

第四篇

摄影测量和遥感测量技术的应用与规范管理

第一章 概 述

第一节 摄影测量学的定义与任务

传统的摄影测量学是利用光学摄影机获得的像片，研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质和相互关系的一门学科和技术。它包括的内容有：获取被摄物体的影像，研究单张和多张像片影像的处理方法，包括理论、设备和技术方法，以及将所处理和量测得到的结果以图解或数字形式输出的方法和设备。

认识世界，改造世界，以推动人类的文明和社会的进步是全中国和全世界人民义不容辞的职责。由于客观世界和所要研究的对象具有从宏观到微观，各种各样的复杂特性，人们不可能总是亲身去接触这些物体。因此借助于非接触传感器获得影像，通过对影像的研究，实现对客观世界的认识，是非常重要而有意义的。例如，通过对月球和其它星体的摄影像片的量测和处理可以测出它们的表面形状和特征。通过 X 光透视片，医生可以方便地诊断出人体内部是否有某种疾病。利用航空摄影测量和卫星摄影测量。可以比人工实地测量更加快速和方便地测制和更新地球表面的各种比例尺地形图和专题图，为国民经济和国防建设服务。

摄影测量学的主要任务是测制各种比例尺地形图、建立地形数据库，并为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据。因此，摄影测量学在理论、方法和仪器设备方面的发展都受到地形测量、地图制图、数字测图、测量数据库和地理信息系统的影响。摄影测量学作为影像信息获取、处理、加工和表达的一门学科，又受到影像传感器技术、航空航天技术、计算机技术的影响，并随着这些技术的发展而发展。

摄影测量学的主要特点是对影像或像片进行量测和解译，无需接触被研究物体本身，因而很少受各种条件，如人不能到达，人不能触及等条件限制，而且可摄得瞬间的动态物体影像。像片及其它各种类型影像均是客观物体或目标的真实反映，信息丰富、图像逼真、人们可以从中获取所研究物体的大量几何和物理信息。

由于现代航天技术和电子计算机技术的飞速发展，摄影测量的学科领域更加扩大了。可以这样说：只要物体能够被摄成影像，就可以使用摄影测量技术研究所摄物体的几何和物理特性。这些被摄物体可以是固体的、液体的，也可以是气体的；可以是静态的，也可以是动态的、变化着的；可以是微小的，如在电子显微镜下放大几千倍的细胞，也可以是巨大的，如宇宙星体，这些灵活性使得摄影测量成为可以多方面应用的一

种测量手段和数据采集与分析的方法。由于摄影测量的非接触传感的特点。自 20 世纪 70 年代以来,从侧重于解译和判读应用的角度出发,人们又提出了“遥感”一词。

20 世纪 70 年代,美国地球资源卫星 (Landsat) 上天后,遥感技术获得了极为广泛的应用。由于遥感技术能为资源勘察和环境监护等提供极丰富的大量信息,很快就得到全世界的重视。在遥感技术中,除了使用对可见光摄影的框幅式黑白摄影机外,还使用子彩色、彩红外摄影机、全景摄影机、红外扫描仪、多光谱扫描仪、CCD (电荷耦合器件,英文 Charge Coupled Devices 的缩写) 推帚式行阵列扫描仪或矩阵数字摄影机以及各种主动成像的合成孔径侧视雷达等等。它们提供比黑白像片丰富得多的影像信息。各种航空航天飞行器作为传感平台,围绕地球长期运转,为我们提供大量的多时相、多光谱和多分辨率的丰富影像信息,于是摄影测量发展成为摄影测量与遥感。

国际摄影测量与遥感学会 (ISPRS) 在 1988 年对摄影测量与遥感下的定义为:“摄影测量与遥感乃是对非接触传感器系统获得的影像及其数字表达进行记录、量测和解译的过程获得自然物体和环境的可靠信息的一门工艺、科学和技术”。简言之,它乃是影像信息获取、处理、分析、解译和应用的一门技术科学。

摄影测量学的主要任务是从理论上研究摄影像片与所摄物体之间的内在几何和物理关系。利用这种几何关系可以确定被摄物体的形状、大小、位置等几何特性;利用它们之间的物理关系可以判定所摄物体的性质,作出正确的解译。为了实现上述目的,还需要从技术上研究和制造出摄影像片获取和处理的仪器、材料和作业方法。

可以从不同角度对摄影测量学进行分类:按距离远近分有航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量;按用途分有地形摄影测量与非地形摄影测量。地形摄影测量主要用于测绘国家基本地形图、工程勘察设计和城镇、农业、林业、地质、水电、铁路、交通等部门的规划与资源调查用图或建立相应的数据库。非地形摄影测量是将摄影测量直接用于工业、建筑、考古、变形观测、公安侦破、事故调查、军事侦察、弹道轨迹、爆破、矿山工程以及生物和医学等各个方面的一门技术科学;按技术处理方法分,则有模拟法摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。模拟法摄影测量是用光学和机械方法模拟摄影成像过程,通过摄影过程的几何反转建立缩小了的几何模型,在此模型上量测便可得到所需的各种图件(主要是地形原图)。解析摄影测量是用计算的方法在计算机中建立像点坐标和物点坐标之间的几何关系,所量测的结果先贮存在电子计算机中,再通过数控绘图仪绘出图来。数字摄影测量则是解析摄影测量的进一步发展,包括摄影测量的数字测图和以数字(化)影像为出发点的全数字化摄影测量,是摄影测量的发展方向。

第二节 摄影测量学的发展历史

说到摄影测量学的发展历史,利用透视画法徒手草绘地图,当数我国最早。长沙马王堆汉墓中出土的一幅 96cm × 96cm 的正方形地形图是世界上发现的最早的一幅地图。

它的比例尺为 1:18 万，大约绘制于公元前 168 年。

1759 年德国的自然科学家兰贝特 (J.H.Lambert) 在他的著作中 (Freyen 透视画法·第八章) 系统地阐述了中心透视的反转，从而提出了摄影测量学的第一个理论根据。只有在尼普斯 (J.H.Niepcé) 和达盖尔 (J.L.M.Daguerre) 懂得制作可用的照片和阿拉戈 (F.Arago) 于 1839 年发明了摄影术之后，摄影测量学才开始获得真正的意义。

《环球》杂志 1982 年第 1 期上有趣地介绍了世界上第一张照片的由来：1839 年 8 月 15 日，法国科学院大厅向世界展出了第一张光学照片，轰动巴黎。巴黎人物肖像画家纷纷上书法国政府，要求取缔之。德国报刊也愤怒抨击说：“把镜子里面漏掉的形象抓回来”、“简直是无稽之谈”，“这项发明是亵渎神明，是欺骗。”事实上，正是从这里，引出了当今的摄影测量与遥感科学。

不妨看看达盖尔发明摄影术的过程。1826 年，达盖尔用涂有沥青的锡片作底片，在太阳下曝光 8 小时，露光部分变硬，未露光部分变软。然后用熏烟草花油和松节油冲洗，首先显示出庄园和景色照片。1380 年，他正使一张片子感光，忽然太阳被云遮住了，他只好把感光不足的薄片子放在化学药品柜内，三天后取片时，发现照片异常清晰。当时，他取出柜中所有的化学药品，甚至连温度计里的水银也倒出来化验，以便证实他的发现是否可靠。他使碘化银薄片短时间感光，然后放入稀释水银溶液中显影，再用苏打碱溶液冲洗定影，最后获得清晰照片，诞生了世界上第一张照片。

真正的摄影测量学创始人一般公认为法国陆军上校劳赛达特 (A.Laussedat)，他在 1851 至 1859 年之间，首先创造了适合于摄影测量用的摄影仪器和作业方法。该方法是利用从一条“基线”的两端点摄取的某一物体的两张像片，从这两张像片向每个要测定的点引出方向线，通过这种“交会摄影测量”就可以以点的形式表达出所摄的整个物体。差不多同时，德国的迈登鲍尔 (A.Meydenbauer) 根据建筑物的两张像片，用交会法进行了第一次建筑物摄影测量的试验。他还于 1885 年在柏林建立了普鲁士测量像片馆作为建筑物图像档案馆。最初的这种摄影测量仅处理地面的正直摄影，用作建筑物摄影测量，而并不是首先用作地形测量。

在此期间，从空中拍摄地面照片的航空摄影并行不悖地发展着。1858 年法国摄影师纳达尔 (Nadar) 乘坐气球在巴黎郊外 80m 上空拍摄了世界上第一张航空像片。1860 年 10 月 13 日，美国人布莱克 (Black) 利用湿板拍摄了波士顿的航空像片，1885 年法国人又从 2000 英尺高度的气球上拍摄了巴黎的航空像片。1906 年美国旧金山地震引起了大火灾，劳伦士 (Rorence) 用 17 只风筝吊着巨型相机，用 $18\frac{3}{4} \times 48$ 英寸的大底片从空中拍摄了照片。到本世纪初，怀特兄弟发明了飞机，飞机制造业突起，利用飞机进行航空摄影成为可能，一张法国炮兵阵地的航空像片就是在轻质飞机上拍摄的。

如何用像片来建立和量测被摄物体的位置、形状和大小呢？在摄影测量发展的早期阶段，限于当时的计算技术，不可能对摄影测量的复杂几何关系直接计算，因此，人们只好依赖当时的光学和机械学技术，来重建经缩小的摄影时的几何模型，这样摄影测量使以模拟法起步了。

摄影测量学发展的早期阶段（19 世纪末到第一次世界大战前）中，一些欧洲学者曾做出了基础的贡献。德国的芬士特瓦尔德（S.Finsterwalder）利用投影几何原理提出了空间后方交会和像片对的相对定向和绝对定向概念；奥地利的向甫鲁（T.Scheimpflug）提出像片纠正、双像投影测图仪以及辐射三角测量的概念。耶拿蔡司厂的普弗里希（C.Pulfrich）提出了立体观测的量测原理，并于 1901 年制造了立体坐标量测仪，在德国被称为“立体摄影测量之父”；1909 年根据奥雷尔（E.Von Orel）的建议，蔡司厂制成立体自动测图仪（Stereonautograph），可对理想像对进行测图，至今仍可用于地面摄影测量。

第一次世界大战格外加速了航空摄影测量事业的发展，摄影机日趋成熟和完善。在第一次世界大战中，热情的英国飞行员带着相机上天，拍下了照片，并绘制出战壕分布位置。尽管英国官方说“绘制战壕位置分布图不是英国皇家空军干的事”，但空中摄影的明显优点和价值不得不使英国官方很快改变了调子。第一台航空摄影机是第一次世界大战期间在美国由巴格莱（Bagleg）和布洛克（Brock）制造的。

在两次世界大战之间的 20 年中，有五、六家欧洲光学仪器公司发展了丰富多彩的模拟仪器结构和新式的摄影镜头。1919 年尼斯特里（U.Nistri）在罗马开始制造双像投影仪器，称为像片测图仪（Photocartograph），并于 1922 年投入生产作业。1920 年由海德（Heyde）制造的第一台自动测图仪（Autokartograph）完工，开创了威特厂系列航测仪器的起点。1923 年，蔡司厂造出了立体测图仪（Stereoplanigraph C5）。

在此同时，作业方法也有相应的研究和发展。在向甫鲁和芬斯特瓦尔德工作的基础上，格鲁伯（O.Von Gruler）首创辐射三角测量和空中三角测量法。每像对取 6 个标准定向点就是他提出的，故称格鲁伯点。在这期间航空摄影测量得到了迅速发展。随着 30 年代多倍仪的普及。多倍仪空中三角测量和多倍仪测图技术，为中、小比例尺地形测图提供了既快又省的途径。除了测制地形图外，航测也积极用于林业和地质等其它专业中。

20 世纪 30 年代，苏联发展了将平面位置和高程分别求解的分工法方法，采用立体坐标量测仪、立体量测仪和单投影器这些结构简单、造价低廉的仪器。分工法在苏联和我国建国初期的中、小比例尺测图中曾得到广泛应用。

在第二次世界大战和朝鲜战争中，航空摄影用来进行大量的侦察活动，包括用长焦距摄影机在高空无人驾驶飞机上的侦察摄影。

战后在 20 世纪 50 - 60 年代，随着精密机械技术的成熟，模拟型摄影测量仪器的品种繁多，性能优良，达到了高峰。但是到了 20 世纪 70 年代之后，随着电子计算机技术的普及，解析测图仪有了飞速的发展和极大的应用价值。人们不再去设计新的模拟测图仪了，而只是简化主机，发展仪器与计算机相连接的外围设备，如记录装置、电子绘图仪和正射投影仪等等。这以后模拟法摄影测量逐步让位于解析摄影测量。

随着电子计算机的问世，人们自然会想到如何用电子计算机来完成摄影测量中复杂的几何解算和大量的数值计算。

其实，早在 20 世纪 50 年代，当欧洲在发展模拟测图仪的时候，美国人丘奇

(E. Church) 便开始用手摇计算机来发展解析的迭代计算方法。德国人施密特 (H. Schmid) 在美国工作时建立了解析摄影测量的基本理论, 并于 1957 - 1958 年提出了进行空间区域三角测量的光束法平差的思想。电子计算机在摄影测量中的应用是从解析空中三角测量起步的。首先是在 20 世纪 60 年代推广的航带法平差和航带法区域网平差, 如加拿大的舒特 (Schut) 和我国王之卓, 随后在 20 世纪 70 年代初期, 由阿克曼 (F. Ackermann) 等人发展了独立模型法平差。随着电子计算机容量增大和速度加快, 各种光束法区域网平差也相继问世。在 70 - 80 年代, 围绕如何提高摄影测量测定点位的精度和可靠性, 人们又集中研究和解决了系统误差补偿和粗差剔除的问题。目前的发展是在空中三角测量中如何利用 GPS 全球定位系统的问题。

