆地形（向斜山、背斜谷）。

我国四川省城口幅卫星图像上，大巴山地区为典型的紧密型褶皱，如图 6-18（a）所示。

2. 宽展型褶皱（梳状褶皱、箱状褶皱）。这种褶皱多数是条带状与环带形交替出现。梳状褶皱图形多为挤压较紧的条带形背斜与宽广而平坦的椭圆形向斜交替，如图 6-18（b）所示。如图 6-19 是四川省万县地区宽展型褶皱判读草图。箱状褶皱图形多为挤压较紧的条带形向斜与顶部宽平的背斜交替，例如贵州省贵阳幅的箱状褶皱。宽展型褶皱的地貌表现为一组大致平行的短线状褶皱山脉，大多数情况下是背斜成山、向斜成谷的正地形，水系表现为伸长的格状水系。

3. 平缓型褶皱（短轴褶皱、穹窿、鼻状构造）。这种褶皱一般表现为零散分布的多个环带状图形，大多数彼此隔开，互不相连，如图 6-18（c）所示。短轴褶皱的轮廓表现为椭圆形或环带状。短轴背斜的地貌常表现为长条状高地。由短轴背斜和短轴向斜交替出现组成的褶皱，地貌上往往表现为“之”字形山脊，卫星图像上反映较明显。水系为环状、放射状或向心状水系。湖南冷水江幅卫星图像上，平缓型褶皱的纹形图像表现的较清楚。

（三）断裂构造的判读

断裂构造是一种线形构造，线形构造具有平直或平缓弯曲状的形态特征。这种形态特征一般是通过色调、地貌、水系及植被等呈线状分布或出现线状异常现象而被显示出来。

断裂构造判读是根据图像的色调、形态等标志以及与断裂关系密切的现象进行的。

色调标志 断裂构造一般均伴随有线状、带状色调异常特征，更多地表现为不同色调的界面差异。色调界面是区分断裂的重要判读标志。如陕西省西安幅，渭河北侧可以清楚地看到两种色调形成的界面而显示出隐伏断裂。

形态标志 断裂构造在卫星图像上形态也表现为线状或带状。卫星图像上能直观地观察到地层、侵入体、岩脉、褶皱及老的断裂和不整合面等各种地质体被切断、错开的现象。在博斯腾湖卫星图像上，南部为东西向分布的库鲁塔格山脉。构造上是地台区的一个大的背斜隆起带，主要构造线为近东西向、北东向和北西向，其中库鲁塔格山中部和南部的近东西向构造在图像上表现得相当清晰，它们从东向西贯穿整个图幅。尤其是南部的一条近东西向断裂，清楚地显示出断裂两侧原为一大山体，由于断裂产生的相对水平位移，分离成二个山体，如图 6-20 所示：

巴楚幅卫星图像中单斜构造的南端可清楚看出断裂西侧向南移动，东侧向北移动，致使断裂东西两侧发生了平移。

沂沐断裂是郯庐大断裂带在山东境内的一段，其本身由数条断裂组成，如图 6-21 所示。断裂带形成中间为地垒，两侧为地堑的构造形态。该断裂带被一系列北西向断裂所切，在卫星图像上清晰可见。

色调和形态是判读断裂的重要标志。此外，地貌、水文及植被等特征，与断裂构造往往存在一些因果关系，所以也是判读的重要依据。

卫星图像上河谷、峡谷、冲沟、陡坡、陡崖以及河、湖岸线等，凡呈直线延伸或平滑弧线状延展构成负地形的，往往是断层构造。例如，北京幅卫星图像中的紫荆关-大海坨断裂，如图 6-22 所示。由图南端约东经 115° 处开始沿北北东方向延伸，穿过怀来盆地的官厅水库，全长 100 多千米，表现为清晰的直线状负地形，色调呈灰白色。而且东侧的山地色调比西侧深，可见，呈线状的色调突变的断裂标志。进一步观察在官厅水库所在的怀来盆地北侧，山地和平原呈明显的折线，界线清晰，断裂标志明显。而南侧山地与平原交界线，色调变化过渡自然，无断裂存在的迹象。实地考察和地面资料即证明了以上判断。

断裂对水系有明显的控制作用，水系是揭示断裂的重要标志，如图 6-23 所示格状水系和角状水系，常是受断裂控制的水系，河流呈直角状或锐角状的急转弯，水系中的改流点、分流点、会流点等呈直线状展布，断层两侧的水系表现出的切割密度、切割程度等的明显差异，以及倒钩河、对口河、深而直的宽谷等，都可作为判读断裂的标志。

断裂带上的土壤异常有时能反映到卫星图像上，这是由于矿化作用，或地表水渗透而改变了土壤成份，使它与周围土壤具有不同色调所致。由于断裂带一般会造成地下水的异常变化，同时影响植被的生长。图像上常呈现线状分布的色调异常。规模较大的断裂两侧的景观特征明显不同，如断裂两侧

地形、水系、构造线方向、构造发育程度、土壤成分、植被种类和密度等都可能会有较大差异等。这些标志和特征都可作为判读断裂的标志。

最后应对图像上判读出的断裂构造，要经过校核和实地检验，以证实断裂构造实际存在和分布，评价判读精度和效果，总结判读经验。

第五节 植被和土壤判读

利用卫星图像进行土壤判读，实质上是对土壤成土因素的判读和按照土壤学的规律进行逻辑推理的过程，有人称之为按地学规律进行相关分析的过程，是一项多学科的综合判读。植被判读虽然也要利用植被与自然环境的关系进行分析，但主要是根据植被的光谱特征及其生长发育规律，以及利用卫星图像的多波段与多时相的特点进行分析判读。

一、植被判读

卫星图像上植被不是以个体的形态表现的，而是群体的分布范围。由于植被类型、疏密程度、生长状况等不同，在图像上往往形成色调差异。因此，在判读时主要可根据植物的光谱特性和影响植物光谱的各种因素作综合判读。

（一）植物的光谱特性

图 6-24 表示绿色植物的反射光谱曲线。在可见光波段植物中各种色素是影响光谱效应的主要因素。在近红外波段可分成两大部分，在 0.76—1.3 μm 波段内，植物叶子很少吸收辐射能量，植物叶子的组织结构起着决定因素，而在 1.4 μm 、1.9 μm 和 2.73 μm 处为水的吸收带，在此波段内植物叶片水分含量是主要因素。

1. 植物所含色素的种类是很多的，一般以叶绿素为主，它使植物叶片呈现绿色。在 0.45 μm 和 0.65 μm 处有两个吸收带，而在 0.54 μm 处有一个小的反射峰。除叶绿素外，叶片中还有叶青素、叶黄素和花青苷等。在植物的生长期以叶绿素为主，其它色素少，因此表现为绿色。秋季植物进入衰老期叶绿素逐渐消失，当叶红素和叶黄素为主时，叶子呈现黄色。以花青苷红颜色的色素为主时，叶片呈现鲜红色。各种植物万紫千红，五彩缤纷的花朵是由不同的花青素形成的。总之，植物在可见光波段的光谱曲线特点是由植物中的各种色素决定的。

2. 植物叶片对近红外 0.76—1.3 μm 波段吸收很少，总量不超过 5%，而反射率和透射率可高达 45—50%。反射率和透射率的大小主要受叶片的组织结构控制，植物叶片组织结构是各不相同的，故它们反射和透射的强弱也有较大差异。

阔叶树的叶片中有海绵薄壁组织，能反射红外光，并使部分红外光透过表皮和栅状组织；针叶树的叶片中没有海绵组织，因此对红外光反射较差。禾本科草本植物的叶片组织比较均一，没有栅状组织和海绵组织的区别，而细胞壁多角质化和含有硅质等原因，透光性较阔叶树差。另外叶片的形状、排列、密度、枝叶的比例等，对近红外光的第二反射，透射也有很大影响，使植物的反射总量，因品种不同而异。阔叶树反射最强，草本植物次之，针叶树最弱。当植物老化或受到伤害时，反射率则明显降低。

3. 植物的含水量影响 1.3—2.73 μm 波段的反射率。含水量大时，1.3 μm 、1.9 μm 和 2.73 μm 三个主要吸收带反射率明显降低。如植物失去水分，三个吸收带表现出反射率显著增高。图 6-25 表示水分含量对玉米叶子反射率的影响。

从植物反射光谱曲线的特点可以看出：所有绿色植物在可见光波段以吸收为主；在近红外波段以反射为主；并且在 $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.9\mu\text{m}$ 、 $2.73\mu\text{m}$ 有三处明显的水分吸收带。图 6-26 是 700 多种植物的光谱曲线，从图中可以看出，绿色植物都具有这种光谱特征。各种植物因本身特点，其反射率在不同波段又不相同，它们在可见光波段差别较小，而在近红外波段它们之间差别较大。

（二）影响植被光谱特征的因素

1. 植物的疏密程度。当植物叶子密度不大时，图像上可反映出地面的信息，因此植物的枝叶对地面覆盖程度不同，地面背景在植物色调中占的比重也不相同。一般认为叶面指数（指在单位面积的地面上，植物群丛所有叶子的面积的累加总面积与覆盖地面面积之比）大于 5 时才可能消除地面背景的影响。一般植物的叶面指数都在 4 左右（叶面指数又和植物的高低有关）。图 6-27 为棉花叶片不同层次的光谱曲线。可看出叶子疏密对光谱特征的影响。

2. 物候期的影响。植物在不同生长阶段叶片的组织结构不同，叶片的颜色不同，这些都可引起图像色调的变化。叶片随着叶龄的增长，植物的栅状细胞由生长到死亡，在近红外波段的反射也由强到弱。因此，同一植物不同季节的光谱特性是有变化的。不同的乔木、灌木、草木植物的光谱特性变化也是不一样的。夏季差异较小，春季和秋季差异明显。因而，不同时期卫星图像上的色调有明显的差别。图 6-28 为针叶树与阔叶树光谱曲线的季节差异。

3. 下垫面的影响。植物下垫面的土壤性质和色调对卫星图像上植物的色调有一定的影响。因为在一般情况下叶面指数都小于 5，不能将太阳光全部吸收和反射，总有一部分光会照射到地面。地面情况不同，对光的吸收，反射亦不同，直接影响植物图像的色调。

4. 病虫害的影响。植物受到病虫害和人为伤害时，首先作用于叶片组织，在近红外波段表现出反射强度明显减弱。很多实例证明，当植物遭受病虫和人为伤害的初期，形态和颜色尚未发生变化时，近红外波段反射强度已有明显的改变。

（三）植被判读的特点

1. 植被判读主要根据植物光谱特性进行，而植物光谱特征随时间和环境的不同而变化，所以在判读时一定要充分运用已有植物群落及其物候期的资料，结合现场调查，补充和验证由于条件变化对光谱特性产生的影响。

2. 植物的生长发育与气候密切相关，可根据气候分区和植被区划等资料，先在卫星图像上大致确定各种植被类型和生长情况，然后再通过实地考察来验证。

3. 植物具有物候期的特点，判读时应充分运用卫星图像多时相的优越性，选取各种植物光谱特性相差最大的时间和不同物候期的卫星图像进行对比，这对判读是非常有利的。例如：春末秋初是各种落叶植物叶片变化最大的时期，对判读植被是有利的。运用植物生长季节图像和冬季图像对比，可以清楚地判读落叶林和常绿林。判读各种农作物时应根据各地物候期的特点选取适当的卫星图像。

4. 卫星图像是多波段成像，可以运用多波段的特点对图像进行增强处

理，以突出要判读的植被特点。0.47—0.51 μm 和 0.58—0.62 μm 是人眼辨色敏感区，波长每变化 1 纳米就可以观察出来，因此在彩色合成图像时，应充分利用植物颜色在这个区间的变化，增强判读的效果。

（四）植被的判读

植被判读主要根据其色调变化进行。由于植物品种和环境条件不同，植物的色调在不同波段的卫星图像上是各有特色的，虽然受环境影响会有一些变化，但总的趋势一般较稳定。

1. 植物在 TM_2 、 TM_3 波段的卫星图像上一般是深色调， TM_4 波段图像上浅色调，其中阔叶林比针叶林更浅一些。

2. 在标准假彩色图像上植物一般表现为红色，幼嫩的植物呈粉红色，长势好的为红色，成熟的为鲜红色，受到伤害的植物呈暗红色，干枯的植物为青色。

阔叶树和针叶树相比，前者的颜色显得鲜红，后者则较深些；灌丛的颜色淡一些；水稻呈暗红色。

植被判读中，除图像色调色彩标志的运用外，还要结合植物的地带性和垂直分带特点，植被生长发育特点，以及当地地形、土壤、水文、地质特点进行判读。

二、土壤判读

土壤判读时往往只能获得周围环境和有关成土因素的图像特征。所以，以应用土壤学原理进行逻辑推理判读为主。为提高判读效果，需要进行一些图像增强处理，以突出各种因素的特点和图像间的微小差异，并利用多时相的特点，根据同一地区不同时相的卫星图像，了解不同时期各个因素变化等，这对于成土因素判读，确定土壤类型是非常有利的。