当电子计算机问世不久, 海拉瓦 (Helava) 就于 1957 年提出了解析测图仪的思想。当时, 由于电子管计算机体积庞大, 稳定性差, 人们对这种用“数字导杆”来取代早已完善的机械导杆抱怀疑态度。但是, 经过一段时间的研究之后, 在电子计算机飞速进步下, 到了 70 年代, 解析测图仪便以明显优于模拟测图仪的特点而正式登台, 走上了商用阶段。1976 年联邦德国蔡司厂 (Oberkochen) 首次推出了 Planicomp C100 解析测图仪。1980 年瑞士威特厂和克恩厂也相继推出了 AC1, BC1, AC2 和 BC2 以及 DSR1, DSR11 型解析测图仪。蔡司厂也形成了 C100, C110, C120, C130 系列解析测图仪。解析测图仪的价格逐步达到与一级精度模拟测图仪相近的价格, 使它在全世界获得广泛的应用。

解析测图仪是世界上首先实现测量成果数字化的仪器, 在机助测图软件控制下, 将在立体模型上测得的结果首次存在计算机中, 然后再传送到数控绘图机上绘出图件。这种以数字形式存贮在计算机中的地图, 构成了测绘数据库和建立各种地理信息系统的基础。

为了使解析测图仪量测得到的数字地图更好地满足建立数据库和建立地理信息系统的要求, 自 1987 年来, 这类仪器已发展到以数据库管理系统控制下的数据采集工作站的第三个发展阶段。例如蔡司厂生产的 P1、P2、P3 型解析测图仪乃是在 PHOCUS 这一航测与制图通用数据库系统下进行数据采集; 威特厂和 Prime 公司联合推出的 System - 9 以面向特征的数据库管理系统为中心, 且在该系统上可配有 BC3 解析测图仪的 P 工作站 (摄影测量工作站), 或实现地图数字化的 D 工作站, 以及图形编辑的 E 工作站; 克恩厂的 DSR - 15 等解析测图仪也与相应的地学信息系统 INFOCAM 相连接。这样一来, 摄影测量就成为地理信息系统获取基础数据和更新数据的重要手段。

与此同时, 解析正射投影仪也相继问世, 主要有蔡司 Z - 2 型和威特厂 OR - 1 型两种。它们为起伏地区制作正射像片提供了可能。

解析摄影测量的发展, 使得非地形摄影测量不再受模拟测图仪的限制, 而有了新的生命力, 其中尤其是近景摄影测量。它通过对所测目标进行各种方式摄影来研究和监测其外形和几何位置, 包括不规则物体的外形测量, 动态目标的轨迹测量, 燃烧爆炸与晶体生长, 病灶变化与细胞成长等不可接触物体的测量, 广泛应用于建筑工程、地质、考古、医学、生物、交通事故、公安侦破、汽车制造、采矿、冶金、船舶安装、结构物变形、粒子运动等方面。

解析摄影测量的进一步发展是数字摄影测量。从广义上讲,数字摄影测量指的是从摄影测量和遥感所获取的数据中,采集数字化图形或数字/数字化影像,在计算机中进行各种数值、图形和影像处理,研究目标的几何和物理特性,从而获得各种形式的数字产品和目视化产品。这里的数字产品包括数字地图、数字高程模型 (DEM),数字正射影像、测量数据库、地理信息系统 (GIS) 和土地信息系统 (LIS) 等;这里的目视化产品包括地形图、专题图、纵横剖面图、透视图、正射影像图、电子地图、动画地图等。

获得数字化图形的方法是在计算机辅助和计算机控制的摄影测量工作站上借助机助制图软件完成的。也可以直接在更高级的数据库系统下进行数据采集,对采集的数据一般要经过图形编辑工作站上的编辑加工和质量检查。

获得数字/数字化影像的方法,一是直接用数字摄影机 (如 CCD 阵列扫描仪或矩阵摄影机) 和各种数字式扫描仪获得,称为数字影像。另一种方法则是用各种数字化扫描仪对已得到的像片影像进行扫描。对数字/数字化影像在计算机中进行全数字化数字处理的方法称为“全数字化摄影测量”,在美国又称软拷贝摄影测量。它包括自动影像匹配与定位,数字影像判读两大部分。前者是对数字影像进行分析、处理、特征提取和影像匹配。然后进行空间几何定位,建立高程模型和获得数字正射影像,所获得的目视化产品则为等高线图和正射影像图。由于这种方法能代替人眼观测立体的过程,故而是一种计算机视觉方法。后者是解决对数字影像的定性描述,并称数字图像分类。低级的分类方法基于灰度、特征和纹理等,多用统计分类方法;高级的图像理解则基于知识,构成分类专家系统。由于这种方法目的在于代替人眼识别和区分目标,是一种比定位难度更高的计算机视觉方法,因此,全数字化摄影测量是一项高科技研究领域。

全数字化摄影测量一般分为在线和离线两种方式。如果在一台解析测图仪上加上 CCD 数字摄影机和相应的数字摄影测量软件,便构成了边数字化边处理的在线自动化摄影测量系统。这类系统在 60-70 年代就为美国军方使用。这里可以提一下阿克曼教授在 1985 年研制成功的数字表面模型自动量测系统。这是一种基于最小二乘匹配 (LSM) 和基于特征匹配 (FBM) 相结合的在线影像匹配方法,是在蔡司厂的解析测图仪 (C 系列或 P 系列) 上加上两个 CCD 摄影机构成的。它能够高精度测点和自动建立数字表面模型,与蔡司厂一起推出的产品称为 Indu surf, 可达到 0.1 子像素精度,主要用于汽车工业中的形体测定。

离线的数字摄影测量系统是利用功能强大的电子计算机系统或工作站对数字化影像进行处理的,如海拉瓦博士研制的 HAI750 是在 SUN-4/470 计算机工作站上进行数字图像加工,包括图像增强、纠正、点量测、细化、内定向、外定向、边缘增强和提取、立体、单像及屏幕劈开显示等。该系统用分层次松弛相关方法自动建立数字高程模型并进而获得正射数字影像,每秒钟可量测到最多 100 个点,成功率一般为 80~95%,是目前世界上较成功的一个系统。武汉测绘科技大学王之卓教授和张祖勋教授经过多年研究的 WUDAMS 全自动化数字测图系统也属于这种类型,其相应的软件已有 SODAMS-I 型和 II 型,在 SGI 工作站上可达到每秒 250 点的速度。阿克曼教授等研制的 MATCH-T 也是用于地形测量的自动影像匹配软件。

数字摄影测量的发展还导致了实时摄影测量的问世。所谓实时摄影测量，是用 CCD 等数字摄影机直接对目标进行数字影像获取，并直接输入计算机系统中，在实时软件作用下，立刻获得和提取需要的信息，并用来控制对目标的操作。这种实时摄影测量系统主要用于医学诊断、工业过程控制和机器人视觉方面。在陆地车载或空中机载、星载系统中，利用 GPS 定位技术和 CCD 摄像技术可以实地直接为 GIS 采集所需要的数据和信息，对军用和民用均有极大意义。

综上所述，摄影测量学经历了模拟法、解析法和数字化三个发展阶段，因此，航测与遥感专业的学生将学习基础摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。但是从学科的发展看，三者之间是有机联系在一起的。

第三节 影像信息科学的形成与内容

上面我们简要地介绍了摄影测量自身发展的三个阶段，本节将进一步论述摄影测量、遥感与地理信息系统三者之间的结合，并导致了一门信息科学分支——影像信息科学的崛起。

一、摄影测量与遥感的结合

自从苏联宇航员加加宁上天之后，在 20 世纪 60 年代，航天技术迅速发展起来。美国地理学者首先提出了“遥感”这个名词，用来取代传统的“航片判读”这一术语，随后便得到广泛使用。遥感的含义是一种探测物体而又不接触物体的技术。20 世纪 70 年代，美国地球资源环境监测方面效率很高，很快在全世界得到重视，为多种学科所采用。

遥感技术对摄影测量学的冲击和作用，首先在于它打破了摄影测量学长期来过分局限于测绘物体形状与大小等数据的几何处理，尤其是航空摄影测量长期来只偏重于测制地形图的局面。在遥感技术中除了使用可见光的框幅式黑白摄影机外，还使用彩色、彩红外摄影、全景摄影、红外扫描仪、多光谱扫描仪、CCD 阵列扫描和矩阵摄影机、合成孔径侧视雷达等手段。特别是诸如美国即将在 1995 年发射的 EOS 地球观测系统空间站，其高分辨率成像光谱仪有 192 个波段，加上其微波遥感 EOS-SAR，基本上覆盖了大气窗口的所有电磁波范围。它们将提供十分丰富的影像信息。空间飞行器作为平台，围绕地球的长期运行，为我们提供大量的多时域、多光谱、多分辨率的丰富影像信息。而且，所有的航天遥感传感器也可用于航空遥感。正由于遥感技术对摄影测量学的作用，在 1980 年汉堡大会上，国际摄影测量学会正式更名为国际摄影测量与遥感学会（ISPRS），包括中国在内的世界各国也有相应的变动。

进入 20 世纪 80 年代，遥感技术的新的突破再次显示了它对摄影测量的巨大作用。首先是航天飞机作为遥感平台或发射手段，可重复使用和返回地面，大大提高了遥感应

用的性能价格比。更重要的是许多新的传感器的地面分解力（空间分辨率）、辐射分辨率（灰度级数目）、光谱分辨率（光谱带数）和时间分辨率（重复周期）都有了很大提高。仅以地面分解力为例，Landsat 卫星的 MSS 图像，像素在地面大小为 79m，而 1983—1984 年的 Landsat4、5 上的 TM（专题制图仪）图像则为 30m。在 1991 年发射的 Landsat6、7 的 ETM（增强专题制图仪）图像则可达到 15m。欧洲空间局（ESA）1983 年 12 月发射的航天飞机载空间试验室（SPACELAB），利用德国蔡司厂 30mmRMK 相机，取得 1:80 万航天像片，地面分辨率为 20m（每毫米线对），相当于像元素地面大小为 8m。1984 年美国宇航局发射的航天飞机载有大像幅摄影机 LFC，其像幅为 $23 \times 46\text{cm}^2$ ，其地面分辨率为 15m，相当于 6m 像素。1986 年 2 月和 1990 年法国发射的 SPOT-1、2 卫星，利用两个 CCD 线阵列构成数字式推扫仪，像素地面大小对全色为 10m，通过侧向镜面倾斜可获得基线/航高比达到 1—1.2 的良好立体影像，从而可采集 DEM 和立体测图，并可制作正射影像，也可用作 1:5 万地图测制或修测。SPOT 影像在海湾战争中得到广泛应用。前苏联的 KFA-1000 航天像片，相当于像素地面大小为 4m，分辨率极高。计划在 1996—1997 年，美国将发射 1—3m 分辨率遥感商用卫星。此外，作为主动遥感的侧视雷达进行地球海洋和陆地资源遥感也极有发展前途。1978 年美国海洋卫星 SEASAT 的合成孔径雷达 SAR 系统，尽管只工作了三个月，它不仅可用来测量全球海洋动力学及其物理特征，而且对陆地的地质构造、土地利用也很有价值。作为航天飞机成像雷达，1981 年的 SIR-A 和 1984 年的 SIR-B，尤其令人振奋。前者显示了微波对超干旱地区散沙覆盖的穿透能力，测定出埋在流沙下面几厘米甚至 1m 处的流溪、渠道和基岩；后者用以研究雷达不同参数的效果，探查淹没的古城、冰山，估计断层地震的可能性及寻找地下水源等，在 1991/1992 年发射的 SIR-C/X-SAR 采用 L-、X- 和 C- 波段成像，将构成彩色雷达。日本于 1991 年发射的地球资源卫星 ERS-1 上的侧视雷达分辨率可达到 18m，而加拿大的 RADARSAT 最高分辨率定为 10m，这就为遥感影像的定性和定量分析创造了条件。在今天和未来，利用空间影像测图已是一种重要途径。

从另一方面讲，我们也应当看到解析摄影测量，尤其是数字摄影测量对遥感技术发展的推动作用。众所周知，遥感图像的高精度几何定位和几何纠正就是解析摄影测量现代理论的重要应用。数字摄影测量中的影像匹配理论可用来实现多时相、多传感器、多种分辨率遥感图像的复合和几何配准。自动定位理论可用来快速、及时地提供具有“地学编码”的遥感影像。摄影测量的主要成果，如 DEM，地形测量数据库和专题图数据库，乃是支持和改善遥感图像分类效果的有效信息。至于像片判读和图像分类的自动化和智能化，则是摄影测量和遥感技术共同研究的课题。一个现代的数字摄影测量系统与一个现代的遥感图像处理系统，已看不出什么本质差别了。

事实上，包括像片判读在内的摄影测量学历史，就是遥感发展的历史；而遥感技术则是经典摄影测量的必然扩展。两者有机地结合起来，成为 GIS 技术中的数据采集和更新的重要手段。

二、摄影测量、遥感与地理信息系统（GIS）的结合

由于数字测图、全数字化摄影测量和遥感图像处理技术的发展需要有一个数据库或空间信息系统来存贮、管理这个数字数据，并与其它非图形的专题信息相结合、进行分析、决策，以回答用户所要回答的有关问题。图 4-1-1 列出了一个地理信息系统的基本组成与应用。由于地理信息系统（GIS）和土地信息系统（LIS）都是与物体的空间位置和分布有关。都是属于空间信息系统的某种特定形式，这就是摄影测量和遥感技术必然与地理信息系统相结合的原因。

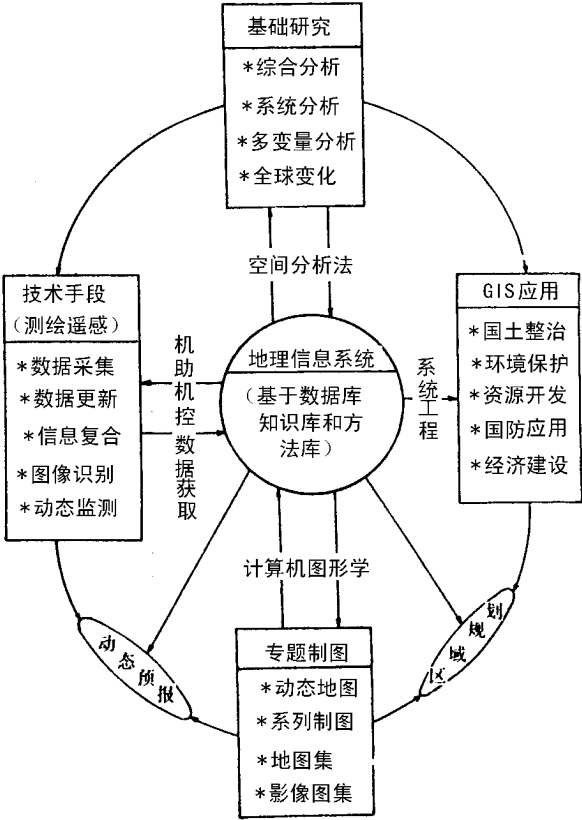


图 4-1-1 地理信息系统的组成与用途

其实，早在 20 世纪 60 年代，当 GIS 这个术语在加拿大被首先采用时，就是与加拿大政府的测绘机构密切关联的，而作为土地信息系统，乃是地籍测量的自动化、数字化产品。1956 年，奥地利政府开始研究计算机在自动化地籍测量中的应用。1974 年在第 14 届国际测量师联合会（FIG）代表大会上，第一次给出了 LIS 的定义，这是测绘与

GIS/LIS 的历史联系渊源。

在摄影测量与遥感的历史上，早就确定了 GIS 的历史地位。1968 年，美国摄影测量学会就首先利用 GIS 这个术语，可见国际摄影测量与遥感学会是属于最早研究 GIS 的国际学术组织。

1980 年在汉堡会议上已经将第Ⅳ委员会名称改为“摄影测量与遥感的制图和数据库应用”。

1984 年—1988 年期间，ISPRS 建立了一个跨第Ⅲ和第Ⅳ专业委员会的工作组，由美国 Rox Welch 教授任组长，工作组名为“计算机图形学、数字方法和土地信息系统”，该工作组研究范围包括数据采集、数据结构、栅格和矢量法的结合、GIS 设计和生成及 GIS 中的数据模型等。

在 1988 年日本京都召开的 ISPRS 第 16 届大会上，第Ⅲ和第Ⅳ专业委员会的决策案非常明显地强调了地理信息系统技术，结果是由中国主持的第Ⅲ委员会建立了五个与 GIS 密切关联的五个工作组，即工作组Ⅲ/1:地理信息理论；工作组Ⅲ/2:利用影像分析实现目标重建和定位；工作组Ⅲ/3:从数字影像中提取专题信息；工作组Ⅲ/4:基于知识的系统；工作组Ⅱ/Ⅲ:数字摄影测量系统的设计与算法研究，这就远远超出了仅仅为 GIS 采集原始数据的初级阶段，而成为包含 GIS 数据模型、数据和数据库结构、知识表达、地理数据的质量分析和动态模型化等属于空间信息系统的深层次内容了。同样，第Ⅳ委员会的工作组Ⅳ/5 就以 GIS 命名，它也处理 GIS 理论、数据采集、管理和应用。

第Ⅳ委员会的研究内容充分反映了遥感与 GIS 的相互结合与相互作用。遥感愈来愈成为 GIS 采集数据和更新数据的重要手段，而 GIS 的信息将对遥感数字图像处理 and 自动分类起着重要的作用。遥感与 GIS 相结合的问题已经研究了几个发展阶段，在起初，各种专题图或地形图是通过对遥感影像的几何纠正和目视判读制作出来，然后通过图件数字化方式送入 GIS 中。到了 20 世纪 70 年代中期，则研究如何由遥感影像中自动提取各种专题信息（栅格数据），然后再将它们变成矢量数据送入 GIS 中，现在，则立足于直接建立集遥感处理系统与 GIS 为一体的完善系统。

美国摄影测量与遥感学会强烈支持把 GIS 作为今后和未来的科学范畴之一，每年的年会总是与 GIS 大会一起联合召开，荷兰 ITC 已经建立了将航测、制图与 GIS 相结合的新专业——地学信息工程（Geoinformatics），加拿大拉瓦尔大学和卡尔加里大学的专业也作了类似改动（改为 Geomatics），我国武汉测绘科技大学的“信息工程”新专业也已不失时机地建立起来了。

总之，摄影测量、遥感与地理信息系统的结合是历史发展的必然。

三、影像信息科学的崛起

摄影测量、遥感与地理信息系统技术的结合，导致了一门新的信息科学分支——影像信息科学的崛起。

什么是影像信息科学呢？按照王之卓教授的定义，影像信息科学是一门记录、存

贮、传输、量测、处理、解释、分析和显示由非接触传感器获得的目标及其环境的科学、技术和经济实体。

可以用图 4-1-2 形象地概括影像信息科学的组成与相互关系, 可以看到, 影像信息获取、处理、加工和结果表达的整个过程是互相有机地联系起来, 它既包含了模拟法、解析法和数字摄影测量, 又包含了遥感与信息系统。

应当说, 影像信息科学是由摄影测量学、遥感、地理信息系统、计算机图形学、数学图像处理、计算机视觉、专家系统、航天科学和传感器技术等相结合的一个边缘学科, 它提供了基于影像认识世界和改造世界的一条途径, 因而具有无限的生命力。

图 4-1-2 中还列出了与影像信息密切有关的专业课程和专业基础课程 (图中用 * 号表示), 从中看出, 影像信息科学是信息科学中的一门高新技术。

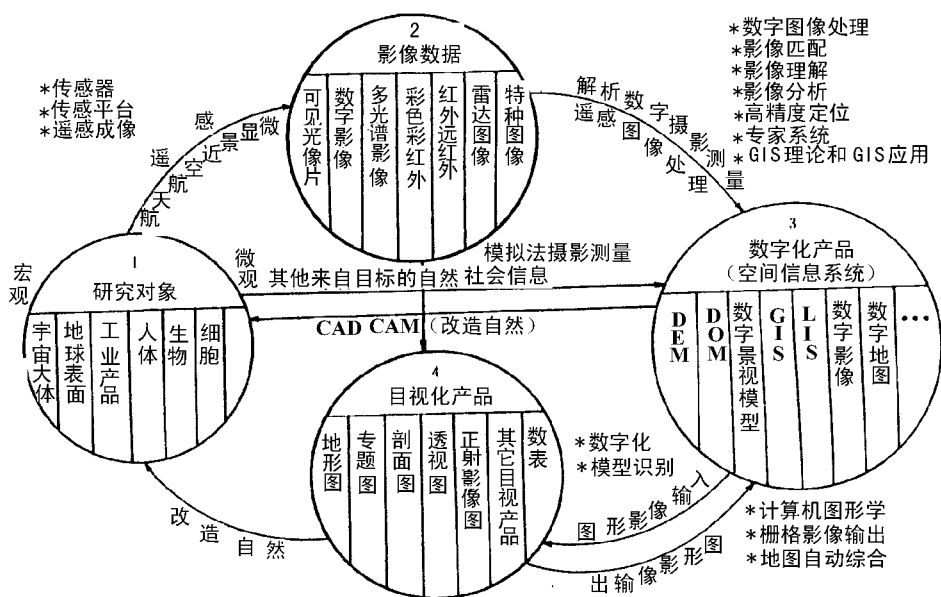


图 4-1-2 影像信息科学的组成与相互关系

在本书中, 主要讲述摄影测量学的基本原理和用模拟方法进行摄影测量的仪器和方法, 即图 4-1-2 中的回路 1-2-4。这样可以使读者从较直观的概念上掌握本学科的基本知识, 并为进一步学习《解析摄影测量》和《数字摄影测量》打下坚实的基础。

第二章 航空摄影测量技术与应用

第一节 航空摄影

一、航空摄影

采用摄影测量方法测制地形图，必须对测区进行有计划的空中摄影。将航摄仪安装在航摄飞机上，从空中一定的高度上对地面物体进行摄影，取得航摄像片。运载航摄机的飞机飞行的稳定性要好，在空中摄影过程中要能保持一定的飞行高度和航线飞行的直线性（见图 4-2-1）。飞机的飞行航速不宜过大，续航的时间要长，实施飞行直至把整个航摄区域摄影完毕，经过室内摄影处理（显影、定影、水洗、晾干等），从而得到了覆盖整个航摄区域的航摄像片。目前所采用的像幅大小有两种：一种是 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 的像片，另一种是 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 的像片（也称大像幅的像片）。

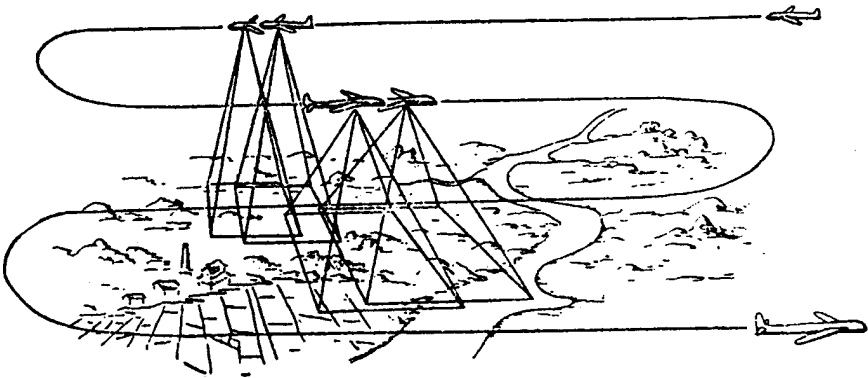


图 4-2-1 航摄飞行航线

以测绘地形为目的的空中摄影多采用竖直摄影方式，要求航摄机在曝光的瞬间物镜主光轴保持垂直于地面。实际上，由于飞机的稳定性和摄影操作的技能限制，航摄机主光轴在曝光时总会有微小的倾斜，按规定要求像片倾角应小于 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，这种摄影方式称

为竖直摄影。

竖直航空摄影可分为面积航空摄影、条状地带航空摄影和独立地块航空摄影三种。面积航空摄影主要用于测绘地形图，或进行大面积资源调查。条状地带航空摄影主要用于公路、铁路、输电线路定线和江、河流域的规划与治理工程等。它与面积航空摄影的区别一般只有一条或少数几条航带。独立地块航空摄影主要用于大型工程建设和矿山勘探部门。这种航空摄影只拍摄少数几张具有一定重叠度的像片。

二、摄影比例尺的选择

摄影比例尺是指空中摄影计划设计时的像片比例尺。航摄比例尺的选取要以成图比例尺、测区地形、摄影测量内业成图方法和成图精度等因素来考虑选取，另外还要考虑经济性和摄影资料的可使用性。摄影比例尺可分为大、中、小三种比例尺。为充分发挥航摄负片的使用潜力，考虑上述因素，一般都应选择较小的摄影比例尺。航空摄影中航摄比例尺与成图比例尺之间的关系可参照表 4-2-1 确定。

表 4-2-1 航摄比例尺与成图比例尺的关系

比例尺类别	航摄比例尺	成图比例尺
大比例尺	1:2000 ~ 1:3000	1:500
	1:4000 ~ 1:6000	1:1000
	1:8000 ~ 1:12000	1:2000
中比例尺	1:15000 ~ 1:20000 (像幅 23 × 23)	1:5000
	1:10000 ~ 1:25000	1:10000
	1:25000 ~ 1:35000 (像幅 23 × 23)	
小比例尺	1:20000 ~ 1:30000	1:25000
	1:35000 ~ 1:55000	1:50000

应该指出，随着航摄质量的不断提高，当航摄像片只作判读，或进行旧图修测使用时，摄影的像片比例尺还可以选小一些，以便充分发挥航摄像片的作用。

三、摄影测量对空中摄影的基本要求

航摄像片质量的优劣，直接影响摄影测量过程的繁简、摄影测量成图的工效和精

度。因此，摄影测量要对空中摄影提出一些质量要求，即摄影质量和飞行质量的基本要求。其具体要求如下：

（一）摄影比例尺

在同一高度上进行空中摄影，所得像片的比例尺基本上是一致的。但由于空中气流或其他因素的影响，会使摄影时的飞机产生升或降，因而使摄影比例尺发生变化。如果相邻两像片的比例尺相差太大，则会影响像对的立体观察。相邻两像片的比例尺之差超出航测仪器结构的允许范围时，则无法在仪器上进行作业。为此，摄影比例尺的变化要有一定的限制范围。

像片比例尺是由摄影机的主距和摄影的高度（或距离）来确定的，即

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$$

式中， m 为像片比例尺分母， f 为摄影机主距， H 为摄影高度或称航高。

从（4-2-1）式看出，主距 f 、航高 H 的变化都会影响摄影比例尺的变化。对一架航摄机而言，主距是一个固定不变的常数，因此影响摄影比例尺变化的因素主要是航高的变化。