自然土壤形成主要受气候、植被、母质、地形、时间等因素的影响。农业土壤除受自然因素影响以外，主要受人类生产活动的影响。现按土壤形成过程中各因素的作用和判读特点分别介绍如下。

（一）自然土壤

1. 气候条件。根据卫星图像的地理坐标查阅有关地区的气象资料，了解该地区气候特点，供判读时参考。

2. 植被因素。气候、植被、土壤三者是紧密相关的，利用卫星图像判读大的植被类型是可靠的，因而可以利用植被作为土壤类型判读推理的重要标志之一。

土壤与气候、植被因素直接关联，与自然带相一致的土壤称为地带性土壤。例如：热带高温多雨气候，植被是热带雨林和季雨林，相应的地带性土壤为砖红壤；高温多雨干湿季明显的亚热带气候，植被为常绿阔叶林，相应的地带性土壤为红壤；在温带半湿润气候区，植被是草原化草甸，相应的地带性土壤为黑土；温带半干旱气候，植被是草原，相应的地带性土壤为黑钙土。在地方性成土因素（母质、地形、水文等）主导作用下，形成并零星散布于地带性土壤之间的土壤称为非地带性土壤。这一类土壤往往有一种相应的特性植被与之对应，如地下水位高，植被为草甸植物，所形成的土壤为草甸土；常年积水的沼泽植被，所形成的土壤为沼泽土以及经人工耕作熟化形成的水稻土，这些土壤都突出显示出水、草甸植被、沼泽植被和水稻的图像特征。在不同气候区，草甸植被和沼泽植被的品种不完全相同，图像亦有差

异。这些地带性特点在卫星图像上，一般都有所反映，判读时应注意观察和认真地分析判读。

植被类型是区分土壤类型土类一级的主要指标，同时，同类植被中生长情况的优劣，优势植被类型不同等都是区别土壤发育程度的一个主要指标。但是这些特点只有在对卫星图像进行对比分析和综合分析后，才有可能判读出来。

3. 母质因素。成土母质因其本身成分、颜色、表面结构等的不同，形成不同的色调和花纹图案，图像较为直观，易于判读。

由于不同母质抗风化能力不同，形成土壤的属性也有明显的差别，它是仅次于气候、植被因素，在土壤分类上是土属划分的依据之一。例如，发育在砂岩砾岩地区的土壤多属砂性土，色调浅而均匀；发育在页岩、石灰岩地区的土壤多属粘性土，色调较深而又不均匀；发育在花岗岩、花岗闪长岩等地区的土壤，土质比较肥沃，植被生长茂密；而发育在基性岩类地区的土壤，土质贫瘠，不利植被生长。

4. 地形因素。不同的地形对土壤分布的影响是不同的。大的地形变化有广域性的影响，与大的植被类型、气候变化相一致。例如，土壤垂直分布时，在同一地理纬度海拔增高，温度降低，湿度也相应变化，植物类型随之发生变化。图 6-29 是吕梁山北段植被土壤垂直分布图。中域性影响是在中等地形影响下使地带性土壤（亚类）与非地带性土壤（亚类）按确定的方向有规律地依次更替。

图 6-30 是邯郸幅从山地到海滨的地形-土壤断面图，不同地带的土壤在卫星图像上都有不同程度的反映。而小的地形影响在短距离内使土壤中土种一级发生变化，如土层的厚薄、质地的粗细等。

5. 时间因素。可作为判别土壤发育程度的条件之一，在卫星图像上较难判读，一般需要通过地貌演变和植被生长情况分析推论才能确定。

（二）农业土壤

农业土壤与自然土壤判读的原则是一样的，但是农业土壤受人类生产活动的影响，判读的主要依据是农业生产的规律性，即所谓“看土种田”。根据一定类型的土壤种植特定品种作物的规律，按作物的光谱特性和物候期，利用不同时期的多波段图像进行分析对比，判读出作物的品类及其生长情况，从而对土壤进行区分归类。

裸露农业土壤在卫星图像上很少能反映出直接标志。图 6-31 表示粉砂土、沙土和腐泥经空气干燥处理后的干燥土壤的反射光谱曲线。其反射率随波长的增加而增加，在可见光和近红外波段尤其明显。土壤是一种复杂混合物，它由物理和化学性质各不相同的物质组成，这些不同性质的物质，影响着土壤的反射和吸收特性。

通过测试研究得出：土壤在可见光、近红外波段的反射光谱特性，与土壤质地、有机物含量、含水量和氧化铁含量等因素有关。因此，可以通过图像特征的分析判别出土壤质地、有机物含量、含水量和氧化铁含量等状况，这对于确定土壤类型和土壤肥力是十分有用的。

在自然条件下，土壤质地、有机质含量、含水量及氧化铁含量等因素很难截然分开，在实验室可以测定不同类型土壤在不同条件下的光谱特征，并

可单独测定某一个因素对光谱特征的影响。而在自然条件下测定的是各种因素的综合光谱特征。因而要根据各因素在不同自然环境、不同波段、不同时期的光谱特征进行对比分析，才能判定某一因素的影响情况。如：

1. 土壤质地。土壤质地是指土壤中粘颗粒、粉砂颗粒和砂颗粒所占的相对比例。图 6-31 中的粉砂土、砂土和腐泥三种土壤主要是由土壤质地的不同决定的。因此，反射光谱曲线主要受两个因素影响，一是土壤质地影响土壤的蓄水能力，二是土壤的颗粒大小的影响。粉砂土在可见光、近红外波段光谱反射率最高，这是由于粉砂土的粒度介于砂土和腐泥之间，表面粗糙度低于砂土，而蓄水能力又小于腐泥的缘故；腐泥光谱反射率最低，土壤颜色较深，土壤颗粒细，含水量高的缘故。而砂土光谱反射率介于两者之间。

2. 有机质含量。有机质含量是明显影响土壤反射光谱特性的重要因素，在大多数温带土壤中有机质含量的范围约在 0.5% 至 5% 之间。有机质含量 5% 的土壤常呈现深褐色或黑色，有机质含量最低的土壤通常呈现浅褐色或灰色。土壤表面颜色加深，土壤在可见光波段的光谱反射率亦减少。从图 6-32 可见，在可见光波段，随着土壤有机质含量增加，反射率呈非线性下降。在研究土壤的光谱反射率与有机质含量之间关系时，必须结合土壤所处的气候区和土壤本身的排水条件等作具体分析。土壤有机质含量对卫星图像上的色调有直接影响。

3. 土壤含水量。图 6-33 表示三种不同含水量的砂质土壤反射光谱曲线，曲线形态有明显地不同。其中上面一条经过干燥处理的砂质土壤反射光谱曲线，含水量仅 0—4%，因为砂的颗粒较粗，能使砂质土壤失去大部分的水分。因此，在水的各个吸收带，反射率未出现明显下降（即在反射光谱曲线上不出现水的吸收带）。下面二条曲线是未经干燥，含水量分别为 5—12% 和 22—32%，反射率在 1.4 μm 、1.9 μm 和 2.7 μm 附近出现明显的水吸收带。从图 6-34 中可看出粉砂壤土各波段的反射率均随着含水量的增加而减少，即使经过干燥后的粉砂土也一样；在水的吸收带内反射率也是随含水量的增加而减小。

4. 氧化铁含量。土壤中的氧化铁对土壤反射光谱特性也有明显影响。含有氧化铁、二氧化锰的土壤一般呈红色。土壤氧化铁含量增加使 0.5—0.64 μm 波段的反射率呈线性下降，如图 6-35 所示，土壤中氧化铁含量增加 5%，反射率下降约 20%；氧化铁含量增加 10%，土壤反射率下降 40% 左右，而近红外波段的光谱反射率变化较小。

图 6-36 表明，除去土壤中的氧化铁后，可以使 0.5—1.1 μm 波段内的反射率明显上升，而大于 1.1 μm 区域的反射率无明显影响。同样，除去土壤中的有机质，在该波段范围内反射率会明显上升。

5. 土壤盐分。干旱地区的土壤盐分含量较高时，地面上形成一层白色的盐霜，呈浅色调。干旱季节易溶性盐分较多地上升到土壤表面，土壤表面形成盐结皮，在卫星图像上呈现不规则的白斑图型；雨季时，随着雨水的淋滤和溶解，在图像上多呈灰暗花斑的图案。

6. 矿物成分。土壤中各种矿物成分对光谱反射率的影响也很大，其中石英反射最强，反射率可达 93%，黑云母只有 7%，白云母约为 60%，而微斜长石、石榴石、绿帘石，从蓝光到红光的反射率逐渐增大，如表 6-2 所示。

表 6—2 颗粒为 0.01mm 的不同矿物反射率

波 段 矿物 名称	蓝	绿	红	可见光
	(0.43-0.49 μ m) %	(0.51-0.61 μ m) %	(0.61-0.67 μ m) %	(0.43-0.67 μ m) %
白云母	59.3	60.3	60.2	60.0
石英	92.9	93.0	93.5	93.1
黑云母	7.4	7.4	7.4	7.4
微斜长石	61.4	71.7	80.7	71.3
石榴石	11.0	18.0	30.3	19.7
绿帘石	18.6	34.7	36.5	30.3

上述六种因素反映到某类土壤上，综合地表现为一种光谱曲线。由于各种土壤所处自然环境不同，哪些因素起主导作用，哪些为次要因素，要具体情况具体分析。例如：洪积扇区，顶部色调浅，这是因为地势高，质地粗，含水量低，有机质含量少等因素形成的；洪积扇的前缘色调深，原因是土壤质地细，含水量高造成的；有的因排水不良形成沼泽化；或是黑色的四氧化三铁和有机质加深了土壤的色调等。环境条件是变化的，判读时必须注意这种变化，才能全面地分析，提高判读的准确性。

TM₅、TM₆ 等近红外和热红外波段，为判读土壤水分、腐植质含量和土壤质地等提供了有利条件。判读的一般规律是：

1. 若某区土壤表面的色调，在可见光和热红外波段图像上的色调都比较深，一般说明这个区域土壤的含水量较高。
2. 若某区域的土壤在可见光和热红外波段图像上的色调都比较浅，说明该区域的土壤本身就是浅色调，而且比较干燥。
3. 若某区域的土壤在可见光波段图像上呈较深色调，而热红外波段图像上呈浅色调，则说明该地区土壤比较干燥，而且可能具有较高的有机质含量。

对于卫星图像的土壤判读，兹举以下两例说明。

例一：根据北京幅卫星图像并结合土壤分类及其土壤图等资料进行判读如下：平原地区除局部的在大型河道中形成的呈条带状伸展浅色调的沙土，或色调稍深的沼泽土外，其余都是适于多种作物的耕地，主要土壤类型为在冲积土上发育的褐土化潮土或潮褐土。在假彩色合成卫星图像上，小麦分布广且生长良好，山前平原部分显示出大面积的鲜红色，北京城东南方红色逐渐减少，呈蓝灰色，属于盐化潮土区；北京城的西北燕山山脉发育的是棕壤，低处发育的是淋溶褐土，怀来盆地、低地和低阶地的土壤为潮土类型，盆地周围的黄土台地（高阶地）发育的是褐土。

例二：黑龙江省安达幅的卫星图像中，可以看到很多形同洼地、湖泊，当地人称之为“泡子”的图像，根据该地区的环境特点（不可能存在沙丘），参考有关资料，可判断这些“泡子”多是“盐碱泡子”，白色图像是“盐碱泡子”周围的盐碱土，土壤表层的盐碱和植被不发育造成的。

第六节 城镇判读

城镇既是人类最为集中的地域，又是一定地域的政治、经济、文化活动的中心。因此，城镇是一种多功能、结构复杂的生态系统。卫星图像能迅速、宏观、动态地提供城镇各种变化的信息，为城镇的规划和建设服务。

基于卫星图像的特点，目前卫星图像城镇判读偏重于对大、中城市的判读，而对一些小的城镇（如县级以下的城镇，或较大的自然村）一般只作定位判读。判读中以圈定城市轮廓，确定城市发展规模，以及利用不同时相图像进行城市发展和环境动态监测和分析工作为主。随着航天遥感发展，特别是图像分辨率的提高和处理手段的完善，卫星图像城镇判读的领域和范围在不断扩大，应用效果不断地提高。

一、建筑物的光谱特性

建筑物屋顶材料主要包括有：灰瓦、红瓦、水泥瓦、沥青瓦及琉璃瓦等，其反射光谱曲线，如图 6-37 所示。从图中看出，水泥预制板在可见光区域的反射率高于其他材料，在标准假彩色合成图像上呈灰白色，且建筑物越新，色调越浅。红色的机制砖，光谱曲线在红光区、近红外波段反射率较高，根据彩色合成的成色规律，红色光被记录为绿色，近红外被记录为红色，故红瓦呈绿色与红色混合叠加的橙黄色。沥青瓦和灰瓦在各波长反射率偏低，故其色调较深。