按照摄影测量要求，像片比例尺分母的相对误差一般不应超过 5% 的规定。因此，空中摄影时飞行航高 H 的变化量 ΔH （也称航高差）应限制为

$$\Delta H \leq H \cdot 5\%$$

另外，测量规范还规定同一航带内最大航高与最小航高之差不得大于 30m；摄影区域内实际航高与设计航高之差不得大于 50m。

航高是指摄影飞机在摄影瞬间相对某一水准面的高度，从该水准面起算向上为正号。根据所取基准面的不同，航高可分为相对航高和绝对航高。

1. 相对航高

相对航高是指摄影机物镜相对于某一基准面的高度，常称为摄影航高。它是相对于被摄区域内地面平均高程基准面的设计航高，是确定航摄飞机飞行的基本数据，按 $H = mf$ 计算得到。

2. 绝对航高

它是相对于平均海平面的航高，是指摄影物镜在摄影瞬间的真实海拔高度。通过相对航高 H 与摄影地区地面平均高度 $A_{地}$ 计算得到

$$H_{绝} = H + A_{地}$$

（二）像片重叠度

摄影测量使用的航摄像片，要求沿航线飞行方向两相邻像片上对所摄地面有一定的重叠影像，这种重叠影像部分称为航向重叠度。对于区域摄影（即面积航空摄影），要求两相邻航带像片之间也需要有一定的影像重叠，这种影像重叠部分称为旁向重叠度。像片重叠度是以像幅边长的百分数表示。

像片的重叠部分是立体观察和像片连接所必需的条件。在航向方向必须要三张相邻像片有公共重叠影像，这一公共重叠部分称之为三度重叠部分（如图 4-2-2 所示），这是摄影测量选定控制点的要求。因此，三度重叠中的 I，III 像片的重叠部分不能太小。因为像片最边缘部分的影像，清晰度很差，会影响量测的精度。所以，一般情况下要求航向重叠度保持在 60% ~ 65%，旁向重叠度保持在 15% ~ 30%。

在摄影比例尺确定之后，航向重叠度与摄影基线的长度有关，旁向重叠度与两相邻航带之间的航带间隔距离有关。

（三）航带弯曲

航带弯曲度是指航带两端像主点之间的直线距离 L 与偏离该直线最远的像主点到该直线垂距 δ 的比，一般采用百分数表示，即

$$R\% = \frac{\delta}{L} \cdot 100\%$$

航带的弯曲会影响到航向重叠、旁向重叠的一致性，如果弯曲太大，则可能会产生航摄漏洞，甚至影响摄影测量的作业。因此，航带弯曲度一般规定不得超过 3%。

（四）像片旋偏角

相邻两像片的主点连线与像幅沿航带飞行方向的两框标连线之间的夹角称为像片的旋偏角，如图 4-2-3 所示。习惯用 k 表示。它是由于摄影时，航摄机定向不准确而产生。旋偏角不但会影响像片的重叠度，而且还给航测内业作业增加困难。因此，对像片的旋偏角，一般要求小于 6° ，个别最大不应大于 8° ，而且不能连续三片有超过 6° 的情况。

此外，还要求：底片上地物、地貌影像清晰、框标影像齐全、像幅四周指示器件（如圆水准气泡）的影像应清晰可辨，黑度及反差应符合要求，负片上不应有云影、划痕、折伤和乳剂脱落等现象。

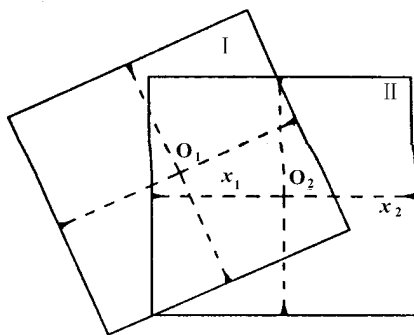


图 4-2-3 像片旋偏角

第二节 航空像片

一、中心投影与正射投影

用一组假想的直线将物体向几何面投射称为投影，其投射线称为投影射线，投影的几何面通常取平面称为投影平面，在投影平面上得到的图形称为该物体在投影平面上的投影。由于所用投影射线组遵循规律及投影射线与投影平面相关位置的不同，投影有中心投影与平行投影两种，而平行投影中又有斜投影与正射投影之分。当投影射线汇聚于一点时，称为中心投影。如图 4-2-4 中 (a) (b) (c) 三种情况均属中心投影。投影射线的汇聚点 S 称为投影中心。

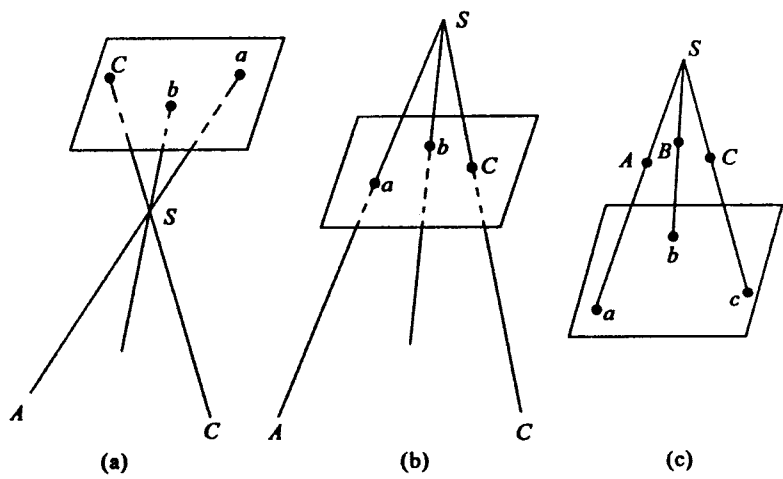


图 4-2-4 中心投影

当诸投影射线都平行于某一固定方向时，这种投影称为平行投影。平行投影中，当投影射线与投影平面斜交的称为斜投影；投影射线与投影平面正交的称为正射投影。图 4-2-5 中 (a) 和 (b) 两种情况均属平行投影，其中 (a) 为斜投影，(b) 为正射投影。测量中，地面与地形图的投影关系属正射投影。某区域的地形图为该区域的地面点在水平面（小范围内将大地水准面视为平面）上的正射投影按图比例尺缩小在图面上。摄影像片却是地面景物在像片平面上的中心投影。摄影测量要解决的基本问题，就是将中心投影的像片转换为正射投影的地形图。

二、像片上主要的点和线

由于航空摄影时，不可能严格地竖直摄影，所以像片与地面不是互相平行的。

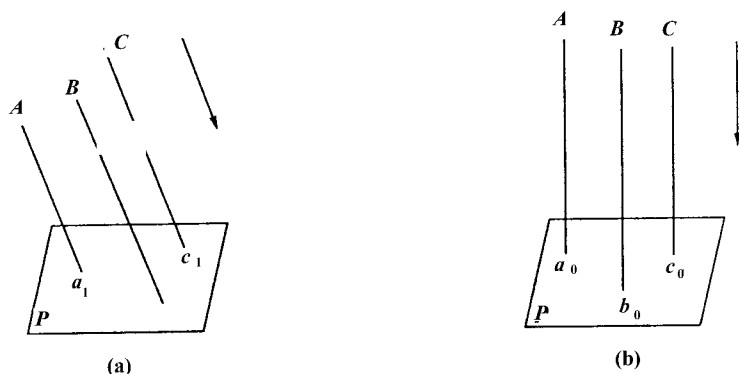


图 4-2-5 平行投影

在图 4-2-6 中, 设地面为 E , 像片为 P (即像平面) 两平面相交于直线 TT , 称为迹线。

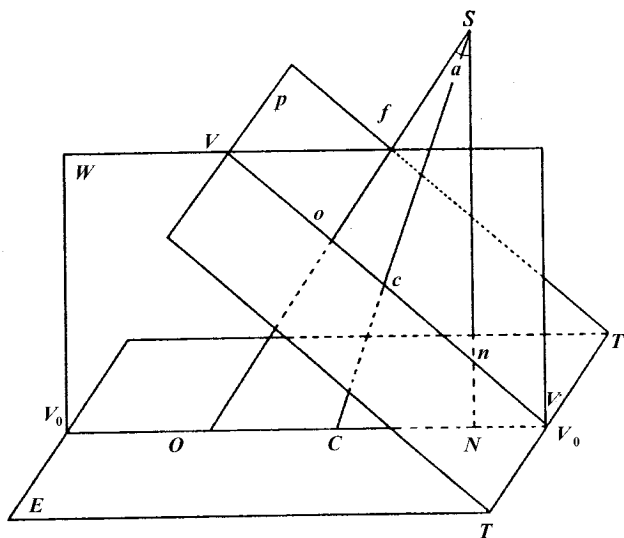


图 4-2-6 像片上主要点和线

(1) 像主点。通过镜头中心 S 而垂直于像平面 P 的直线 SO 称主光线, 它与像平面 P 的交点 O 称为像主点。 S_0 称为航摄机的主距 f 。

(2) 像底点。通过镜头中心 S 作铅垂线 SN , 称为主垂线, 主垂线 SN 与像平面 P 的交点 n 称为像底点, 与地面 E 的交点 N 称为地底点。 SN 称为摄影航高 H 。

(3) 等角点。主光线 S_0O 与主垂线 S_nN 所夹的角 α , 称为像片倾斜角。 α 角的二等分线与像片的交点 C 称为等角点。

(4) 主纵线。通过主垂线 S_nN 与主光线 S_0O 作一平面 W , 此平面称为主垂面, 既垂

直于像平面 P 又垂直于地面 E。主垂面 W 与像平面 P 的交线 VV，称为主纵线。主垂面 W 与地面 E 的交线 V_0V_0 ，称为摄影方向线。

航摄像片上的主要点线，常用的就是像主点、像底点、等角点和主纵线。除上述的主要点、线外，像片上还有方位线，即同一条航线相邻两张像片的像主点在同一张像片上的连线。

三、像点位移

根据像片和地面所处的位置不同，有三种情况：

（一）当像片和地面均为水平时的情况

由图 4-2-7 可以看出，当像片 P 和地面 E 均为水平时，则两个面是互相平行的，由相似三角形 $\triangle SAO \sim \triangle Sao$ 、 $\triangle SAB \sim \triangle Sab$ 、 $\triangle SBO \sim \triangle Sbo$ 的关系可以得出：

$$\frac{ao}{AO} = \frac{bo}{BO} = \frac{ab}{AB}$$

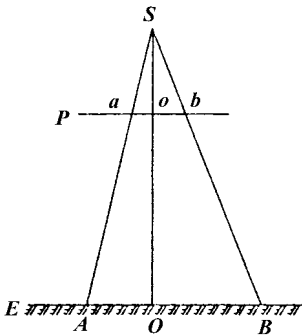


图 4-2-7 像片与地面均水平的情况

这就说明像片上各点之间的相关位置与地面上相应各点之间的相关位置都是按一定比例缩小的，此时就点的位置来说，像片具备了地形图的性质，即像片上各点间的比例尺和地形图一样是处处一致的。但是这种情况在实际作业中是少有的。

（二）当像片倾斜而地面水平时的情况

由图 4-2-8 可以看出，假定 P 为水平像片， P_1 为倾斜像片，则地面上一点 A 在两张像片上的位置就不一样，在水平像片 P 上的位置在 α 点，在倾斜像片 P_1 上的位置为 α_1 点。这种由于像片倾斜产生的像点移位，称为倾斜误差。这样就使像片上的比例尺处处不一致。在利用航摄像片测绘地形图的过程中，可以采用像片纠正的方法来消除这种误差。

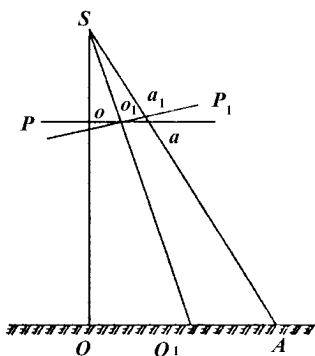


图 4-2-8 倾斜误差

(三) 当地面有起伏而像片是水平时的情况

由图 4-2-9 可以看出，由于地面起伏，地面上一点 A 高出水平面 E，A 点在 E 水平面上的垂足为 A_1 ，因此在像片上正确的投影位置应为 α_1 ，但实际上地面 A 点在像片上的位置为 α 点，这种由于地形起伏在像片上引起的像点移位 $\alpha\alpha_1$ ，称为投影误差。

设： $\alpha\alpha_1 = \delta_h$ 为投影误差；

$\alpha o = r$ 为像底点 o 到像点 α 的距离；

$A_1 O = R$ 为地面点 A 在水平面 E 上的垂足 A_1 到地底点 O 的距离；

H 为航高，即航摄仪镜头中心 S 到水平面 E 的距离；

Δh 为 A 点到水平面 E 的高差。

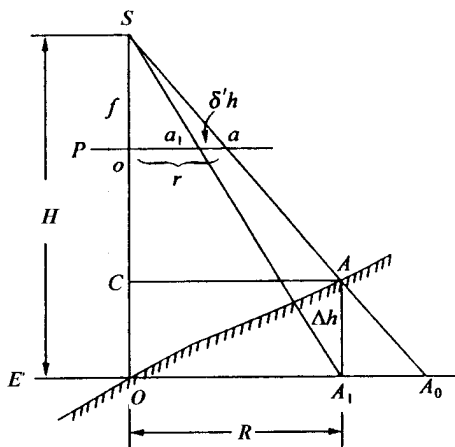


图 4-2-9 投影误差

从相似三角形 $\triangle S_{ao}$ 与 $\triangle SAC$ 中得

$$\frac{r}{R} = \frac{f}{H - \Delta h}$$

故
$$r (H - \Delta h) = fR \tag{a}$$

从相似三角形 $\triangle Sa_1o$ 与 $\triangle SA_1O$ 中得

$$\frac{r - \delta h}{R} = \frac{f}{H}$$

故
$$H (r - \delta h) = fR \tag{b}$$

因 (a) 与 (b) 的等式右边相等

$$r (H - \Delta h) = H (r - \delta h)$$

故
$$\delta h = \frac{r\Delta h}{H}$$

上式即为投影差计算公式。

这种误差可根据控制点由内业采用分带纠正或分带投影转绘的方法，将投影误差限制在一定范围内。在单张像片测图中，可在测站上进行改正。

第三节 人造立体与立体观察

一、人眼的立体视觉

人眼是一个天然的光学系统，结构复杂，图 4-2-10 表示人眼结构的示意图。它好像一架完善的自动调光的摄影机。水晶体如同摄影机物镜，它能自动改变焦距，使观察不同远近物体时，眼网膜上都能得到清晰的物像。瞳孔好像光圈，网膜好像底片，能接受物体的影像信息。