二、道路的光谱特性

按道路的物质材料可分为水泥路、沥青路、土路等，如图 6-38 所示它们的特征曲线。从图可见，它们曲线形态相似，但由于结构材料的不同及表面颜色的差异，反射光谱曲线有明显差异。水泥路呈灰白色，反射率最高；其次是土路呈灰色；反射率最低的是沥青路，色调较深。

三、城镇判读

城镇的光谱特性是建筑物和建筑物之间空地的综合反映，在 TM(或 MSS) 图像上，城镇一般呈现较深的色调，而在标准假彩色合成图像上，城镇常呈现浅蓝色或蓝灰色，城镇的中心部分色调相对深一些。图像上城镇内部结构已大大简化。采用高分辨率的 TM 和 SPOT 卫星 HRV 图像，或经过光学增强处理，或电子计算机处理，可突出城镇内部的细节，进行更深入的判读。

如图 6-39 和图 6-40 是北京地区计算机处理的 MSS 图像及其判读图。北京市城区在标准假彩色图像上呈浅蓝色调，显示出特殊的内部结构和排列格式。二环路环绕旧城区的轮廓，清晰可辨。开挖地下铁道使有的地段在图像上呈现出较亮的色调。水体呈现出深色调，在图像上可识别出由护城河围绕的故宫、天安门广场、中南海、北海和什刹海等。北京西郊紫竹院公园的湖泊，以及莲花池、昆明湖等水体也清晰可见。

对图像进一步判读，还可以分辨出自北京向外延伸的京广、京津、京包等铁路干线，以及北京北郊潮白河西侧的首都机场和其它机场。

利用高分辨率的 TM 合成标准假彩色图像，可清楚看到人民大会堂、革命

历史博物馆、毛主席纪念堂，以及中山公园、劳动人民文化宫、故宫等建筑物，长安街、北海、天坛、陶然亭、紫竹院等公园及动物园的绿茵均呈现红褐色。因此，应用高分辨率 TM 或 HRV 卫星图像可分辨地物细节，为城镇总体规划、管理及生态环境监测，开辟了广阔的前景。

第七节 土地利用现状判读

土地是人类赖以生存的重要自然资源，利用卫星图像对土地资源、土地利用现状等进行判读，可及时地为各级政府和土地管理部门的规划和管理，提供准确可靠的基础信息。

土地利用现状判读是土地资源调查的重要组成部分。判读时，一般先应结合判读地区的具体地理环境特点，以及根据判读任务要求和土地利用现状分类的规范和标准，制定出本地区土地利用分类系统，然后依此分类，并结合对卫星图像判读，分别总结出各种土地利用类型的判读标志（图像特征）；在逐步推广到整个地区判读时，要结合具体的地形、水文、地质、土壤、植被等情况，确定各地类的分布和界线，最后经检验后转绘成图。例如，以杭州市郊遥感综合实验区为例，在进行土地利用现状判读时，采用了 1984 年 8 月 4 日和 1985 年 2 月 18 日两个时相的 TM 图像，选用 TM4、3、5 波段（分别赋予红、绿、蓝）进行彩色合成，并扩印成 1:5 万彩色图进行判读和调查。表 6-3 列出了该地区土地利用类型及其各地类的判读标志（图像特征）。判读工

表 6-3 TM3、4、5 假彩色合成图像上
土地利用类型的图像特征

土 地	类 型	地面景观	图像特征
1.耕地	水 田	晚稻插秧后灌水护苗,田中布满一水层,稀疏秧苗	连片稻区,暗绿色背景被白色道路分割成长方形图型,其上零星散布红色斑点,稻麻轮作区,水田呈深绿色与红色麻地相间
	麻 地	叶冠茂盛,封行。	鲜红色调,矩状图型与水田相间
	旱 地	地面番薯藤蔓覆盖	红色斑块,分布于低丘,山前坡地
	菜 地	菜地、鱼塘、农舍镶嵌	红、黑、蓝点粒镶嵌图案
2.园地	果 园	桃、梨为主,连片集中	鲜红色斑块,边界清晰
	桑 园	夏叶茂盛,地块不一	鲜红色斑块或条带,分布于低丘、江边
	茶 园	老叶常青,密度不一	鲜红色调,无固定图型、低丘呈红白斑状,谷地呈树叶状。
3.林地		山地多混交林,丘陵多灌丛,荒山稀林	暗红色调,山体立体感强,山脊呈红里带青色调
5.居民点及工矿用地		老建筑物多为砖木、土瓦,新建筑物多为水泥、钢筋平顶	老城镇、农舍呈深蓝色调,新城区呈浅蓝色调,边界模糊的斑块
6.交通用地	铁 路	穿越城区、农田、菜地,景观变化大	蓝灰色(路基)、粉红色(行道树)、蓝紫色(双轨)光滑线状影纹
	公 路	同上	蓝灰色线状影纹
	机 场	有跑道、草坪、房屋等	浅蓝色跑道,紫色草坪
7.水域	河 流	河面宽阔,河湾、沙洲明显,水质清澈	呈亮绿色调,宽飘带状图型,江心洲清晰可见
	池 塘	水库和平原池塘、大蓄水池	呈蓝黑色块状和斑点状,边界清晰
8.未利用土地	荒草地	河口段江边滩地荒草地	紫色斑块状、条带状影像
	裸土地	分布低丘、幼茶园内,土壤为红壤	浅蓝色调,与茶园红色斑块相伴
	裸 岩	山脊基岩裸露	带青色的线状影纹(红色背景)

(引用1991年《遥感信息》第3期TM资料在中国南方土地利用调查中的精度分析)作基本是按上述程序完成的。

例如在一级土地利用类型判读中,先从水域、耕地判读入手,其次是居民地及工矿用地、交通用地、未利用地,其中林地和园地判读准确程度相对较低。在二级类型判读中,要分出耕地中的水田、麻地、菜地、水域中的河流、池塘,未利用土地中的荒草地、裸土地和裸岩等,园地中的茶园、果园和桑园等必须利用不同时相的图像对比分析加以区分。其他二级地类的划分,要借助地形图等非遥感资料或实地调查加以确定。

从成图精度看,航空像片调查方法精度最高,其次是TM图像。如果采用质量好的TM图像,有可能进行二级分类。在目视判读中,除了考虑地物的光谱特性,还要考虑地物所处的位置、形态特征等因素,从而避免误判或由界线不清造成的不利影响,得到较准确的判读结果。

目前,我国应用TM(MSS)卫星图像进行土地利用现状判读及其成图工

作，已形成独具特色的一整套较为成熟的工作方法，并在大范围内推广应用，取得很好的社会效益。利用卫星图像进行土地利用现状的判读，已成为土地资源调查，土地利用现状调查，及土地类型评价等工作的重要组成部分和工作方法。当前，我国一些地区亦应用 TM 的 CCT 磁带数据进行计算机土地利用分类，以辅助土地利用现状调查工作的进行。

第八节 卫星图像判读举例

判读一幅卫星图像，首先应阅读边框注记，以了解图像的成像时间和地理位置。具体判读时应遵循先易后难的原则，先判读标志明显的能直接判读的要素，然后再运用对比分析、逻辑推理等方法判读。判读过程中应尽量利用图像的多波段、多时相的特点。对于重点内容，除了根据卫星图像进行判读以外，还要详细地研究有关资料，进行分析，以提高判读结果的可靠性，现以北京幅 TM 卫星图像（版图四）为例判读如下。

一、边框注记阅读

（一）成像日期。1986 年 4 月 16 日，第 5 号陆地卫星图像。

（二）地理位置。东经 $115^{\circ}30'$ — $117^{\circ}30'$ ；北纬 $39^{\circ}30'$ — $41^{\circ}00'$ 。

（三）图像波段。TM₂、TM₃、TM₄ 三个波段合成。合成时 TM₂ 用蓝色，TM₃ 用绿色，TM₄ 用红色。

（四）太阳高度角为 50° ，方位角为 132° 。

二、图像判读

本幅图像范围包括北京市大部分和河北、天津小部分地区。图像地形特点是西北部为山地，东南部为平原。北京城坐落在图幅的中下部。

（一）水体

图像中能明显判读出来的水体有河流、水库、湖泊和渠道。

1. 河流。河流图像的色调一般为蓝色或蓝黑色，但季节河和干河床，因砂砾裸露呈浅棕色或白色。本幅图像上，从西向东有永定河、北运河、潮白河和蓟运河等 4 条主要河流。

永定河位于北京城西南，从西北方流来，入官厅水库、汇妫水河，出官厅水库东南流，蜿蜒于高山峡谷之中。永定河经过官厅和峡谷段三个水库的拦蓄，水量很小，所以，在枯水季节往往断流，四、五月份的永定河下游图像多为浅棕或白色色调。

北运河在北京城东北，通县城以北称温榆河，发源于北京北部山区。该河上源诸小水流水量不大，出山后流经山前洪积扇上，多成为干沟，在假彩色图像上呈浅棕色。河水在洪积扇溢出带方出露地表，逐渐成为常年有水的水道，图像呈蓝色或蓝黑色调。通县县城以下叫北运河，北运河及其支流是北京城区的主要排水河道，图像呈蓝黑色曲线状。

潮白河上源有潮河和北河两大支流，在密云县城西南汇合后叫潮白河。潮白河在密云水库以上，流经山区，河流蜿蜒曲折，基本镶嵌在峡谷之中。密云水库以下，流经洪积扇上，河道较宽，河床中有沙洲分布，图像色调较浅。洪积扇以下，北来的怀河汇入，图像色调变为蓝黑，有广阔河漫滩和牛轭湖分布。潮白河古道在图幅右下角。蓝黑色粗线状图像，是近期开挖的潮白新河，用以渲泄汛期洪水。

蓟运河位于图幅的最东侧，有沟河和州河二源，发源于冀北山地，上源水流小，在山前洪积扇上为季节河，色调较浅。至平原地区，色调变为深蓝，为常年河，且多曲流。

2. 湖泊和水库。本幅图像上的湖泊分布在北京城区和近郊区，一般为天

然洼地经人工修筑而成，湖泊呈蓝黑色调，面积虽小，但清晰可见，著名的有北海、昆明湖、玉渊潭等。

水库一般呈蓝到蓝黑色调，本图幅有水库数 10 座，其中，大型水库 5 座，从西到东依次为官厅水库、怀柔水库、海子水库、于桥水库。十三陵水库位于北京昌平区十三陵风景区，由于上游补水区面积较小，在干旱季节水量很少，库区呈现一片浅棕色调，图像上不十分清楚。

3. 渠道。渠道为直线或折线状。有水者为蓝或深蓝色，图像较明显，无水者为浅棕色，不易分辨。比较明显的渠道是京密引水渠，京密引水渠从密云水库开始，从东北向西南，沿山前洪积扇，通过怀柔水库、昆明湖，与永定河引水渠汇合后，流入玉渊潭，全长约 109 千米。

（二）地貌

本幅地貌可分为山地和平原两大地貌单元，其特征如下。

平原。本幅平原是华北平原的一部分，主要由永定河、北运河、潮白河和运河冲积而成。平原西北高东南低。据地形图查得，西北部海拔高度近 100 米，东南部在 10 米以下。北京地区平原又可分为洪积扇带、冲积平原、平原洼地等类型：

洪积扇带。洪积扇广泛分布于西北山麓地带，组成物质主要是砂砾石层，地势较高，色调较浅，呈浅棕色，有些已辟为农田，呈现红色。昌平区南口镇两侧的洪积扇最为典型。

冲积平原。由永定河、潮白河等四大水系作用而成，平原上地势平坦，略有起伏，地表总体从西北向东南倾斜，由于地势高低的差别和组成物质的不同，又可分为高位洪积平原和低位洪积平原。前者主要分布在北京平原北部地区，图像最明显的是潮白河两侧的高位平原，由于这里地势稍高，组成物质多为粘土、粉细砂，土壤湿度较小，种植冬小麦的地方影像呈红色，其它为浅棕色调，界线清楚。低位冲积平原，地势较低，地面平坦，主要分布于东南部和潮白河北运河两岸，潮白河两岸的低平原上，古河道尚有遗迹，并有沼泽、湿地分布，影像呈红色，但色调较暗。

平原洼地。主要分布于北京东南郊的大兴、通县一带和图幅右下角的天津地区。洼地排水不畅、易涝，以种植水稻为主，四月中旬水稻正在整地插秧，所以洼地影像呈蓝灰色。

本幅图像的山地呈灰褐色调，左下部为太行山，常称西山；北部的是燕山。西山是一系列由西南向东北伸展的平行山岭，山体连绵完整，呈岭谷相间排列。最高山峰是乐灵山，海拔 2300 米，其它均为 2000 米以下的中山和低山丘陵。燕山是一组近东西向块状起伏绵延的山体，多断层和山间盆地，较大的山间盆地有官厅水库周围的怀来盆地，密云水库占据的燕落盆地等，北部山地最高山峰为海坨山，海拔 2234 米，其它为 2000 米以下的中山、低山、丘陵区。

（三）地质

根据图像的色调和图案，可判读出以下地质特点。

1. 地质构造特点。无论是山地还是平原，主要呈北东向，但在 $N40^{\circ}30'$ 以北部分山地，构造线也有呈东西向排列的。

2. 北京西山褶皱作用明显，由一系列向斜和背斜组成。山脉呈北东-南西走向，山体连绵成脉，岭谷相间分布。岩石以沉积岩为主，一些地方明显具有沉积岩的条带状图案特征。但也有少量的小型花岗岩侵入体分布，其最大

露头位于图像左下部 E116° 附近的房山岩体，呈浑圆状，浅色调，较明显。

3. 北部燕山地区，褶皱不如西山明显，但断裂较为发育，山体脉络不如西山清晰。燕山有大面积花岗岩、片麻岩出露，山体浑圆，坡度较缓。但也有一些沉积岩出露，如南口镇附近的岩层三角面，密云水库北段的条带状图案，都是沉积岩较明显的标志。

4. 主要断层。紫荆关-海坨断裂，位于图幅左下角，从北纬 39° 附近向东北方向延伸，经官厅水库南端，到海坨山西侧，沿线呈负地形，色调较浅。断层穿越怀来盆地时，因沉积物覆盖，影像不明显。

怀来盆地西北侧断裂，山地与平原交界呈折线状，地形变化突然，色调差别明显。

南口断裂，断层线平直，呈北东向，两侧地形和图像色调截然不同。

古北口断裂，位于密云水库北面，呈东西向，图像近直线状。

青古岭断裂，位于密云水库西南，南北向，呈直线状，负地形，浅色调。

三、植被和土壤

卫星图像比例尺小，进行植被和土壤判读难度较大，特别是本幅图像是四月中旬成像，对山区植被、土壤判读更为不利。因此，判读时必须参考文献资料和地形图，运用逻辑推理方法进行综合判读。

1. 植被判读。北京地区受暖温带大陆性季风气候的影响，地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林。山地植被类型的分布，因山地高度和坡向的差异明显，海拔 1900 米以上的山顶，是山顶草甸植被，图像纹理较粗，呈褐色。东灵山、海坨山、百花山和百草畔均有分布。山顶草甸带以下中山区上部，是桦树林带；中山下部，特别是阴坡是桦栎林带，以辽东栎和油松林为主。低山区分布有落叶阔叶灌丛和灌草丛带，以荆条灌丛、山杏灌丛、杂灌丛和灌草丛占优势。

平原地区多为栽培植被，北京城远郊地区的红色图像是冬小麦，浅棕色是玉米地，蓝紫色多为水田。北京城近郊的灰红色细小颗粒状图像为菜地。北京地区的果树以梨、柿、苹果、板栗为主，一般均分布在山麓洪积扇上或丘陵沟谷中。

怀来盆地，地势高寒，农作物反青较晚，四月中旬的卫星图像反映的主要是裸露地面的光谱特性。

2. 土壤判读。

北京地区土壤，由于成土因素不同，具有明显的地域分布规律。

在 1900 米以上的山顶，是山地草甸土。海拔 1000—1900 米的中山区分布着山地棕壤。1000 米以下的低山区，主要是淋溶褐土。500 米以下的丘陵和洪冲积扇上部区主要是普通褐土，冲积扇的中下部则是潮褐土，冲积扇边缘部分则是褐潮土，北京市的东南冲积平原上主要是潮土。

在平原地区还分布有水稻土和沙土。水稻土图像色调蓝灰，与水稻栽培地区相一致，主要分布在北京远郊和天津部分地区，沙土图像色调为浅棕，主要分布在永定河两岸地区。

四、居民地

城镇，以北京城的影像最为明显。色调呈蓝灰色，可以清楚地判读出旧城区的轮廓和紫禁城，三海（什刹海、北海、中南海）和天坛公园等。

各县城和县辖镇，如通县、昌平、千台、黄村、密云、顺义、平谷、怀柔、三河、香河、宝坻、蓟县，以及南口镇、良乡镇等的图像较清楚。

五、交通道路

铁路图像呈蓝灰色调，平原地区的京广线、京山线和京包线均较清楚，在山区因铁路与山地的色调一致，无法分辨。公路是平原地区的主要道路，均可判读出，如京周公路、京石公路、京开公路、首都机场路等图像都比较清楚。

复习思考题

1. 试比较卫星图像与航空像片的异同点，卫星图像目视判读有哪些特点？
2. 试述卫星图像目视判读的步骤和方法特点。
3. 在多光谱扫描各个波段图像上水体的影像有哪些特点？
4. 各种地貌类型在卫星图像上有何主要的特点？
5. 褶皱构造和断裂构造在卫星图像上有何特点？
6. 分析沉积岩、岩浆岩的反射光谱曲线的特点及沉积岩和岩浆岩在卫星图像上各有何特点？
7. 在卫星图像上判读植被应掌握哪些特点？
8. 在卫星图像上判读土壤应掌握哪些特点？
9. 在卫星图像上城镇有什么特点？对于小的城镇应如何判读？

实习 10 典型卫星图像判读

一、目的

认识各种典型地质、地貌在卫星图像上的特征。

二、材料和工具

1. 典型地质、地貌的卫星图像；
2. 典型地质、地貌卫星图像的判读略图；
3. 放大镜、典型地物光谱曲线表（或图）、各种专题地图。

三、实习内容

将典型地质、地貌的卫星图像分为若干组，根据各校条件，判读若干幅，可以一次或多次练习。

（一）典型地貌的判读：山地、平原、风沙地貌、黄土地貌、岩溶地貌、冰川地貌、火山及熔岩地貌等。

（二）典型地质构造的判读：断裂、褶皱

四、实习报告

几种典型地貌和地质构造影像特征的描述。

实习 11 学校所在地卫星图像判读

一、目的

练习对一幅卫星图像判读的一般方法。

二、材料

1. 学习所在地区黑白及假彩色合成卫星图像；
2. 放大镜、各种专题地图；
3. 如有条件，可以准备学校所在地的航空像片和立体镜。

三、实习内容

(一) 室内判读。参考地形图确定各观察点在卫星图像上的位置，详细分析指定的几个典型地区影像特点和地物类型（各观察点及典型地区由教师根据当地实际情况指定）。

(二) 根据判读的情况确定现场观察路线，并按确定的路线到实地观察。

1. 练习在野外使用卫星图像的方法。

定向：用罗盘仪定向后，使卫星图像的经线与罗盘仪磁针方向一致，再利用周围的地物进行核对（卫星图像的经线是指真南北，而罗盘仪的磁针是指磁南北，在这里只是概括地定向）。

定位：在卫星图像上找出学校所处位置，并利用周围地形、地物加以核对。

2. 观察判读典型地物在实地的情况。

3. 分析从卫星图像上判读的典型地物影像与实地地物一致或不一致的原因。

4. 采集必要的典型地物样品。

(三) 试述学校所在地区土地利用类型在卫星图像上的影像特征。

第七章 遥感图像处理及地理信息系统

遥感图像处理是指对遥感探测所获取的图像或资料进行的各种技术处理。处理的目的是使遥感图像或资料更适于应用。它包括对原始图像复原的恢复处理；为使图像更加清晰，目标地物更为突出明显，便于信息提取和识别的图像增强处理；以及进行自动识别和信息提取的分类处理。从处理方法上，主要有光学处理和计算机数字图像处理。

本章主要对遥感图像的光学增强处理、计算机数字图像的增强处理和分类处理的基本原理和方法，以及地理信息系统的基本知识作简要介绍。

第一节 遥感图像的光学增强处理

光学增强处理是指通过光学技术手段，对图像进行的各种处理，如常见的图像光学放大等。它能使图像更加清晰，目标物更突出明显，更适于识别和进行信息提取。随着科学技术及光学技术的发展，光学增强处理的方法不断增多和完善。

一、彩色合成原理

通常人眼对彩色图像的分辨能力要比对黑白图像高得多。为此，若将一般的黑白图像处理成彩色图像，显然可提高原图像的分辨能力，获得更好的判读效果，彩色合成处理就是依照人眼色觉原理发展形成的一种光学增强处理方法。

由第二章的介绍中可知：电磁波中可见光能被人眼感觉，不同波长的光显现出不同颜色（表 2-1）。自然界中的物体，由于物质成分各不相同，对自然光有着不同的选择性吸收和反射能力，而呈现出不同的色彩。

对于人眼来说，单一波长的光对应着单一的一种色彩。如眼睛对于 $0.62\text{—}0.76\ \mu\text{m}$ 的光，感觉为红色；对于 $0.50\text{—}0.56\ \mu\text{m}$ 的光感觉为绿色。然而，眼睛在感觉判别色彩时亦有局限性。若把波长 $0.7\ \mu\text{m}$ 的红光与 $0.54\ \mu\text{m}$ 的绿光按一定比例混合叠加，眼睛的感觉将如同 $0.57\ \mu\text{m}$ 的黄光感觉为黄色。分不出哪一种“单色”的黄光（ $0.57\ \mu\text{m}$ ），哪一种“是红光与绿光混合而成的黄光”。这就说明，对于眼睛色觉来说，光对于色虽然有着单一的一一对应关系（表 2-1），而色对光并不存在单一的对对应关系。因此，一些色彩可以由不同波长的光按一定比例叠加混合而成，亦即可以用少数几种色光合成出众多的色彩来。彩色合成就是依照眼睛的这一色觉现象，通常利用三种基本色光（称为基色）按一定比例混合叠加而成各种色彩，称为三基色合成。所谓基色就是在三种基色光中的任何一种色光（或颜色）都不能由这三种基色中的另外两种色光（或颜色）混合而成。

三基色彩色合成通常采用红、绿、蓝三色。用三基色合成产生其它色彩的方法有两种基本方法，即加色法和减色法。

（一）加色法

加色法适用于色光的叠加混合，采用红、绿、蓝三种色光为基色，按一定比例混合叠加产生其它色彩，方法是（图 7-1（a））：

1. 两种基色光等量混合叠加，产生一种补色光。即

红+绿 黄；红+蓝 品红；蓝+绿 青。

黄、品红、青称为补色（光）。

2. 红、绿、蓝三种基色光等量相加为白光（自然光）。即

红+绿+蓝 白（光）。

当两种色光相加成为消色（白色或黑色）时，称这两种色光为互补色。因此，不难看出黄与蓝；品红与绿；青与红为互补色。

3. 非互补色（光）不等量相加混合，产生不同的中间色（光），如：红（多）+绿（少） 橙；红（少）+绿（多） 黄绿等。

此处是以光的合成进行说明的，与配色中的三原色是有区别的。

（二）减色法

减色法是从自然光（白光）中，减去一种或二种基色光而生成色彩的方法。一般适用于颜料配色、彩色印刷等色彩的产生。

颜料本身的色彩是由于本身选择性地吸收了入射自然光中一定波长的光，反射出未被吸收的色光而呈现出本身的色彩。例如，黄色颜料是由于本身吸收了自然光中的蓝色光，反射出未被吸收的红光和绿光叠加混合的结果；品红颜料是由于吸收了自然光中的绿光，反射出红光和蓝光相加的结果；同样，青颜料是由于吸收了自然光中的红光成分，反射蓝光与绿光的结果。

（图 7-1（b））。即

黄 白—蓝；

品红 白—绿；

青 白—红。

当品红与黄颜料相混合时，生成红色。即

品红+黄=白—（绿+蓝） 红。

亦即自然光（白光）中分别被品红和黄颜料将其中的绿光和蓝光吸收了，只有红光被混合后的颜料反射出来，因而呈现出红颜色。同样，青与品红或黄与青颜料相加混合时，有

青+品红=白—（红+绿） 蓝；

黄+青=白—（蓝+红） 绿。

当品红、青、黄三种颜料相混合时，即白光中的绿、红、蓝都被吸收了，而呈现黑色。即

品红+青+黄=白—（绿+红+蓝） 黑。

实际上合成或复原一种色彩是复杂的，衡量一种色彩不但要求色调特性指标（表示色彩颜色属性），而且要求色彩的明度（表示色彩的明亮程度）和饱和度（表示色彩纯洁程度）特性指标共同确定。即如图 7-2 色彩立体示意模型所示，垂直轴表示色彩明度的变化，自上到下，由白变到黑；水平圆周表示色彩的色调，表示出光谱上的不同色调，从红到紫，在圆周上顺时针渐变；水平圆周的半径大小则表示色彩饱和度，从圆周的圆心，随半径的增大饱和度也增大。以此来描述或表示色彩三种基本特性及其相互关系。

（三）彩色的分解与还原

从上述介绍不难发现，要重现或复原物体或景观的色彩，首先要将物体或景观反射的光线，分别划归到红、绿、蓝三基色的系统中，然后采用三基色的加色法或减色法合成还原出原来的色彩。