单眼观察景物时，使人感觉到的仅是景物的中心构像，好像一张像片一样，得不到景物的立体构像，不能正确判断景物的远近。只有用双眼观察景物，才能判断景物的远近，得到景物的立体效应。这种现象称为人眼的立体视觉。摄影测量中，正是根据这一原理，对同一地区要在两个不同摄站点上拍摄两张像片，构成一个立体像对，进行立体观察与量测。

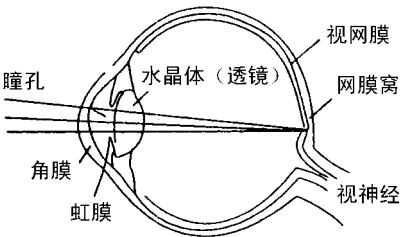


图 4-2-10 人眼结构

人的双眼为什么能观察景物的远近呢？从图 4-2-11 看出，当双眼凝视于某物点

A 时, 两眼的视轴本能地交会于该点, 此时的交会角为 γ 。同时观察 A 点附近的 B 点时, 交会角为 γ' 。由于 B 点的交会角大于 A 点的交会角, 则点 A 较点 B 远。为什么人眼能观察出这两个交会角的差异呢? 现在来研究两点在眼中的构像有什么不同。A 点在两眼, 通过水晶体中心 S_1 与 S_2 构像在两眼的网膜中央, 得到构像 a_1 与 a_2 。B 点在两眼同样构像为 b_1 与 b_2 。如果在各自网膜中各设一平面坐标系, 则 A 点的左右坐标差为 $P_a = x_{a1} - x_{a2}$ 。B 点的左右坐标差为 $P_b = x_{b1} - x_{b2}$ 。 P_a 与 P_b 均称为点的左右视差。两点的左右视差之差 $\Delta P = P_a - P_b = x_{a1} - x_{a2} - x_{b1} + x_{b2} = \overline{a_1 b_1} - \overline{a_2 b_2}$ 。 ΔP 称为左右视差较差, 而 $\overline{a_1 b_1} - \overline{a_2 b_2} = \sigma$, σ 称为生理视差, 两者是同一含义。由于两点在眼中构像存在着生理视差 σ , 此种由交会角不同而引起的生理视差, 通过人的大脑就能作出物体远近的判断。因此, 生理视差是人双眼分辨远近的根源。这种生理视差正是物体远近交会角不同的反映。

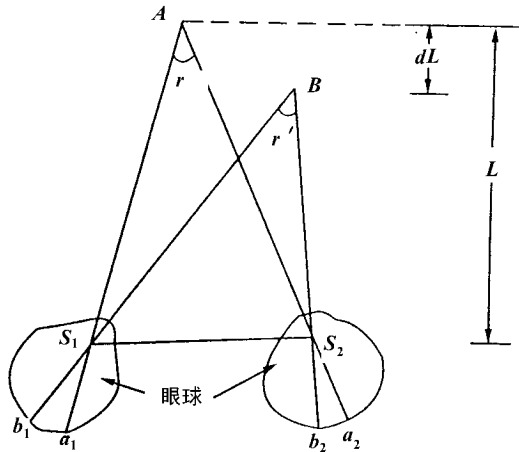


图 4-2-11 生理视差

二、人造立体视觉的产生

自然界中, 当用两眼同时观察空间远近不同的 A 与 B 两个物点时, 如图 4-2-12。由于远近不同而形成的交会角的差异, 便在人的两眼中产生了生理视差, 得到一个立体视觉, 能分辨出物体远近。根据生理视差原理, 如果在眼睛的前面各放置一块毛玻璃片, 如图中的 P_1 与 P_2 , 把所看到的影像分别记在玻璃片上, 如 a_1 和 b_1 与 a_2 和 b_2 。然后移开实物 A 和 B, 此时观察玻璃片上的 a_1 和 b_1 与 a_2 和 b_2 的影像, 同样会交会出与实物一样的空间 A 点和 B 点。同时, 两影像也在两眼中产生与实物相同的生理视差, 能分辨出物体的远近。根据这一原理, 在 P_1 与 P_2 两个位置上, 用摄影机摄得同一景物的两张像片, 这两张像片称为立体像对。当左、右眼各看一张相应像片时 (即左眼看左片, 右眼看右片), 在眼中同样产生生理视差, 就可感觉到与实物一样的地面景物存在,

能分辨出物体的远近。这种观察立体像对得到地面景物立体影像的立体感觉称为人造立体视觉。

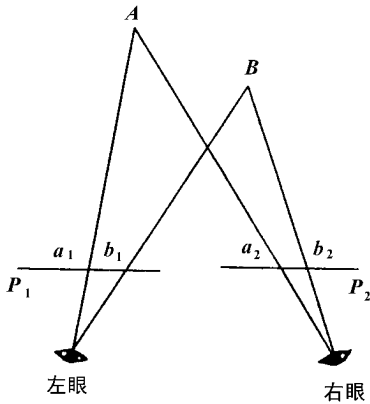


图 4-2-12 立体视觉

按照立体视觉原理，我们只要在一基线的两端用摄影机获取同一地物的一个立体像对，观察中就能重现物体的空间景观，测绘物体的三维坐标。这是摄影测量进行三维坐标测量的理论基础。根据这一原理，我们规定航空摄影中，像片的航向重叠要求达到 60% 以上，就是为了构造立体像对进行立体量测。双眼观察立体像对所构成的立体模型，是一个不接触的虚像，称为视模型。

三、观察人造立体的条件

摄影测量中，广泛应用人造立体的观察。但观察中必须满足形成人造立体视觉的条件。

- (1) 由两个摄影站点摄取同一景物而组成立体像对；
- (2) 每只眼睛必须分别观察像对的一张像片；
- (3) 两条同名像点的视线与眼基线应在一个平面内。

人造立体效能的应用使摄影测量初期的单像量测，发展为双像的立体量测，不仅提高了量测的精度和摄影测量的工作效率，更重要的是扩大了摄影测量的应用范围，奠定了立体摄影测量的基础。

人造立体效能的条件之一是每只眼睛只应观察一张像片，这违反了人们日常观察自然界景物时眼的交向本能的习惯。其次在人造立体效能中观察的是像片平面，凝视的条件要求不改变，而交向的地方是视模型，随点位的远近而异，这又违反了眼的交向本能和凝视本能同时协调的习惯。因此就有必要采取某种措施来帮助完成人造立体效能应具备的条件和改善眼的视觉本能的状况。

四、立体观察方法

立体观察是一项很重要的基本技能，在航测外业中也得到广泛地应用。下面介绍两种立体观察方法。

（一）用立体镜观察立体

立体镜的主要作用是一只眼睛能清晰地只看一张像片的影像。它克服了肉眼观察立体时强制调焦与交会所引起的人眼疲劳，所以得到广泛应用。最简单的立体镜是桥式立体镜，它是在一个桥架上安装一对低倍率的简单透镜，透镜的光轴平行，其间距约为人眼的眼基线距离，桥架的高度等于透镜焦距。如图 4-2-13 所示。观察时，像片对放在透镜的焦面上，这时像片上的物点光线，通过透镜后为一组平行光，使观察者感到物体在较远的距离，达到人眼的调焦与交向本能基本统一。

航摄像片像幅较大，为了便于航摄像对的立体观察，而设计的一种立体观察工具称为反光立体镜，如图 4-2-14 所示。这种立体镜在左、右光路中各加入一对反光镜起扩大像片的间距，便于置放大像幅的航摄像片。

用立体镜观察立体时，看到的立体模型与实物不一样，主要是在竖直方向夸大了，即地面的起伏变大了，这种变形有利于高程的量测。

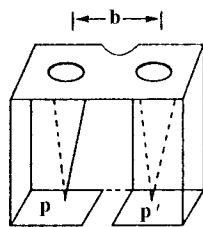


图 4-2-13 立体镜

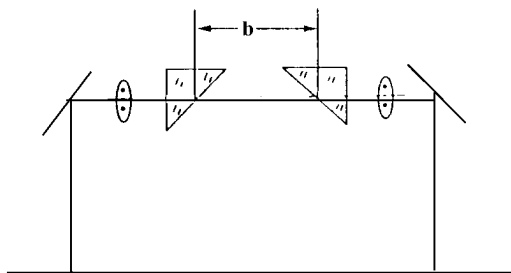


图 4-2-14 反光立体镜

（二）用双眼直接观察立体

双眼直接观察立体的技能需要作多次练习才能达到。这是因为日常生活中人眼观察

物体时是一对交会视线，而立体观察必须用近于平行而不交会的视线，使左眼只看左片，右眼只看右片的缘故。图 4-2-15 可作为双眼直接观察立体的练习。练习时，将图放在明视距离的地方，尽量做到左眼只看左边的图，右眼只看右边的图，双眼集中凝视片刻，一般来讲即会产生立体效应。图 4-2-15 (a) 为中心凹下的物体，图 4-2-15 (b、c) 为中心凸起的烟囱状物体。

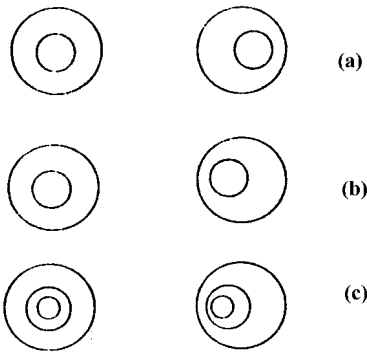


图 4-2-15 双眼直接观察立体

第四节 像片控制联测

摄影测量绘制地形图的方法有多种，按照摄影测量的理论，无论采用哪种成图方法都需要像片控制点，简称像控点。像控点的获取方法可以全野外布点测定，也可先在野外测定少量控制点，然后在室内用解析法空中三角测量加密获得内业测图需要的全部控制点。外业测定像控点的工作称为像控点的联测。经过野外像控点的联测与室内控制点的加密，就能按各种成图方法在各种成图仪器上确定地面点的平面位置和高程。

根据需要，像控点有三种情况：仅测定平面坐标的像控点称为平面控制点，简称平面点；只测定高程的像控点称为高程控制点，简称高程点；平面和高程都测定的控制点称为平高控制点，也可简称为平高点。因此，像片野外控制联测包括平面控制像片联测和高程控制像片联测。

野外像片控制测量的工作过程包括：拟定平面与高程控制测量的技术计划；实施踏勘选定像控点；像控点的刺点与整饰；控制点的联测、计算；控制成果的整理等。

一、像控点的布设

(一) 像控点位置的基本要求

航摄像片由于像点坐标误差的影响使像片边缘产生的像点位移和影像变形比中心部

分要严重。为了提高外业判读刺点和内业点位置测精度，像片所选像控点的位置距像片边缘要大于 $1 \sim 1.5\text{cm}$ 。另外，考虑到内业立体观察的效果、减少外业像控点的布设数量以及提高内业作业的定向精度，像片上像控点要距离各类标志如压平线、框标标志、片号等不应大于 1mm 。像控点应分布在航向三度重叠和旁向重叠中线附近，距离方位线要大于 $3 \sim 4.5\text{cm}$ 。

（二）像控点的布设方案

像控点的布设方案有全野外布点和稀疏布点两种。

1. 全野外布点

全野外布点是指摄影测量测图过程中所需要的控制点全部由外业测定的布点方案。

摄影测量对于不同成图方法所需像控点类型、数量及分布位置是各不相同的，现将全野外布点方案介绍如下。

（1）用于像片纠正的布点方案

在地面平坦或起伏不大的丘陵地区，用航摄像片制作像片平面图或者在像片上要把依照影像描绘的地物、地貌投影转绘到地形图上都要进行像片纠正或投影转绘。

像片纠正需要的控制点原则上只要获取平面位置，这些点可以按隔片纠正布点或每片纠正布点的方案布设。

隔片纠正布点是在隔号像片的测绘面积四角各布设一个像片平面点如图 4-2-16 所示。所谓像片的测绘面积是指每张像片上实际使用的测图范围。每片纠正布点是在高差较大、采用隔片纠正会使投影差超出允许规定而采用的布点方法。这种布点方法能缩小每次投影纠正的面积，像片上四个平面点的布点方式如图 4-2-17 所示。当需要分带纠正和分带投影转绘时则应将四个平面控制点改为平高点。

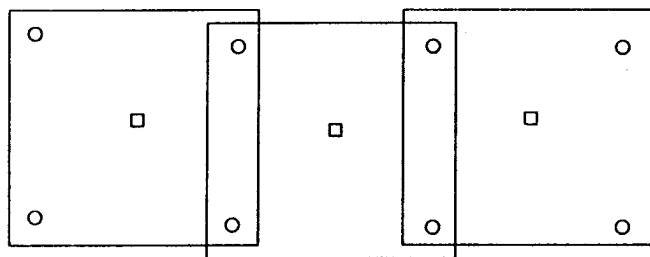


图 4-2-16 隔片纠正布点

（2）立体测图仪作业的布点方案

用立体测图仪测图每个像对至少需要两个平高点和一个高程点。因此单模型测图是在图面的四角上各布设一个平高点如图 4-2-18 (a) 所示；双模型测图是在两个立体像对图画的四角上各布设一个平高点如图 4-2-18 (b) 所示。

摄影测量内业测图需要的像控点按上述布点方式采用全野外测定虽然测定精度较高，但是由于外业控制的工作量较大，只有在测图精度要求很高的测区，地面联测条件

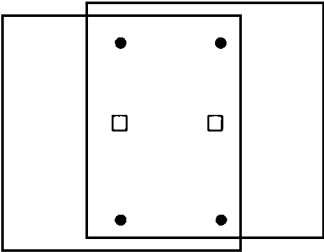


图 4-2-17 每片纠正布点

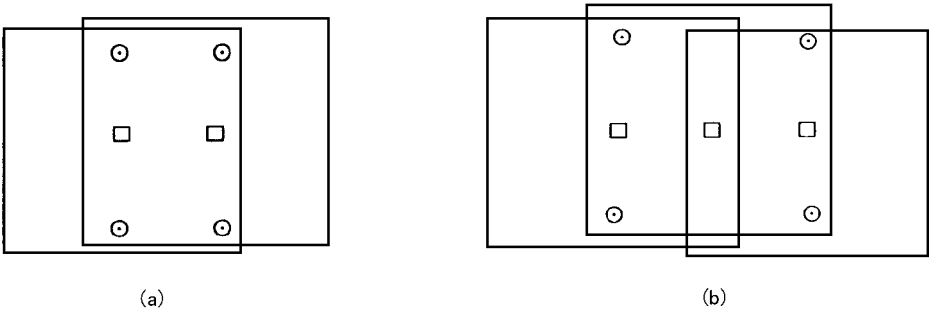


图 4-2-18 单、双模型测图布点方案

良好，或者是在小面积测图情况才选择使用。

2. 稀疏布点

稀疏布点是指在外业只测定少量控制点，其余大部分的像控点要通过内业加密手段获取的布点方案。解析空中三角测量采用的外业布点方案可按航线网布点或区域网布点进行。

(1) 航线网布点

如果以每条航线段作为独立的平差单元进行解析空中三角测量加密时，所需外业控制点的布点方案称为航线网布点。根据地形类别的不同分为下列几种情况：

六点法。它适用于山地或高山地的测图。布点时按航线分段，每条航线段首、末两端和旁向重叠中线附近各布设一对平高点，一共是三对平高点，如图 4-2-19 所示。

五点法。丘陵地区由于高程点精度比平面点精度要难达到，平面点与高程点要采用不同布点方案。在测制像幅 23cm×23cm 的 1:5 000 比例尺地形图时则以四幅图为单位布设点。平面点在航线首、末和旁向重叠中线附近按品字形布点，高程则均匀按五排布设如图 4-2-20 (a) 所示。在测制像幅 18cm×18cm 的 1:1 万地图时以两幅图为单位按图 4-2-20 (b) 所示方案外业布设像控点。

三点法 进行像片纠正和投影转绘的外业布点方案是在每条航线首、末两端和旁向重叠中线附近，按品字形布设三个平面控制点。图 4-2-21 (a) 表示测图比例尺 1:5000 以四幅图为单位的品字形布点。图 4-2-21 (b) 表示测图比例尺为 1:1 万以两幅

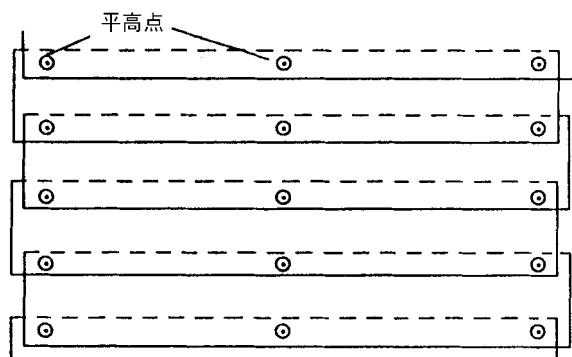


图 4-2-19 六点法

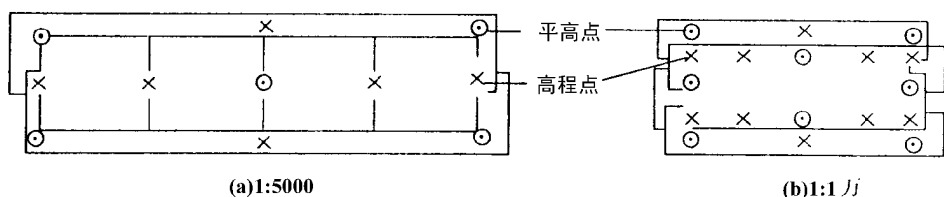


图 4-2-20 五点法

图为单位的布点方案。像幅采用 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 或 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 。

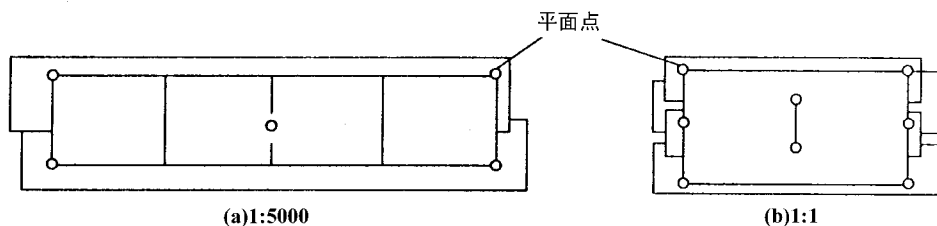


图 4-2-21 三点法

(2) 区域网布点

以几条航线或一个区域作为平差单元的解析空中三角测量加密所需外业控制点的布点方案称为区域网布点。

区域网通常由长方形或正方形组成，像控点应沿区域网四周按一定跨距布设平高点。考虑到高程点跨距要小于平面点，故在区域内部再布设一排或几排高程点以满足高程跨距的要求。图 4-2-22 (a) 是山地 1:1 万测图，以 16 幅图为单位的一个区域，采用 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 或 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 像幅的布点方案。图 4-2-22 (b) 是丘陵地区 1:5000 测图，以 8 幅图为单位采用 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 像幅的布点方案。

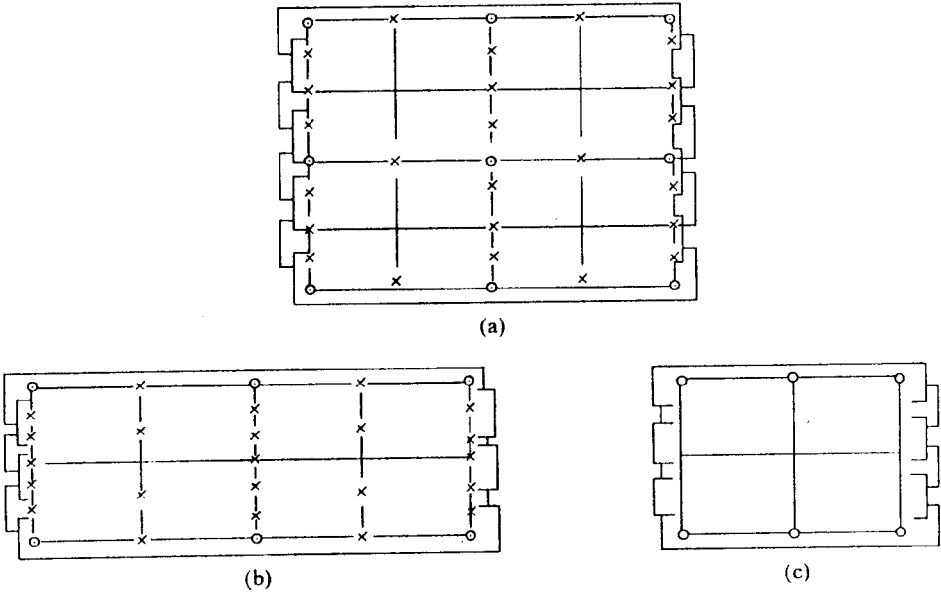


图 4-2-22 区域网布点

平坦地区布点方案如图 4-2-22 (c)，它是 18cm×18cm 像幅的 1:5 000 或 1:1 万测图，以四幅图为一个区域，点位沿区域四周布六个平面点。

对于一个具体测图区域选用布点方案应根据成图比例尺、摄影比例尺、像幅大小、地形条件、内业仪器设备、技术力量、经济条件等多种因素综合考虑。

全球定位系统 (GPS) 与解析空中三角测量的结合，其高精度、自动快速定位，是提供像控点的新方法。利用 GPS 载波相位差分定位技术，可以精确地测定摄影中心的空间坐标。将它们与摄影测量观测值一起进行区域网联合平差，可以大大地减少野外实测地面控制点，或实现无地面控制的空中三角测量。目前国际上一般认为只要在平差区域的四角有地面控制即可，这样就实际上免除了航测外业中的控制点联测工作。这对于缩短成图周期、减少或免除在困难地区或不可能到达地区的航测外业工作，具有重要意义。

(三) 野外像控点的目标选择

无论是平面点、高程点或平高点，野外像控点均要选择明显目标点上，明显目标是指野外的实地位置和像片的影像位置都可以明确辨认的点。一般地区较理想的明显目标是近于直角而且又近于水平的线状地物的交点和地物拐角上，特别是固定的田角和道路交叉经常作为优先选定的理想目标。除此之外，像控点目标的选择还要顾及地形测量的一些要求，在实地要有良好的通视条件和交会角，以便外业观测和保证点位的精度。

野外控制点的目标选择是成图中一个重要的关键问题，工作要认真仔细，要反复查

看地面目标和对照像片影像，经过反复比较选出符合要求的明显目标。当像控点的最佳位置和理想目标不能兼顾时，通常以选择理想目标为主。

二、像控点位置的标定

根据摄影测量内业测图的需要，像控点选定之后，像片上要准确标示出它的位置。最常采用的方法是用细针在像控点的影像上刺一小孔，小孔中心表示该点在像片的精确位置。像片控制点的刺孔不得超过 0.1mm ，并且要刺穿透高，不允许有双孔出现。刺点时要将像片影像与地物形状仔细对照辨认，为了保证刺出的点位准确无误，点位在现场刺出后另一人要实地检查核对。刺出的像控点要整饰注记，在像控点背面绘制刺点略图和加注对刺点位置的文字说明。像这样用人工刺点标定像控点位置的方法，刺点误差将会成为内业测图像点坐标偶然误差的主要来源，其数值要远远大于像点坐标的系统误差。随着摄影技术的发展，摄影机的分解力、航测内业仪器的量测精度以及摄影处理技术都有了很大提高，为了充分发挥摄影测量观测值的内在精度，像控点的刺点问题在国内外得到了充分的注意，许多国家基本废除了人工刺点的传统方法，对野外像控点采用标志化点，即在摄影前在野外像控点上布设地面标志并进行坐标联测。布设地面标志可以提高外业控制点的刺点精度，从而使小比例尺像片进行大比例尺航测成图变成为现实。

地面标志的大小以在相应比例尺的航摄底片上的成像能清晰辨认为原则。标志的颜色应根据地面的反差和底片的性能来选择，可采用白色或无反光黑色两种，标志的形状可采用如图 4-2-23 所示的形式。

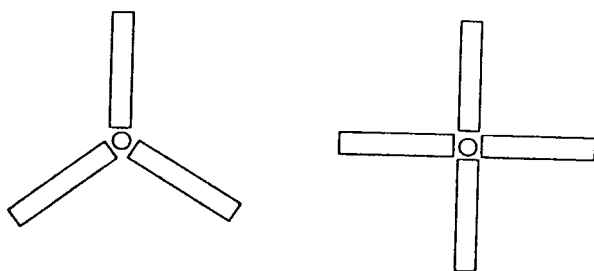


图 4-2-23 地面标志

三、像控点坐标的测定方法

像控点坐标的测定方法可以采用地形测量中用来建立平面控制和高程控制的所有测量方法。有关这些方法的测定、计算、具体作业和要求在第三章中都有详细说明，这里不再重复论述。

像片控制点平面坐标的测定方法可采用图根三角锁（网）、图根导线、测角交会点等，也可采用 GPS 定位方法测定像控点的点位坐标和高程。

当像控点因通视条件所限不能组成扩展图形，像控点上不宜设站或距已知控制点很近时，可先在所求的像控点附近，通视条件好的地方做一个过渡点叫“本点”。然后用极坐标法测定像控点的坐标，相对本点而言被测定的像控点称为“引点”。图 4-2-24 中，D 为本点，P 为引点，这种方法称为引点法。测量时，本点应采用方向法联测两个已知方向，且应增加检核条件，或在引点上观测一个检查方向 C，检查坐标较差应满足规范要求。

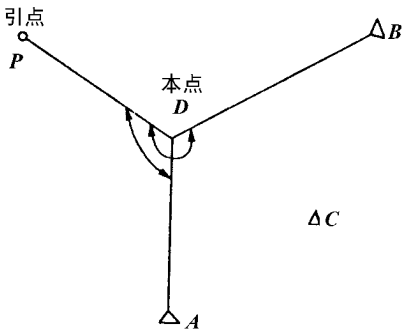


图 4-2-24 引点法

像控点高程的测定根据地形条件不同选用在平地 and 丘陵地，高程控制点应采用图根水准测量或光电测距高程导线测量。在山地、高山地测图可采用三角高程测量。

第五节 像片判读、调绘与补测

像片调绘是根据地物在像片上的构像规律，在室内或野外对像片进行判读调查，识别影像的实质内容，并将影像显示的信息按照用图的需要综合取舍后，用图式规定的符号在像片上表示出来。对于像片影像没有显示而地形图又需要的地物，要用地形测量的方法补测描绘到像片上，最终获得能够表示测区地面地理要素的调绘片。