彩色分解就是对同一目标（或图像）分别采用不同的滤光系统（通常为红、绿、蓝），获得不同分光（红、绿、蓝）黑白影像的过程。如图 7-3 上半部所示。先获得分光负片，后经接触晒印制成不同分光（红、绿、蓝）正片。显然，不同分光片上影像（黑白）色调的变化是不同的。例如，图 7-3 图中（6）位置上是黄色条带，由于所反射出的黄光（红+绿）在分别通过红、绿、蓝滤光系统时，能通过红和绿滤光系统而分别在胶片的（6）位置上感光，因此，在红、绿分光负片（6）位置处为黑色，红、绿正片位置（6）处则为白色（透明）。在蓝分光片上，由于黄光不能通过蓝滤光系统，故在（6）位置处负片为白色（透明），正片此处为黑色。

彩色还原是彩色分解的逆过程，亦即将同一地区或同一彩色图像的不同

分光图像，分别通过不同的滤光系统（通常采用红、绿、蓝），并使图像的相应影像准确套合，合成产生彩色图像的处理过程，如图 7-3 下半部所示。

在进行彩色还原合成时，要保持分解和还原过程中所采用的滤光系统波段的一一对应关系，此时还原得到的彩色与原物体或景观的色彩一样，称为（真）彩色合成。如果还原合成时破坏了滤光系统的这种对应关系，合成生成的彩色则与原物体或景观的色彩不一致，称为假彩色合成。例如，陆地卫星专题制图仪（TM）图像，采用 TM_1 （0.45—0.52 μm ）、 TM_2 （0.52—0.62 μm ）和 TM_3 （0.63—0.69 μm ）三个不同波段（分光）图像，按加色法分别通过蓝（0.43—0.47 μm ）、绿（0.50—0.56 μm ）、红（0.62—0.76 μm ）滤光系统（若按减色法则分别染以黄、品红、青）合成得到的彩色图像为近似真彩色图像。而若采用 TM_4 （0.76—0.9 μm ）、 TM_3 和 TM_2 三波段，分别通过红、绿、蓝滤光系统合成产生的彩色图像则是假彩色图像。在此图像上绿色植物显示红色。

二、多波段彩色合成处理

多波段彩色合成处理是依照彩色合成原理，将同一地区或同一幅彩色图像不同波段的分光黑白图像，分别通过不同的滤光系统，并使各图像相应影像准确套合，生成彩色图像的技术处理，如图 7-4 所示。因此，要获得一个地区的彩色合成图像，必须首先取得该地区不同波段的分光黑白图像。然后根据彩色合成原理或程序产生彩色图像。

彩色合成方法很多，以下介绍几种主要的方法：

（一）光学法

光学法是利用彩色加色法原理进行的合成，如图 7-4 所示。这是一个由三个投影器或者有三个光通道的幻灯机构成的简单合成装置。工作时在各光通道的片夹上分别装上红、绿、蓝不同分光（波段）黑白透明正片或不同波段的黑白透明正片，并在各通道的镜头上分别装上与其分光片波段相一致的滤光片。打开光源后，使三个影像准确套合，投影在屏幕上即得到彩色合成图像。一般光学法彩色合成处理时都是使用合成仪进行的，例如，图 7-5 就是由我国生产的 DYL-6070 型彩色合成仪。

彩色合成一般多为三色合成，也可二色或多色合成。彩色合成的效果和质量取决分光黑白透明正片的质量，滤光系统的光学性能以及影像套合的准确程度。在判读时为了突出显示图像中的某种地物，可进行不同波段（分光）组合的合成，选择最佳的合成组合方案。例如，陆地卫星多波段彩色合成图像，一般是由 TM_2 （或 MSS_1 ）、 TM_3 （或 MSS_2 ）、 TM_4 （或 MSS_4 ）波段的黑白透明正片分别通过蓝、绿、红滤光系统合成的“标准假彩色图像”。在标准假彩色图像上植被显示红色；城镇一般为灰蓝色；水体与河流呈蓝色；雪和云则为白色等。也可以采用其它的组合进行合成，用不同的颜色突出图像中所需要的地物和目标。

光学法彩色合成方法简单易行，图像色彩鲜艳影像清晰，层次丰富，是遥感图像光学增强处理中一种常用的方法。

合成的彩色图像如需保存或复制，可用相机翻拍成彩色负片，然后根据

需要放大制成所需比例尺的彩色图像。

（二）彩色像纸分层曝光法

彩色像纸的片基上涂有三层各不相同的感光乳剂，最上面一层为感蓝层，含有黄色染料成色剂，感蓝光后呈现黄颜色；中间一层是感绿层，含有品红成色剂，感绿光后呈现品红色；第三层为感红层，含有青染料成色剂，感红光后呈现青颜色。并在上层与中间层之间设有一层黄色滤光膜，以防止蓝光透过干扰感绿层和感红层的感光；此外，在最下层还设一层防光晕层，防止片基平面的反光干扰。这样，把不同波段的分光黑白负片依次分别放在放大机的片夹上，并依次分别经过红、绿、蓝色滤光片的滤光，对同一张彩色像纸进行三次曝光。在每次曝光时应保持影像准确套合，然后经显影、漂白、定影处理后即可得到一张合成的彩色图像。

分层曝光法是依减色法原理合成彩色的。工作时可利用普通照相放大机在暗房中进行。设备简单，操作方便，是一般学校、科研中少量合成彩色图像的一种常用方法。

（三）彩色印刷法

彩色印刷法是利用彩色制版和印刷工艺，根据减色法原理进行的彩色合成。它首先是将彩色原图进行分光制成多张分光负片，然后再制成一定规格网目的分光正像透明片，晒制成锌版供印刷。印刷时，不同的光版分别用黄、品红、青三色油墨依次准确套印制成彩色图像。

利用陆地卫星多波段图像合成彩色图像时，由于专题制图仪 TM 图像或是多光谱扫描仪 MSS 图像的底片已是不同波段的分光片，故分色工序可省略，直接将各波段的黑白负片放大成所需比例尺并加挂一定规格网目制成正片光版，依次套印即可生产出陆地卫星彩色图像。

彩色印刷法成本低，复制速度快，适用生产大批量彩色图像。但由于在制版印刷过程中需经多次翻版，以及印刷工艺中诸多因素影响，影像信息损失较大。

多波段彩色合成方法还很多，例如，染印法、非银盐成像的重氮法等。它们的工艺虽不同，但它们都是在彩色加色法或减色法的基础上进行的。

三、图像相关掩膜增强处理

相关掩膜处理是在照相修版的暗房技术基础上演变发展起来的，它是利用摄影方法把原图像制成不同性质的膜片（或称为蒙片或拷片），采用膜片间相互组合叠加，达到图像增强效果的一种处理技术，又称蒙片技术。此方法设备简单，凡具有暗室设备的都可进行处理。

（一）反差增强

判读时，一般要求图像反差适中，这样影像清晰，层次丰富，易于识别判读。否则，图像反差过大或过小都会使图像缺少层次失去图像的真实性，或是造成图像模糊不清，而不利于判读。即或使用这样的图像做彩色合成或其它增强处理，也往往得不到理想的效果。为此，对反差过大或过小的图像，应用时进行反差增强处理就尤为必要。

光学反差增强的方法很多，如选择适当的感光材料，并配合适宜的曝光和洗印技术措施来达到反差增强的目的。但有时采用这些技术措施达不到预期目的时，若应用相关掩膜增强处理方法，常能奏效。方法是：首先将原图像用摄影方法拷制三张或多张不同反差程度的正膜片。如图 7-6 示意图中

正_a、正_b、正_c。在拷制膜片时应使正_a膜片的反差尽量保持与原图像的反差一致；正_b膜片和正_c膜片的反差，一个要制成高反差膜片，另一个制成低反差膜片。这样，把三张同一图像不同反差程度的膜片叠加在一起，使相应影像准确套合，采用适当的感光片，配合适当的曝光和洗印处理，即可制成一张反差得到了增强，层次更为丰富的图像。

（二）边缘增强

这种方法是先拷制原图像的一张正像膜片，一张负像膜片，并把两张膜片相应影像准确套合重合在一起，然后曝光晒印，在曝光的瞬时，要将二张膜片稍作移动。这样，在曝光后产生的底片上各种图形轮廓的界线处就会形成“镶边”的影像效果，突出显示出地物分布轮廓，达到增强目的，如图 7-7 所示。

判读时，为了准确划分不同类型地物或现象的边界或轮廓线，常采用边缘增强处理方法，例如，在地质判读时线性构造或线性形迹的显示等。但在处理时，应注意曝光时膜片移动的方向应大致与图像中主要轮廓线或构造线的方向垂直，以使增强效果更好。

相关掩膜增强的处理方法还很多，如主题信息提取、信息复合、等密度分割等。它们均是在深入了解和掌握了地物光谱特征及其影像特征的基础上，根据处理任务的不同，利用图像不同性质膜片的相互组合及叠置，来达到所需的增强目的。

第二节 遥感数字图像处理

遥感数字图像处理是指利用计算机对遥感图像及其资料进行的各种技术处理。它处理快捷、准确、客观，为遥感图像的信息提取，以及遥感的定量分析研究提供了方便和基础。亦为地理信息系统的信息及时更新和补充，提供了条件。遥感数字图像处理已成为现代遥感的重要组成部分。

一、数字图像及其直方图

数字图像，就是用数字表示的图像。一般常见的黑白图像是以深浅不同的黑白色调构成的各种图形，记录在感光材料上，以图像方式表示的，如航空像片等。为了将图像输入计算机进行处理，必须将图像数字化。所谓数字化，就是将连续的图像变化，作等间隔的抽样和量化，即将图像划分成面积大小相等、依次排列的一个个像元，如图 7-8 所示，每个像元的位置可由 x 、 y 坐标或相对位置关系确定；继而每个像元进行相应色调的转换量化，以其数值（亮度值）表示。这样，连续变化的图像转换成顺序排列的像元数字“点阵”的形式，以数字（点阵）表示图像，此图像称为数字图像。数字图像可记录在磁带上保存，或输入计算机进行各种处理。陆地卫星计算机兼容磁带（CCT）就是陆地卫星多光谱扫描仪（MSS）或专题制图仪（TM）图像的数字图像产品。

由此可见，数字图像也是一种图像的表现形式，它是以有序的数字反映地物或景观反射或发射电磁波的特征及其变化的。因此，通过对数字图像的处理和分析，同样可判别出地物的属性及其分布，并能作进一步的分析研究。对数字图像的认识，一般是先通过数字图像的直方图来了解。数字图像直方图是以每个像元为统计单元，表示图像中各亮度值或亮度值区间像元出现频率的分布图，见图 7-9。

从数字图像直方图上可以直观地了解图像的亮度值分布范围、峰值位置、均值以及亮度值分布的离散程度等。由于一幅图像常包含数目众多的像元，像元的亮度值又是随机的，因此数字图像直方图的包络线近似接近正态分布曲线。一般来说，图像直方图分布曲线越接近正态分布的曲线形式，说明图像反差适中，亮度分布均匀层次丰富，图像质量高；若图像直方图峰值偏向一边呈偏态分布，则说明图像偏亮或偏暗，缺少层次，图像质量较差。因此，可通过调整图像直方图形态，来改善图像显示质量，使图像得到增强。

二、遥感数字图像的增强处理

图像增强的目的在于改善图像的显示质量，以利于信息的提取和识别。从方法上说，则是设法摒弃一些认为不必要或干扰的信息，而将所需要的信息得以突出出来。显然，这可以通过调整数字图像直方图，进行像元亮度值之间的数学运算处理，或是数学变换等方法来实现。以下主要从方法原理上介绍数字图像增强处理的几种主要方法。

（一）彩色增强处理

彩色增强处理是数字图像增强处理的基本方法，它可将输入计算机中的图像组合转换成彩色图像，又可把经各种增强或分类处理后的图像组合叠

置，以彩色图像显示出来，大大提高了图像的显示质量，为信息提取和识别提供了便利。

1. 假彩色等密度分割处理。遥感黑白图像是以黑白色调的深浅不同表示地物的形态属性及其分布特征的。在感光材料上黑白色调的深浅则表现为密度值的不同。对于相对应的数字图像，影像的密度值即转换量化为相应像元的亮度值。因此，若将一幅图像的亮度值变化，按一定量级进行分割，划分成若干等级（即相当于对图像的密度值进行分割，分成若干等级），每一等级用一种颜色表示，生成一幅彩色图像，此彩色图像就称为假彩色等密度分割图像。由于图像中的黑白色调变化转换成彩色显示，提高了图像的显示质量，所以更便于判读和信息提取。但是，图像中的彩色是人为加上的，与地物的天然色彩不一定相同，故称为假彩色。