调绘片是摄影测量内业绘制地形图，建立地物和地貌，标定注记内容的依据和来源。调绘内容的准确性、影像信息综合取舍的恰当程度，将直接影响到图上地形要素的表示精度。

像片调绘的传统方法是使用全野外调绘，它根据像片地物地貌的构像特征到实地对照判读出来，判读的地物、地貌要素要按照地形图图式的规定描绘在像片上，并加上注记内容，这种调绘方法主要作业都在野外实地进行。另一种像片调绘方法是综合判调法。它是室内判绘和野外调查、补绘相结合的调绘方法，先在室内采用一定手段（立体观察、影像识别等）判绘影像显示的地理要素，然后将室内判绘有疑问的或者是无法判

绘的内容再到实地调查和补绘。

一、像片的判读标志

像片上地物的构像有各自的几何特性和物理特性，如形状、大小、色调、阴影和相互关系等，依据这些特性可以识别地物内容和实质。这些影像的特性是像片判读的依据，被称为像片的判读标志。

像片判读是要根据影像识别地物。一般来说，影像能保持物体原有形状，能反映物体相互间大小比例，因此形状大小是目视判读的主要标志。此外，地面不同类型地物在像片上会呈现出深浅不同的色调，影像的色调取决于物体的颜色、亮度、含水量、太阳的照度、摄影材料的特性，借助影像的色调能帮助识别判定地物的类型、摄影季节、时间等。例如水稻收割期所摄的航空像片，稻田影像已由生长期的深灰色、黑色逐渐变成淡灰色。像片影像的图形结构能反映地物、植被的影像特点和构像规律。如大比例尺树木影像成斑点图形，而小比例尺树木则成颗粒形状，依据这些特点和规律即能辨别地物的类型与性质。又如针叶林在航空像片的影像呈深黑色、树冠形状为尖锥形，影像呈现小颗粒点状影纹。阴影是高出地面的物体受阳光斜射而产生的，分本阴和落阴。物体未被照射的阴暗部分在像片的构像称本影，借助本影可判别山脊、冲沟、河谷及高大建筑物。阳光照射下物体影子的构像称落影。落影可以确定地物高度与形状。另外像片判读时还应考虑地面各种地物与自然现象之间的联系和规律，这些联系、规律构成了像片判读的间接标志。例如河流方向可以利用沙滩的形状、支流的注入方向以及停泊船只的方位来间接确定。河心洲的尖端指示出河流下游的方向。河流停泊的船头方向指向河流的上游。

二、像片的调绘方法

（一）调绘像片的准备

调绘像片的准备包括像片的准备和调绘面积的划分。

调绘像片应该选择影像清晰与成图比例尺相近的像片。为了便于像片的着墨和整饰，调绘前用橡皮在像片上来回擦拭，可以去掉像片光泽增大吸附墨水的能力。

像片调绘要选用测区隔号像片，作业时除线性地物外，一般按像片顺序逐片调绘完成。

各张像片划分的调绘面积要保证测区调绘面积不出现漏洞和重叠。划分面积的线条应选在航向和旁向中线附近，平坦地区可画成直线与折线，对于丘陵与山地，像片东南边画成直线或折线，西北两边由邻边立体转绘。此外，调绘面积线要偏离像片边缘 1cm 以上，要尽量避免分割居民地和重要地物。如图 4-2-25 所示。

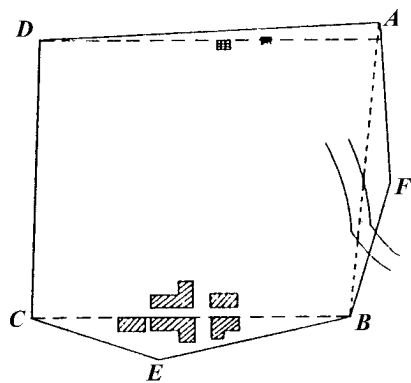


图 4-2-25 调绘面积线

(二) 全野外调绘法

全野外调绘法是摄影测量外业调绘作业的主要方法。出发调绘前应计划具体调绘路线和调绘面积，要立体观察确定调绘重点和疑难地物，以便做到心中有数，调绘时有的放矢。选择调绘路线既要少走路又不致于漏掉要调绘的地物地貌为原则。平坦地区通视良好一般沿居民地和主要道路调绘。民地分布零乱地区可以采用“放射花形”或“梅花瓣形”为调绘路线，如图 4-2-26 所示。丘陵地区沿连接居民地的道路调绘，从山沟进入走到山脊，从山脊再下到另一条山沟形成之字形路线。山地应尽量沿半山腰走，以便兼顾看到山脊山沟的地物地貌。城市、集镇先调绘外围再进入街区，至于河流、公路等线状地物可以打破片号顺序沿着线条走向按线调绘。

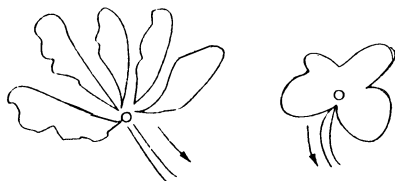


图 4-2-26 调绘路线

实地野外调绘时，相隔一定距离要停下来“站立”调绘，每个站立点要标定像片的方位，要辨认出站立点在像片上的位置关系，然后对照地物与影像经比较辨认用符号将判读的地物地貌标记在像片上。居民地、工矿企业、建筑物、方位物、道路及附属物、桥梁、水系、植被等地理要素都属调绘之列。像片上未显示的地物如高压线、电话线、水井等要绘在像片上，地名、土壤性质、河流方向和流速、道路等级、水文地理资料要按图式要求逐一调查登记。现场判读调绘后要及时着墨固定。

为了提高像片调绘的效率和质量，野外按计划路线调绘时，要以线带面沿调绘路线两侧成面状铺开，尽量扩大调绘效果提高工效。站立点要选在易判读、视野广、看得全的位置，判读时要采用“远看近判”的方法，远看可以看清物体的总貌轮廓及相互位置关系，近判可以确定具体物体的准确位置。判读的地物要合理地综合取舍，重点地物突

出地表示在调绘片上。每站、每天、每片的调绘工作要及时完成不要拖延遗漏。另外要注意调查访问，依靠当地群众可以及时地发现隐蔽的地物地貌。在少数民族地区要发挥翻译向导的作用。

（三）综合判读调绘法

综合判调的主要工作是室内判绘和野外调绘。

室内判绘是在室内依据测区收集的各种资料，对像片进行观察、分析和比较然后判读出影像的内容、数量、性质，并着墨描绘在像片上，对于没有足够把握判读的地物则用铅笔画出后供野外调绘确定。

室内判绘前要全面收集测区资料，其中包括测区保存的现有资料、踏勘采集的典型判读调绘样片、典型样片图集以及测区自然地理气候状况、农作物分布种植等等。测区保存的现有资料有行政规划图、交通图、电力线及通讯布置图、水利工程图、农业规划土壤图和测区地名普查图等，这些资料虽然原始粗略，但对室内判读仍有参考价值。测区的典型调绘样片是野外踏勘时选择一片或数片能代表测区主要地物地貌的像片，经过全野外调绘差墨整饰而成，并加有必要的分析判读记载，典型调绘样片能反映测区主要地物地貌的成像规律和特性。典型样片图集收集有测区主要地物地貌的航摄像片，有的还附有地面照片以及地物地貌的成像说明和分析。图片内容丰富具有代表性，对大范围室内判绘有一定指导意义。

像片影像与典型调绘样片、典型样片图集对比能提高室内判读的准确率。至于测区的自然地理和气候情况，以及农作物的分布种植，对于全面准确地分析判读地物会有很大帮助。

室内判绘采用的方式有直接目视判读描绘、立体判读描绘以及利用资料辅助判读描绘。室内通过目视影像、像片的立体观察以及航摄像片与辅助资料的对比、分析，从影像中正确判读出地理要素并着墨在像片上。如果影像不够清晰或者室内无法判读时，则用铅笔画出由野外调绘确定。

综合判读调绘第二项工作是野外调绘。野外调绘是对室内判绘的检查与补充。事先要计划调绘路线、调绘重点以及一般查看的内容。调绘要重点检查室内判绘没有把握的地物，如微小的线状点状地物、依比例尺与不依比例尺或半依比例尺独立房屋相互间的区别。室内判绘的地物在实地如果发现错误要马上修改补绘。

综合判读调绘法可以将大量外业调绘工作转入室内完成，能减轻外业调绘的劳动强度和提高像片调绘的工效，与全野外调绘相比有明显的优越之处。但是目前由于受到客观条件的限制，室内判绘的准确率还达不到全野外调绘的水平，在我国尚未广泛普及使用。

三、新增地物的补测

像片调绘除了应将像片影像显示的信息判读描绘出来外，对于影像没有显示或者影

像不够清晰而地形图又需要表示的地物地貌要素，还需要按其形状位置补绘在像片上。这些要补绘的地物可能是摄影至调绘期间地面出现的新增地物，或者是由于比例尺过小而无法直接判读的较小地物，也可能是被云影、阴影所遮盖而未成像的地物。将像片没有的或者影像不清晰的地物按像比例尺缩小描绘在像片相应位置上，这一工作即是像片调绘中新增地物的补测。

新增地物补测方法有简易补测与仪器补测。当新增地物零星分布或者补测面积范围较小时，可以根据周围地物的明显影像，判别交会出新增地物在像片的位置，这就是简易补测法。当新增地物面积较大，四周又无明显地物影像时，则需要采用野外仪器补测。

简易补测有比较法、截距法、距离交会法、直角坐标法等。比较法是根据地物的位置关系在实地通过目估内插来确定待补地物位置的一种最常见的比较简便的补测方法。截距法是沿线状地物在实地量测补测点到明显地物点间距的测定方法。实地如果量测三个地物点到待补地物点的距离，并将量测值按像比例尺缩小在像片上就能交会出待补地物点的像片位置（其中一个距离作为检查），称为距离交会法。按纵横距离确定补测点位置的方法为直角坐标法。当大面积补测时，可采用平板仪补测、经纬仪补测以及单片测图法补测。

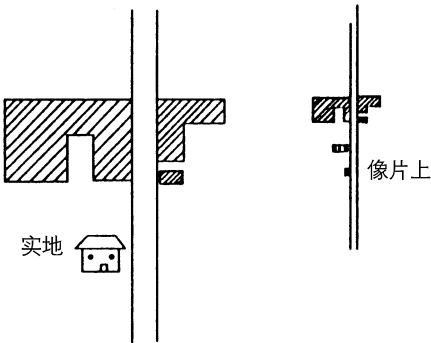


图 4-2-27 比较法

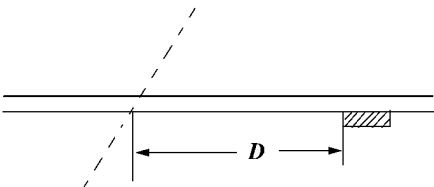


图 4-2-28 截距法

第三章 遥感测量技术概述

第一节 遥感制图发展的新时期

自 1972 年美国第一颗陆地卫星发射以来,法国、俄罗斯、欧空局、印度和日本与我国相继成功地发射了地球资源卫星,遥感的地学应用得以迅速发展。此前,美国收集了各种地物的光谱数据,测定了 600 多种岩矿、2 000 多种植物、1 100 种土壤和 60 多种水体的光谱物征曲线,为遥感地学分析提供了基础依据,并于 70 年代末编制了全国 1/3 的土地利用图等。1973 年巴拿马的第一届拉美遥感学术会议上,已反映出墨西哥、巴西的遥感在资源与环境领域应用的成就,如它们分别编制了墨西哥的土地档案图和亚马孙河流域的地质图等。1976 年英国开展了全国的遥感土地利用制图,重编了英国 1:5 万的土地利用图。同年日本进行了遥感作物面积分类与估产。对此,目前美国处于领先的地位,农作物估产的精度高达 97%。此后,世界上不少国家,如菲律宾等利用遥感进行了土地面积分类与制图;加拿大、澳大利亚等开展了地质填图;瑞典的遥感森林分类制图也达到了新水平,1975 年瑞典等国家还合作利用侧视雷达图像编制了海冰预报图。此间,我国也积极引进了美国陆地卫星图像,并发射了自己的国土普查卫星,编制了全国影像地图,开展了遥感地学分析,编纂了遥感地学分析图集等。同时,进行了京津唐地区的国土卫片资源与环境综合分析应用,编制了 1:25 万的 8 种主题系列地图,以及开展了天津市城市环境遥感动态监测和长江、黄河三角洲环境变化研究,建立起遥感监测系统。20 世纪 80 年代,随着 SPOT、Landsat-5 等图像的开发,遥感的资源与环境分析应用达到了新的阶段。我国先后利用遥感图像编制了全国 1:25 万至 1:200 万的土地利用图。1984 年,国际地图学协会(ICA)提出了资源环境与海岸的制图;90 年代,ETM、SPOT 和中巴资源卫星 1 号以及 IKONOS 的 1~4m 高分辨率图像之涌现,为遥感的地学分析综合应用开拓出广阔的前景。近些年来,国际上,在资源清查、环境保护、沙漠化调查、土地退化和城市动态分析制图等领域都取得了许多重要的成果:如遥感三维信息可视化图解,干旱区地表沙化的监测等。