假彩色等密度分割的处理过程见图 7-10，即

(1) 将图像输入计算机，存入存储器中。

(2) 对图像中各像元亮度值进行统计，产生显示直方图。确定亮度值分布范围，定出其极小值 (I_{min}) 和极大值 (I_{max})。

(3) 确定分割的等级数 (N)，计算出分割的间隔 I ，即

$$I = (I_{max} - I_{min}) / N$$

(4) 对输入图像的每一像元进行亮度值转换。若令像元亮度值为 $S(i, j)$ ，(i 表示像元所在行， j 表示像元所在的列) 按下式进行判断和转换：

若 $I_{min} < S(i, j) < I_{min} + I$ 则令 $S(i, j) = 0$

或 $I_{min} + I < S(i, j) < I_{min} + 2I$ 则令 $S(i, j) = 1$

或 $I_{min} + (N-1)I < S(i, j) < I_{min} + NI$ 则令 $S(i, j) = N$

将图像全部像元进行转换，以转换的新数值代替原亮度值。

(5) 为像元新值赋色。如 0 值的像元赋给深灰色，即：0 深灰色，1

蓝色，2 浅蓝，…。依次输出像元的赋色像元“点阵”，即构成假彩色等密度分割图。

假彩色等密度分割图像以不同的色彩表示出图像的色调变化，增强了图像的显示表现能力。特别是当判读的目标地物与图像色调变化有着对应关系时，图像能清晰地显示出目标地物的分布轮廓。因此，该方法常用于在某一背景条件下突出显示一些地物和现象。如环境监视中一些污染源及其分布范围，隐伏的地质构造，以及地下水富水区等的显示和圈定。应指出的是：有时，同一地物或现象可能处理分割成两种不同密度以不同的颜色显示出来，或同一色彩却表示两种以上不同的地物或现象，造成判读错误。此时应具体分析产生的原因，例如，有时地形阴影或其它干扰因素的影响，或是分割等级 (N)、分割间隔的选取不当等，都可影响处理的质量和效果，找出原因，及时改变相应参数，或是处理前进行图像预处理，排除干扰因素，提高处理的效果。

2. 彩色合成。数字图像多波段彩色合成是利用计算机提供的多通道（图像）存储器，分别将同一地区不同波段的图像存放在不同通道的存储器中，并依照彩色合成原理，分别对各通道的图像进行单基色变换，形成红、绿、蓝三基色图像，在彩色屏幕上进行叠置，从而构成彩色合成图像，如图 7-11

所示。

显然，若通道中图像波段与进行基色变换的波段一一对应时，合成图像为天然（真）彩色图像。例如，将 TM_3 、 TM_2 、 TM_1 图像分别进行红、绿、蓝的基色变换，可得到近似真彩色的合成图像。但是，若这种对应关系被破坏，采用其它的组合关系，产生的图像则为假彩色合成图像。为了提高图像增强的效果，可利用计算机处理快捷的特点，进行多组合，不同配置的多种方案的合成，选择最佳的图像增强效果。

（二）反差增强处理

数字图像反差增强的目的同样是增强或扩大图像反差的对比度，增加图像表现的层次性。数字图像反差增强的实质就是将图像中过于集中的像元分布区域（亮度值分布范围）拉开扩展，故又称对比度扩展，见图 7-12。

为此，反差增强的关键是寻找到一个函数，以此函数对图像中每一个像元进行变换，使像元得到统一的重新分配，构成得到反差增强的图像。变换函数可以是线性的或是非线性的。例如：可根据增强前亮度值分布范围（ I_{min}, I_{max} ）和设定的扩展后的亮度值分布区间（ I_{min}, I_{max} ）提供的参数确定变换函数；或依据图像直方图调整的需要确定变换函数；或采用指定函数（如指数函数、对数函数等）为变换函数。处理时需注意的是：在像元亮度值分布区间得到一定拉伸扩展，一些像元得到突出的同时，必然地削弱和摒弃一些像元信息，所以在处理时应随时注意这种变化，根据需要采用不同的变换函数或方法，以获得较为满意的效果，一般反差增强处理的流程框图如图 7-13。

（三）滤波增强处理

任何一幅数字图像都是顺序排列的数字“点阵”构成的，点阵中每一行（或称扫描行）包括相同的若干个像元点。如果以每一行的像元点位置为横坐标，以像元点的亮度值为纵坐标，这样每一行即可绘制成如图 7-14 左边的波形曲线。从数学中可知道，任何一条复杂的波形曲线，都可分解成具有不同频率（或波长）的数条简单波形曲线的叠加。所以说，滤波处理就是将数字图像中各行所构成的复式波形曲线，通过计算机的空间滤波程序（或滤波器）分解成为不同频率（或波长）的简单波形曲线，并根据需要舍弃不需要的频率（或波长）曲线加以滤除，选择适宜和需要的频率波形曲线，重新构成新的图像，以使一些地物或现象得以突出。这便是滤波增强处理，或称频率增强处理。

滤波增强处理根据所选择（或滤波器）的波形曲线的频率（或波长）高低，可分为高通滤波、中通过滤波和低通过滤波。例如，对于大的山体构造这样规模的地物，它们之间的距离以数十千米计，其在图像上的形迹具有较低的空间频率（即具有较长的波长），可应用低通过滤波得到突出。同样，如一般的背斜、向斜褶皱构造，它们的分布具有中等空间频率特征，波长以千米计，则可采用中通过滤波增强去突出。而节理、裂隙及小型地质构造的分布具有较高的空间频率，波长以几十米到几百米计，可采用高通滤波得到增强。

滤波增强处理从方法上还可以设计成一个窗口，通过检测窗口在数字图像上的移动检测出某一方向的频率异常（信息），再加以突出增强，达到突

出某一方向地物的目的。滤波增强处理的方法很多，可视选择的数学方法以及所设计的空间滤波器的性质和特点，来达到不同的滤波增强的目的。

(四) 比值增强处理

比值增强处理是将数字图像中同一像元不同波段的亮度值相除的比值，作为像元的新亮度值并显示图像的处理，称为比值增强处理。比值增强处理是建筑在地物间各波段光谱差异的基础上，突出地物显示的一种增强方法。例如，对于陆地卫星专题制图仪或多光谱扫描仪图像，每个像元有七个（或四个）波段的数值（亮度值），可以组合成多种不同比值图像，如 TM_1/TM_2 ， TM_1/TM_3 ， TM_1/TM_4 ， TM_2/TM_3 ...。在这些比值图像上，色调的深浅反映的是两个波段光谱比值的差异。因此，不同地物可依据它们之间的光谱特征，有的被突出了，有的则受到压抑。为此，可视应用的需要，选择不同的比值增强图像突出不同的地物。

比值增强处理对于增强和区分光谱亮度值差异虽不明显，而不同波段的比值差异较大的地物有着明显的效果。例如：陆地卫星 TM_4/TM_3 的比值，在植被覆盖较高时，对植被的生长十分敏感；而 $(TM_4-TM_3)/(TM_4+TM_3)$ 则可作植被覆盖较低时，植被指数和生物量指标。此外，利用比值增强处理可对分类处理前的图像进行预处理，消除一些干扰影响，使分类处理效果更好。例如，图 7-15 中，同一层砂岩出露在山体的阴坡和阳坡，由于阴坡处砂岩的反射率均比阳坡处砂岩低，故虽同属同一层岩性，但在 TM_1 、 TM_2 波段图像上亮度值不同（表 7-1）。若直接用这样的图像进行分类处理或假彩色密度分割，则很可能被分成二种不同的类型或两种不同的颜色显示出来，造成判读错误。但若用 TM_1/TM_2 比值处理，比值图像上阴坡、阳坡的岩砂亮度值趋于一致，故消除了地形的影响，而使分类、判读效果更好。

比值增强处理时也可利用图像同一像元不同波段的亮度值进行加、减、乘、除四则混合运算，进行处理。但处理时，要深入研究分析目标地物间的光谱特征和变化，以利用混合四则运算处理来突出目标地物的显示，或从不同组合的混合运算处理中选择出增强效果最佳的处理方案，在同一地区推广。

表 7-1 阳坡、阴坡砂岩的 TM_1 、 TM_2 亮度值比较

亮度值 或比值 地 段	波 段	TM_1	TM_2	TM_1/TM_2
图 7-15 中阳坡砂岩		28	43	0.65
图 7-15 中阴坡砂岩		22	34	0.65

即可以利用不同组合的比值图像作为不同的分光（波段）图像，进行彩色合成，制成彩色比值图像，信息量则更为丰富，更便于信息的提取和判读。

数字图像增强处理的方法还很多，以上只对常用的一些方法的原理作了介绍，要掌握和应用这些方法的关键是要根据实际需要结合所处的环境特点，灵活地选择增强处理方法。并在实践中不断总结经验，提高增强处理的

效果和水平。

三、遥感数字图像的分类处理

自然界中不同类型的地物具有各自不同的电磁波谱特性，遥感数字图像中像元的不同数值（亮度值）反映了相应地物的波谱特性。因此，通过计算机对图像像元的数值的统计、运算、对比和归纳，对像元进行分类，即可达到对地物的自动识别。这种技术处理称为遥感数字图像分类处理，或称计算机自动识别。

图像的分类在数学或计算机处理上可归结为对一模式或数组的分类和识别，或是以适当的判别函数加以判别分类。模式的取得或判别函数的确定有二个基本途径，一种是通过已知类别的样本统计运算得到分类参数、条件、确定和取得判别函数和模式；另一种则是在缺少已知条件的情况下，通过对输入像元数值自身规律性的统计运算，总结、归纳出所需参数和条件，获得判别函数或模式，进而进行分类。前者称为监督分类，后者称为非监督分类。

（一）监督分类

监督分类又称训练场地法或先学习后分类法。它是先选择具有代表性的典型试验区或训练区，用训练区中已知地面各类地物样本的光谱特征来“训练”计算机，获得识别各类地物的判别模式或判别函数，并依此模式或判别函数，对未知地区的像元进行处理分类，分别归入到已知的类别中，达到自动分类识别的目的。

监督分类的流程框图如图 7-16 所示。具体方法是：

1. 选择有代表性的典型训练场地，或在遥感图像上圈出已知地物分布的范围界线。例如：现有已知地物 M_1 、 M_2 、 M_3 。

2. 对已知训练区的已知地物样本的光谱特征或已知地物所有像元各波段的数值（亮度值）进行统计，提取各地物类别的数值特征。例如：各类型地物不同波段的均值、标准差（或称方差）等，若用三个波段表示，则有如下形式：

$$M_1 \begin{cases} \bar{M}_{11}, S_{11} \\ \bar{M}_{12}, S_{12} \\ \bar{M}_{13}, S_{13} \end{cases} \quad M_2 \begin{cases} \bar{M}_{21}, S_{21} \\ \bar{M}_{22}, S_{22} \\ \bar{M}_{23}, S_{23} \end{cases} \quad M_3 \begin{cases} \bar{M}_{31}, S_{31} \\ \bar{M}_{32}, S_{32} \\ \bar{M}_{33}, S_{33} \end{cases}$$

（ \bar{M}_{ik} 为各类别的均值， S_{ik} 表示各类的标准差；其下标 $i=1, 2, 3, \dots$ ，表示类型， k 表示波段， $k=1, 2, 3, \dots$ 。）

3. 确定分类判别函数，即选择和确定分类的方法，以使计算机能按确定的程序进行分类。分类的方法很多，例如：最小距离法、相似判别法等，可根据具体情况选择。

4. 分类参数、阈值的确定。由于像元数值的随机性，各类地物像元数值的分布都是围绕一个中心特征值，散布在空间的一定范围内。为此，在分类判别前必须确定出各类地物的中心特征值（参数）及其分布范围界线——类型阈值大小。例如：可将地物各波段均值所在的空间位置作为类型的中心特征值；相应波段的标准差（即 $t \cdot S_{ik}$ ）作为类别的阈值，限定类型的分布范围。这样就构成了一个“分类器”。

5. 分类。利用“分类器”进行分类，即根据选定的分类方法，以及确定

的分类参数和阈值进行分类。例如：将输入的像元数值与各类型的中心特征值比较，并按所确定的阈值，把像元归入到最相近的类别空间里，并赋予新值，完成像元分类。

6. 检验。是指对“分类器”分类精度的检验。即统计“分类器对已知样本像元的分类精度（已知样本像元错分率）。若不合格，则返回 4 或 3 中，重新调整各类阈值（ tS_{ik} ）或重新确定分类参数，直到“分类器”分类精度达到要求为止。这样，经已知样本反复“训练”所构成的“分类器”即认为调整好。

7. 输入未知像元。利用已调整好的“分类器”分类，将未知像元归入到各类别中，输出分类图像。

获得的分类图像要拿到实地或对照地面已知资料进行检验，检查和评价分类的精度和效果，总结经验，不断提高分类处理的质量和水平。

监督分类简单实用，但在处理分类前必须确定好已知地物样本的分类特征及其参数。这是分类成败的关键。已知样本分类特征及其参数的确定要有代表性，要有足够的样本（或像元）作为统计的基础。此外，由于环境的变化及其复杂性，以及干扰因素的多样性和随机性，由训练场地已知样本所获得的分类特征及其参数，只能代表一定时间和具体地域的情况，不能无条件地推广。若地区情况或环境条件变化，应该另选训练场地，以免造成较大的误差或误判。

（二）非监督分类

非监督分类又称边学习边分类法。它直接对输入的数字图像像元数值（亮度值）进行统计运算处理，分别将每个像元归纳到由图像各波段构成的多维空间中的集群中，达到分类识别的目的。例如，一幅陆地卫星 TM 图像有六个波段（不包括 TM_6 波段），图像中的每个像元即由这六个波段（ $TM_{1,3,4,5,7}$ ）构成的六维空间中有一确定的点与之对应。由于同一类型的地物有着相近似的光谱特性，这样相同性质的像元点就汇集在空间中的一定范围的区域内，形成点的集群。不同类型的地物，则在空间中的不同地域形成集群。如图 7-17，是由 TM_2 、 TM_3 和 TM_4 三个波段构成的三维空间，A、B、C 分别为三种不同类型的地物汇集的集群。显然，可以通过采用数理统计或其它数学处理方法，将各集群的空间分布状态、范围界线等参数定量地确定，归纳成一定的数学模式或判别函数，用来区分和识别每一像元的属性，自动地进行分类处理。

非监督分类的方法很多，图 7-18 是非监督分类的流程框图，从框图中不难看出：非监督分类时“分类器”是经反复修定、调整逐步逼近形成的，即通常采用迭代的方法构成。处理时，只在选定分类方法，设定分类集群数目，以及在迭代过程中决定是否中止过程时，人为地干预处理外，人为的干扰很少。因此，非监督分类客观而真实，特别适用于对工作地区了解较少或已知资料不多时，对遥感图像的分类。

非监督分类的成果最终也要到实地去检验验证。核对各个集群所对应的地物类型，检查评价分类的精度。

四、遥感数字图像处理设备

进行各种遥感数字图像处理一般都是在专门的数字图像处理系统中进

行。图 7-19 是数字图像处理系统的基本配置框图。从图中可见，图像处理系统除了一些特殊设备，如数字化仪、扫描仪等设备外，本身就是个计算机系统。因此，在一般配置较齐全的通用计算机上，只要有相应的图像处理软件或程序，同样可进行各种数字图像处理。特别是近几年来，微型计算机的发展以及功能的不断扩展，使以微型计算机为主机的图像处理工作普遍地开展起来，为广泛深入地开展遥感数字图像处理及应用，创造了有利条件和环境。

第三节 地理信息系统概述

地理信息系统 (Geographic Information System (GIS)) 或称资源与环境信息系统 (Resources and Environment Information System (REIS)), 是 60 年代以来, 随着电子计算机技术的发展及其广泛应用, 在地理学中发展起来的一种新的工作手段和方法。它是遥感技术、计算机辅助制图技术在地理学中应用的进一步延伸和发展, 是地理学的又一新进展。

一、地理信息系统的概念

地理信息系统是一种在计算机软、硬件支持下, 实现地理空间数据存储、查询检索、处理分析以及输出显示的计算机系统。

在这里“地理”限定了系统应用的专业领域, 同时又指出了系统的基本特征。即所收集和存储、处理分析的信息是依据统一地理坐标或相互位置关系组织起来的地理空间信息。地理信息系统是一种对空间数据(信息)管理及处理分析的系统。它主要服务于资源与环境领域, 在区域的管理、规划及其科学决策中得到广泛地应用。

信息是一个抽象的社会概念, 它是自然界和人类社会一切事物或现象特征的表现, 它具有物质性, 但本身又不是物质, 它的存在依赖于作为信息载体的物质。因此, 可以说信息是社会共享的一切知识、学问以及从客观事物或现象中提炼或发出的各种消息、资料、数据的总称, 是表征事物或现象特征或标志事物现象的一种普遍形式。信息通常是以文字、符号、图形、图像以及语言和声音等形式出现的。地理信息则是指表征地理环境中事物或现象的状态、数量、质量、分布等特征, 以及表现地理事物间的关系和变化规律的数字、文字、图形、图像等形式的信息。

在地理信息系统中, 地理信息往往是以数字或符号的形式出现, 数字或数据是信息的一种常见的表现形式, 只有数据(或数字)具有实际含义才成为信息, 信息是数据(或数字)所包含的实际内容。

系统是指处于某一环境中相互作用、相互依存的若干部分(要素)组成的具有一定结构, 有着固定目标和功能的统一体。每个系统都是由两个或两个以上的部分(要素)构成的。而且系统又可成为更大系统的组成部分(子系统), 系统是客观存在的。

地理学本身就是一个系统, 它是由众多的自然要素和人文要素等构成的一个“层次复杂多变, 内部关系非常错综复杂的系统”, 我国著名科学家钱学森教授称之为“开放的复杂巨系统”。对于这样一个复杂巨系统的研究, 要以现代科学理论——系统论、信息论、控制论为理论基础, 充分运用现代高科技如电子计算机技术、空间技术等为技术手段进行研究。

系统论的一个基本观点就是强调整体性。系统整体的功能往往要大于或优于各组成部分功能的总和。地理信息系统就是为了充分发挥各种地理信息的潜力和作用构成的系统, 它为地理学进一步发挥区域性和综合性的优势, 提供了一种现代化的先进手段。

地理信息系统的发展开始于本世纪 60 年代初, 经 60 年代的起步及其试验研究, 70 年代日臻成熟。经 80 年代的发展到目前已从信息存储、数据库建立, 以及查询检索、统计分析和自动制图输出等基本功能的实现, 向建立多功能的分析评价模型、实现智能化专家系统、周期性的信息自动更新、实

时评估和进行全球变化的系统研究等方面发展。地理信息系统已广泛深入地服务于国民经济建设和生活中，成为区域或工程管理、规划及辅助决策的一种现代化先进工具。

二、地理信息系统的构成

地理信息系统就是一种计算机系统，它是由信息的输入、存储、数据的分析处理和信息的输出三个基本部分组成，并在计算机软、硬件支持下运行工作的。

（一）地理信息系统的硬件构成

地理信息系统的硬件是指为完成系统所规定的目标和任务，所设置的物理设备总称，图 7-20 是地理信息系统硬件的基本配置示意框图。它是由输入设备、中央处理机和输出设备三部分组成。

输入设备的作用是将各种地理信息转换成中央处理机（主机）可识别的信号进入并储存于计算机中。地理信息系统的输入设备，除一般计算机的键盘打字机外，还配置了用于地图、图形、图像等多种地理信息输入的数字化仪、扫描仪和磁盘驱动器等设备。

中央处理机（即计算机主机）是地理信息系统的核心设备，它是指挥协调系统各部分有条不紊工作的司令部，又是进行信息处理分析的中心。因此，地理信息系统功能的强弱，规模大小，一般是以中央处理机的存储能力，运算速度来衡量的。

输出设备是指输出分析处理结果的物理设备，它们在中央处理机的指挥下，将处理分析的结果处理转换成易被人们识别的信息形式提供给用户。如通常的监视显示器、绘图机、打印机、扫描仪等。

硬件是整个系统的物理外壳，影响和决定了系统的规模、处理速度、功能的发挥等，是地理信息系统的物质基础和工作保证。

（二）地理信息系统的软件构成

软件是指为充分发挥硬件设备能力和功能，提高硬设备的效率，便于用户操作运行，以及完善系统功能而开发研制的一系列具有特定功能的计算机程序。软件是用户与地理信息系统（计算机）的接口，用户通过软件进行操作指挥整个系统协调运行。因此，软件质量的优劣直接关系到系统功能的发挥及其效率和效益的高低。软件是系统的灵魂。

软件通常可分为系统软件和应用软件两大类。

系统软件如计算机的操作系统、计算机语言等。它们不是针对解决某一科学计算或是进行专题分析的，也不是针对解决具体的信息处理问题，而是指对计算机系统的系统资源（即包括硬件资源、软件资源）进行有效管理和控制，并为用户提供方便而研制开发的计算机程序。地理信息系统的系统软件一般是引进选用通用计算机系统的系统软件，例如，DOS 系统，UNIX 系统软件等。并在选定的系统软件基础上开发和研制系统的应用软件。

应用软件则是为了解决具体科学计算或是为了进行专题分析及信息处理等具体应用问题而编制开发的计算机程序。应用软件是体现地理信息系统功能优劣、效益好坏的关键，因此往往花费较大的人力物力研制或引进。开发研制应用软件不但需要专门的地理知识和技能，而且需要具有计算机处理方面的知识和技能，特别需要计算机处理方面的专家与地理学家密切合作，彼

此沟通，结合实际研制开发出优秀的地理信息系统的应用软件。

地理信息系统应用软件的基本构成可见图 7-21，主要有以下部分构成：

1. 数据采集、数据预处理及数据管理软件。这部分软件是针对各种地理信息的输入编制和开发的一系列软件，或可称为输入子系统。它包括各种数据（包括一般数据、图形、图像数据等）的采集、输入以及存储和管理软件。例如：各种类型的数据库管理软件（DBMS）、图形数据库软件等。

2. 数据处理分析软件。这部分软件主要是对输入的数据进行有目的的处理分析。如数据的一般运算处理，统计分析，各种模拟或模型分析，专家分析系统等。数据处理分析软件是体现系统功能，影响系统效益的关键。为此，在研制和建立地理信息系统的过程中，通常要集中较大精力和时间，进行开发研制这方面的软件，以提高系统的功能和效益。

3. 成果输出软件。这部分软件的作用是指挥计算机输出易为人们接受的各种形式的分析成果，提供给用户。如输出数字成果、文字成果，或各种专题地图、遥感图像、图形等形式的成果。

三、地理信息系统的基本功能

地理信息系统的基本功能可概括为：信息查询检索功能、信息的处理分析功能、成果输出功能以及信息更新和维护功能。

（一）信息查询检索功能

信息查询检索功能是信息系统基本功能之一，它可为用户提供系统中存储信息的清单及其检索的索引，进行快速多条件、多种方式的信息查询，如快速的顺序查找或随机的查阅等。

地理信息形式多样，涉及面广，数据量浩大，而且每一个地理信息均有一确定的空间位置与之对应。因此，若将如此浩繁的地理信息组织到一起，准确地反映出各自特征及其空间分布和相互关系，是实现信息查询检索功能的重要基础。这一任务的完成包括数据规范化、数字化和数据编码三个方面的内容和过程。

规范化是按学科专业要求以及结合地理信息系统的特点对各种信息进行归类、统一坐标系统、统一单位和记录格式，对信息按统一标准规格化，以便于在统一的基础上对信息（数据）进行管理和处理分析。

数字化是指将图形、图像等非数字形式的信息，通过数字化仪（或扫描仪）进行数模变换，转换形成统一坐标系统下的数据，构成数据文件，归入到相应的数据库或计算机管理系统中。

数据编码则是根据地理信息系统的特点和要求，按照一定的数据结构和目标属性特征，将数据转换成便于计算机管理和识别的代码或字符（即赋予一组具有一定规律的标准化数字或符号，此过程常由相应软件完成）的过程。

这样，经规范化、数字化和数据编码过程以后，各种形式的地理信息分别形成了各种数据文件（即反映和表现同一性质事物或现象的一组由众多数据项数字组成的数字集合），并纳入到地理信息系统中数据库管理软件（DBMS）的统一管理下。这样，系统通过运行相应软件，就可提供数据的各种查询检索功能。在查询检索时，系统通常会提供多级菜单的人机（对话）交互方式的屏幕提示，用户可方便地、快速地进行信息的查询检索及操作，及时地得到有关的数据和信息。

（二）信息处理分析功能

信息处理分析功能体现和决定了地理信息系统的应用方向，是衡量系统功能效益的主要标志，是系统的核心。处理分析功能通常包括有常规处理分析功能、地理空间分析功能、专业（或专题）模型分析功能等。

1. 常规处理分析功能。即指一般由常用的处理分析软件构成的对数据进行一般处理分析的功能。例如，对数据进行的各种运算处理，对数据的各种统计分析等一般的数学处理分析。此功能常是针对地理信息的属性数据进行的一系列处理。处理时往往可随时干预处理过程，改变相关的参数，以便处理分析结果更符合用户的要求，或从多种处理分析成果中择出最适宜的结果供输出，提供给用户。

2. 地理空间分析功能。此功能是体现地理信息系统特点的重要功能之一，主要包括数字地形模型分析、空间特征的几何分析、网络分析、图像处理分析等。一般是针对输入系统中的各种地图、专题图和图像等空间数据的各种处理和分析。例如：利用不同时期或不同要素的空间数据进行叠置处理和分析，可获得准确客观的空间动态变化及其分布特征，为分析和研究演变规律、预测预报提供可靠的信息，也可利用数字地形模型进行坡度、坡向的数值分析，进而为地貌学的各种研究以及土地利用分类等奠定可靠的定量基础。地理信息系统中地理空间分析功能的不断开发和应用，为地理学进一步发挥其区域性及综合性的优势，以及开展定量数字分析，开拓出更为广阔的前景。

3. 专业（或专题）模型分析。专业（或专题）模型是对客观现实或现象的抽象或数字模拟。模型分析是地理学在进行规划、预报预测等工作时进行定量分析研究的高级阶段。以往由于条件的制约，特别是浩繁的计算工作量以及信息数据提供的不足，影响了模型分析的开展。当前，由于计算机的广泛应用，特别是有地理信息系统的支持，为开展地学模型的研究和分析，提供了条件，展现出美好的前景。

目前，专业（或专题）模型的建立主要通过二种途径产生，一种是以大量的数据信息为基础，运用数学手段建立的数学模型，例如：通常的统计分析模型；另一种则是以地学分析，专业的经验为基础，从长期的大量地学工作中总结，归纳出的经验模型或概念模型，常做成专门的分析软件（包），置于地理信息系统中，借助于系统中丰富的地理信息资源支持进行各种分析。也可运用专家系统软件技术，建立专业（或专题）专家系统，利用地理信息系统提供的信息，进行相关专业的分析。

模型是以丰富的地理信息为基础的定量化结晶，模型分析使地理信息系统的处理分析能力得到进一步的加强和提高，模型分析已成为当前地理信息系统分析功能的重要组成部分，标志和衡量系统质量和效益水平的重要指标。

（三）输出功能

地理信息系统的输出功能是在一系列数据输出软件的支持下完成的，包括诸如各种线条、符号、颜色的变换配置，绘图机输出，行式打印机输出，屏幕显示输出等软件，以能完成系统中间处理结果或最终处理分析结果的输出，并以各种文字报表、地图、图像、图形等人们熟悉的形式提供给用户。

（四）信息更新及系统维护功能

信息的更新和系统的维护是持续发挥地理信息系统功能，不断完善系统

自身，适应新形势和环境的变化，提高系统效益的重要手段和功能体现，随着系统处理分析环境的变化，不但需要经常地对系统的软、硬件设备进行维护或更换，以保持系统的正常运行。而且，为适应环境的不断变化，亦要对系统中的信息不断地进行更新，增删更新数据库相应的数据文件，使系统不断地完善，持续地发挥系统的整体功能和效益。

四、地理信息系统的主要类型

目前地理信息系统分类尚没有规范统一的标准，但依照当前地理信息系统发展的现状，主要有以下二种类型：

（一）区域地理信息系统

即以某一地区或区域为描述对象或目标，以地理综合分析为主要功能，为区域的管理、开发、规划，以及决策提供信息服务为主要目的而构成的地理信息系统。如早期建成的“加拿大地理信息系统（CGIS）”，我国“黄土高原（重点产沙区）地理信息系统”，以及我国各县建立的县级地理信息系统等。区域地理信息系统偏重于对综合分析功能的开发研制，以便于全面服务于区域的管理、开发、规划的需要。由于区域所处环境差异变化较大，分析处理功能的建立只能以某一区域的特点为主建立。因此区域地理信息系统一般移植性较差，但一般功能较全面且较强大。

（二）专题型地理信息系统

即以某一专业或为解决某一专题为目的组建的地理信息系统。如旅游信息系统、人口信息系统、城市交通管理信息系统等。这类信息系统虽然在采集信息时也有地区的限制，但主要强调的是专业目的。它具有较强的解决专业应用的功能和专门的软件（包）。一般来说这类系统可移植性较强，只要将另外一地区或区域的有关信息输入，即可用来解决和服务于不同地区的同一专业问题。

由于任何一种地理专题都不是一个单纯的简单问题，都需要综合多要素的信息进行综合分析。因此，这二种类型有时很难区分开，一般来说，区域型地理信息系统在系统前总是冠以专有的地名或区域的地理名称，而专题型的系统则常冠以专题的名称，或强调突出专题性质，加以区别。

五、地理信息系统与遥感

地理信息系统和遥感都是在现代科学技术基础上发展起来的新技术手段和方法，它们在地理学中的应用，推动了地理学的发展和进步，成为地理学的重要组成部分。遥感技术与地理信息系统在地理学的研究及其应用相互支持、互相借鉴，展现出地理学美好的发展前景。

实践证明，地理信息系统是一种管理和分析地理空间数据（信息）的有效工具和手段。遥感则是建筑在现代空间技术基础上的一种收集地球表面空间信息（数据）的重要技术手段。由于工作基础和目的的相近，使二者必然地联系在一起。

（一）遥感是地理信息系统的重要信息源

遥感可为地理信息系统提供不同视场、多方位、多层次、多方式的信息，由于遥感本身的特点，遥感信息不但及时、准确、客观，而且可提供不同波段、不同时相动态信息。遥感信息使地理信息系统的功能和活力大为提高，遥感信息已成为地理信息系统的重要信息源。我国近年来研制建立的几个大

型跨地区的地理系统，“黄土高原（重点产沙区）地理系统、“三北”防护林地区资源与环境信息系统等都是遥感信息为重要信息源组建的系统。

目前，地理信息系统中的遥感信息一般是以航空像片、卫星图像的方式提供的，通常采用遥感系列专题地图经数字化进入系统。遥感系列专题地图是通过遥感图像判读，提取有用信息，分专业（或专题）转绘在统一底图上的地图产品。它具有成图周期短、信息提取准确、及时、可靠，时相现实性好，以及统一底图，几何位置易配准、易叠置等特点。因此，遥感系列专题地图进入系统，为系统的空间分析以及综合分析提供了便利和基础。随着遥感技术的发展，特别是遥感的规范化、标准化进程，以及地理信息系统功能的完善和扩大，遥感和地理信息系统将建立直接的接口。这样，遥感可源源不断地为地理信息系统提供及时、客观、准确的丰富信息，并为地理信息系统的信息及时更新提供了一个强有力的手段。地理信息系统的功能和活力将大为提高，应用效益将更可观。

（二）地理信息系统同样可为遥感提供各种支持，促进遥感的发展

正如前面所述，在对遥感数字图像进行分类处理中，由于各种难以排除的干扰因素影响，常会出现“同物异谱”或“异物同谱”分类混淆现象，影响分类识别的精度。以致于影响遥感的实际应用，成为遥感发展过程中的一个障碍。实践证明，如果在分类识别时，有目的地补充一些非遥感信息参与分类，分类的精度则会提高，分类的混淆程度也会减少。显然，地理信息系统在提供信息方面，无论在数量上，还是在质量上，以及在参与遥感分析和应用等方面都有明显的优势。这无疑为遥感与地理信息系统的进一步结合提供了一个途径，为遥感的发展提供了时机。事实上，遥感正是在地理信息系统强大的功能及其丰富的信息资源支持下，促进了遥感的不断完善，加快了遥感发展的步伐。例如，遥感在地理信息系统的支持下，可进一步完善遥感信息的管理系统，提供更好的信息服务；可进一步完善和加强遥感的综合分析，定量分析，以及动态分析的功能和效益，并可促进遥感信息机理、定量分析模型等研究工作的开展和深化。为遥感从实验型向生产型商品化转化开辟了道路。

遥感与地理信息系统的结合，必然为地理学的发展迎来新的曙光。

复习思考题

1. 何谓图像增强处理？增强处理的主要方法有哪几种？
2. 一种色彩如何复原或合成？（彩色分解、彩色还原过程）
3. 光学增强处理的主要方法有哪几种？分析它们各自的特点。
4. 什么是数字图像？何谓数字图像直方图？直方图的实际意义是什么？
5. 遥感数字图像增强处理有哪几种主要方法？并分别阐明它们的原理和特点。
6. 什么叫监督分类？什么是非监督分类？其分类的原理和特点是什么？
7. 什么是地理信息系统？地理信息系统的特点是什么？
8. 地理信息系统是如何构成的？其主要功能和特点是什么？9. 如何理解遥感与地理信息系统的关系？

实习 12 彩色合成实验（选作）

一、目的要求

1. 通过实验，加深对彩色合成原理的认识和掌握。
2. 学习卫星图像的彩色合成方法，练习用标准假彩色图像进行判读。

二、实验的主要设备和材料准备

1. 彩色合成仪或简易合成仪。
2. 投影仪或透图台。
3. 不同波段（或分光）黑白透明图像（根据实验设备准备）。
4. 红、绿、蓝三基色透明滤光片（或黄、品红、青三补色透明滤光片）。

三、方法步骤

（一）用简易彩色合成仪演示彩色生成（以光学法演示加色法彩色合成）：

1. 二基色相加生成补色：

红+绿 黄；红+蓝 品红；蓝+绿 青

2. 红、绿、蓝三基色相加生成白色（自然光）；

红+绿+蓝 白

3. 非互补色（光）不等量相加混合生成不同间色（光）：

如红（多）+绿（少） 橙；红（少）+绿（多） 黄绿等

（二）图像彩色合成方法实习：

1. 光学法合成。可以采用不同波段（分光）正透明片（如 TM_2 ， TM_3 ， TM_4 或其它同一地区的分光透明正片）分别安放到合成仪三个通道的片夹上，打开光源，使各片相应影像套合，然后分别在各通道上加上红、绿、蓝滤光片，观察合成的彩色图像，分析各种彩色生成。即可变换波段组合以及滤光片组合形式，观察真彩色合成与假彩色合成图像的效果以及色彩生成。

2. 利用投影仪或透图台作减色法合成实验。采用不同波段（分光）正透明片，首先使它们的相应影像准确套合，并用胶带将边缘处固定以免影像错动，然后分别在不同波段（分光）片之间加上黄、品红、青滤光片（即将各透明片隔开），并保持影像套合，打开光源，观察投影生成的彩色图像、分析色彩生成。

3. 其它合成方法。视各校设备材料情况组织。

四、实习报告

根据地物光谱曲线和彩色生成原理，分析几种地物在彩色合成图像上彩色的生成。如植被、水体、沙等。

主要参考文献

- [1]陈述彭、赵英时，《遥感地学分析》，测绘出版社，1990
- [2]濮静娟，《遥感图像目视解译原理与方法》，中国科学技术出版社，1990
- [3]陈钦峦、陈丙咸等编，《遥感与像片判读》，高等教育出版社，1988
- [4]王长耀，《空间遥感图像的分析应用》，国防出版社，1985
- [5]孙星和，《宇航遥感物理基础》，地震出版社，1990
- [6]赵振铎译，《航空地质学》，地质出版社，1976
- [7]美国地质调查局、美国大气海洋局编，《陆地卫星 4/5 数据用户手册》，科学出版社，1987
- [8]李铁芳、冯均泌，苏民生编著，《遥感图像数字处理原理与应用》，云南科技出版社，1987
- [9]彭望球编著，《遥感数据的计算机处理与地理信息系统》，北京师范大学出版社，1991
- [10]黄杏元、汤勤编著，《地理信息系统概论》，高等教育出版社，1989
- [11]朱大权、商铁兰，“农业遥感应用与动向”，《遥感动态》，90年第一期
- [12]高世忠，“遥感技术在减轻自然灾害研究中的作用”，《遥感动态》，90年第一期
- [13]张志峰、邱兆祥，“近年我国地质工作现状”，《遥感技术动态》，90年第四期
- [14]赵荣、陈丙咸，“地理信息系统和遥感结合的现状与发展趋势”《遥感技术与应用》，1991年 Vol.6 No.3
- [15]褚广荣、王乃斌主编，《遥感系列成图方法研究》，测绘出版社，1992
- [16]邹尚辉编著，《遥感图像专题制图》，华中师范大学出版社，1990
- [17]何建邦等主编，《黄土高原（重点产沙区）信息系统研究》，测绘出版社，1988
- [18]孙九林主编，《国土资源信息系统的研究与建立》，能源出版社，1986
- [19]《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社，1988
- [20]陈述彭，《遥感在我国国民经济中的应用》，1984
- [21]陈华慧等编，《遥感地质学》，地质出版社，1984
- [22]卢国铭等编，《遥感技术基础》，科学出版社，1984
- [23]国家遥感中心研究发展部、中国科学院遥感应用研究所编，《陆地卫星影象中国地学分析图集》，科学出版社，1984
- [24]吕斯骅，《遥感物理基础》，商务印书馆，1981
- [25]中国科学院地理研究所编制，《陆地卫星象片集》，科学出版社，1982
- [26]中国科学院腾冲遥感试验组陈述彭主编，《航空遥感图集（腾冲试验区）》，科学出版社，1981
- [27]山西农业区划委员会遥感试验组教育部高等院校山西遥感协作组编，《陆地卫星太原幅农业自然条件目视解译系列图》，科学出版社，1981

- [28]朱亮璞等编，《遥感图象解译教程》，地质出版社，1981
- [29]龚家龙等编，《环境遥感技术简介》，科学出版社，1980
- [30]马荣斌等编，《遥感原理和工程地质判释》上、下册，中国铁道出版社
- [31]国家地质局航空物探队遥感室编制，《地球资源卫星象片集》，地质出版社，1978
- [32]周卡译，《象片判读手册》，中国工业出版社，1965
- [33][日]卡农公司图象研究室编辑，《遥感技术的发展及其应用研究》，科学出版社，1983
- [34][美]F.F.萨宾著，《遥感原理及其解释》，地质出版社，1981
- [35][美]J.E.埃斯特斯等编，《遥感——环境分析技术》，人民教育出版社，1982
- [36][日]日本遥感研究会编，《遥感原理概要》，科学出版社，1981
- [37]《遥感手册》第1—6分册，国防工业出版社，1981—1983
- [38][美]P.H.斯韦恩，S.M.戴维主编，《遥感定量方法》，科学出版社，1984