20 世纪末,我国资源卫星的成功发射,体现了我国的遥感卫星由低分辨率向高分辨率方向发展,纳入了新经济信息时代的全球化空间应用的行列。国内各有关部门都在积极利用自己的资源卫星获取的原始数据,开展农作物类型的识别、种植面积监测估算、精细农业分析、区域环境监测、城镇变迁、生产结构布局以及地质矿产调查和专题

制图等。其应用已涉及我国农、林、水、土、环境、地质矿产、油气、灾害、城市和海洋、测绘等领域，对我国重大资源、环境数据库的建设起到了积极的作用。这对我国资源卫星应用示范系统的建立具有重要的意义。

1999 年我国与巴西合作发射了中巴资源卫星。实践表明，中巴资源卫星图像层次分明、清晰可读，一般可适用于 1:10 万 ~ 1:25 万的土地利用等专题内容的解译。例如，利用 CCD 获取的 B_2 、 B_3 、 B_4 波段组合的假彩色图像，可以识别出耕地、园林地、牧草地、水体、居民地、交用地和未利用土地等类型，编制 1:10 万土地利用图。另外，在河、湖、水系演变中的分析也展示出其良好的效果。在海洋分析方面，对海岸带变迁、海洋环境污染、海洋环境灾害以及海洋资源的分析，都取得了理想的效果。可以相信，今后能得到更好的应用成果。

20 世纪 90 年代，美国 IKONOS 卫星 1 ~ 4m 高分辨率图像的出现，引起了世界广泛的注意。该卫星重访周期为 1 ~ 3 天，侧摆 26° ，幅宽 11km；有 $0.45 \sim 0.90\mu\text{m}$ 的全色 1m 空间分辨率图像及 $0.45 \sim 0.52\mu\text{m}$ ， $0.52 \sim 0.60\mu\text{m}$ ， $0.63 \sim 0.69\mu\text{m}$ 和 $0.76 \sim 0.90\mu\text{m}$ 四个波段的多光谱 4m 空间分辨率图像。它拥有 11Bit 及 8Bit 的全色与彩色图像，如经地面控制和数字高程模型（DEM）处理，其标准误差即均方根误差（RMSE）为 1m 的由 GIS 和精确定位编制 1:2 400 的精品图像；均方根误差为 2m 的用于 1:5 000 制图的精品图像；均方根误差为 5m 适用于编制 1:10 000 的专题之图像；均方根误差为 6m 适于编制 1:25 000 地图的图像，以及均方根误差为 12m 适用于编制 1:50 000 的参考图像。

上述 IKONOS 卫星的几种图像产品是经过不同精度的地面控制和数字高程模型处理的，其适用于编制 1:2 500 ~ 1:50 000 的地图，可与航空像片相媲美。此外，还有将全色 1m 图像与 4m 多光谱图像融合成 1m 的彩色图像，其几何纠正产品的均方根误差为 25m，适于编制 1:10 万 ~ 1:25 万的专题地图。

通过实践应用，将 IKONOS 1m 全色图像与 4m 多光谱图像的融合，是一种颇优的效果，适于识别分类，提高成图精度，适用于资源与环境的分析制图。据江苏遥感中心实验认为，利用 IKONOS 的 5 月盐城幅图像，能识别出水田、旱地、菜地、园地、绿化地、城区、乡村住地、工矿区、铁路、公路、村道、河渠、鱼池等类型的 1:10 000 土地利用图。

美国 Space Imaging 公司的 IKONOS 卫星摄卫的是全球第一颗民用 1m 级图像，它不仅适用编制 1:2 500 ~ 1:50 000 专题地图，而且可用于修测 1:10 000 地形图，或修测大比例尺的普通地图等。

从上不难看出，高分辨率图像，对于开展城乡地籍管理调查，乡、镇土地利用普调和城乡土地规划、资源、环境专题准确识别分类制图与建立地籍管理信息系统乃至地学信息图谱研究等者有重要的应用价值。

20 世纪 50 年代，世界上雷达遥感得以开发，此后，美、加、德、荷、法、澳、俄和我国先后都拥有机载的合成孔径雷达（SAR）系统。自 70 年代末，美国揭开了海洋卫星（Seasat - A）雷达遥感的新世纪以来，美、加、欧洲空间局、原苏联、日、俄又成功发射了星载合成孔径雷达，目前已广泛地应用于地质、农、林、水、土、海洋和测绘

制图等领域。现它们已发展为新一代的多频（率）、多极化、多通道、多模式的合成孔径雷达系统。

雷达遥感是一具有穿透性能的全天候、全天时的先进技术。它极大地增大了时、空域上的观测范围，加强了地物时效性的应用，诸如洪涝灾情监测、水情监测和作物长势监测等。雷达成像具有相干性，故其可获取高精度的目标三维信息和 DEM 数据，这为先进的测绘立体制图提供了新的信息源和多极化 SAR 的地物更多信息。

SAR 图像现已广泛地应用于森林植被类型制图以及自然灾情分析研究，如地震灾情、地面沉降等。1974 年 Graham 就利用 SAR 图像进行了地形测绘和制图。90 年代自日本、欧空局和加拿大先后发射了 JERS-1、ERS-2 及 Radarsat 卫星（1995），从此，使 SAR 的应用走向实用化研究。例如，数字高程模型（DEM）数据和数字地形图的生成。对此，可以相信 InSAR 技术的发展，随着其时间分辨率和空间分辨率的不断提高，不仅对 1:2.5 万或更大比例尺地形制图产生积极的作用，而且对自然界的专题分析监测与制图有着重大意义。

利用雷达图像与其他平台的卫星图像融合，对洪水灾情进行实时监测分析取得了理想的结果。1998 年夏我国长江发生特大的洪水灾害，中国科学院曾及时利用加拿大的 Radarsat SAR 汛期数据与美国 Landsat TM 汛前数据进行融合分析，从而获得了汛前的水情和洪水期间不同日期洪水淹没区、滞水内涝区、未淹作物分布区以及城镇居民点等水灾实时监测图，取得了上述洪水灾情的不同分布面积，供作洪水灾情的分析评估。

20 世纪 80 年代，随着高新技术的进步，高光谱图像或成像光谱技术，又成为世纪之交乃至新世纪遥感的前沿课题。

目前世界上，美、加、日、澳、欧洲空间局、法、德及我国相继研制成了高光谱成像传感器，它们的波段一般是数十至数百个。如美 EO-1 卫星的高光谱通道为 542 波段；Orbview-3 卫星与 280 波段高光谱仪配套的是分辨率达 1~2m 的传感器，它们在土地利用现状调查、植被细分制图、农作物长势估产、精细农业分析和环境监测以及海洋水色研究方面展现出了广泛的应用前景。

成像光谱图像数据具有波段多、光谱分辨率高、数据量大等特点。其海量数据压缩技术、高速处理技术及其图像特征识别提取与地图可视化研究已成为当前的关键。

总之，随着遥感技术的发展，遥感制图不断地被推向新阶段。

一、航空遥感分析与系列制图

航空摄影测绘 70% 的地球陆地面积，仅用了约 50 年的时间。30 年代，它基本上取代了传统的经纬仪、平板仪测图的方法，采取航摄解析测图、航空像片分析判读与其系列制图，推动了大比例尺地形与专题制图的迅速发展，建立起航空摄影测量制图理论体系及技术系统。

航空摄影测量为地图编制提供了现势性强、客观可靠的统一信息源。它是地形测图和专题制图的第一手重要资料。

航空遥感专题制图（见图 4-3-1），是以地理相关分析为基础的综合制图研究，是开展系列制图的基本途径。

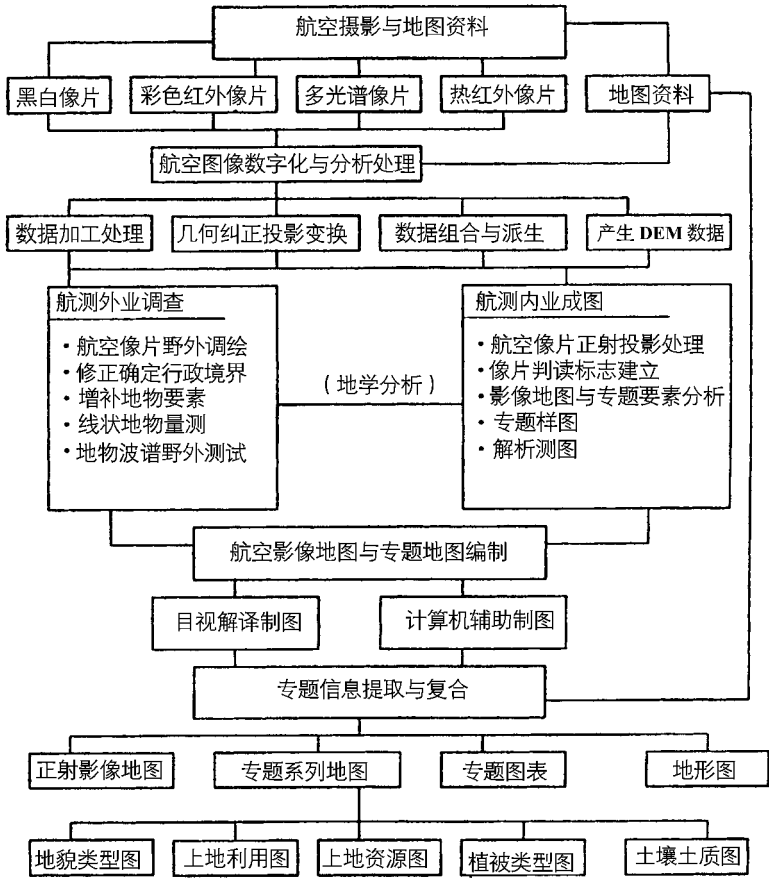


图 4-3-1 航空遥感专题制图工艺

20 世纪 60 年代初，陈述彭教授率领中国科学院地理研究所等单位组成的考察小组赴海南岛，对华南热带作物开展了航空像片的综合调查与系列制图的探索。在这次航测制图的试验中，根据当时农业生产的需求，利用 1:14 000 ~ 1:16 000 的航空像片编制了 1:1 万 ~ 1:2.5 万的重点国营农场和乡镇田间基本建设和生产管理使用的地图，以及海南全岛 1:2.5 万的 6 种基本自然条件图与 1:20 万的土地资源图。它们如：

（1）微地貌结构图：分为滨海、河谷、台地、丘陵、山地 5 个大类，共分 40 个基本类型；

（2）坡度组合图：按机耕、封山育林等生产指标分为 3° ~ 5° ~ 8° ~ 15° ~ 25° ~ 30° 等五个不同的坡度组合；

（3）植被图：按森林、草地、滨海植被和栽培植被划分为 4 大类，共分为 18 个群系，覆盖度 5 级；

(4) 土地利用图：划分为粮食作物用地、经济作物用地、林地、草地、抛荒地 5 大类，共分 19 个基本类型；

(5) 土壤土质图：分砖红壤性土和红壤、紫色土、水稻土、沙土、盐土和石骨土 7 个大类，并细分成 43 个土种和变种；

(6) 农田地形图：其中，农业与土质、植被要素，试用底色代替符号，用 3 种底色表示 7 种不同的土地利用类型，用符号与底色结合表示 15 种不同的植被，同时结合有橡胶和其他 3 类热带经济作物，采用 5 种土质符号。

通过海南岛热带航空像片农业综合制图的探索得出，要适应热带作物农场和乡镇基本建设的需要，利用航空像片编制详实的大比例尺地图展示出广阔的应用前景。

实验表明，在热带地理环境下，利用红外波段可增强土壤之间的反差，利于土壤判读。至于热带雨木及热带作物的识别，研究其物候特征是十分必要的，对推广航空像片的应用有深远的意义。

20 世纪 70 年代末，云南腾冲航空遥感综合试验，是一次检验我国自制的航空遥感仪器、航空遥感综合应用的全面试验。它是一次多部门、多学科、多专题的大型科研工作，有全国 70 多个单位 700 多名科学技术人员，分 33 个专题进行的集体研究项目。这次航摄总面积达 2 万多平方公里，涵盖各种地物 100 余种，获得 1 000 多组数据和波谱曲线，是我国首次实测了大量的波谱数据。同时汇编有测绘制图等分册报告、软件等，并编辑出版了集中体现地理制图、遥感制图和系列制图特点的《腾冲航空遥感图集》，是一次大型的遥感系列制图的成功尝试。与此同时，在遥感系列制图的基础上，开发了遥感信息机助制图软件，自动编制了《腾冲农业统计地图集》（1985 年），成为我国第一部利用计算机制图出版的地图集。这次航测试验达到了“一次实验多方受益”的目的。自此后，诸如天津渤海湾地区的航空遥感试验，天津市环境质量图集的编制，二滩一米易地区航空遥感试验及土地利用覆盖等系列制图，如雨后春笋似地出现，被广泛地应用于农、林、土、水和测绘等各个领域。

二、航天遥感多源综合分析 with 识别制图

20 世纪 70 年代，随着卫星遥感的快速发展，导致地学研究手段的技术革命，推动着地学基础理论方法研究进入了一个新的发展阶段。

卫星遥感的应用一般经历了由单一波段到多源的组合分析，由静态到动态监测和预报，由目视解译到模式识别分类乃至建立图像信息系统，通过应用模型进行系统多源综合分析，直到产生各种资源与环境要素专题地图。其成图工艺流程见图 4-3-2。

航天遥感的应用自 70 年代以来，随着地理信息系统（GIS）等高新技术的发展，已涉及到所有相关的空间信息领域，诸如农林、土地、水利、矿产、海洋、自然灾害、环境保护以及全球变化和区域可持续发展等等。

利用空间图像分析制图，主要是依据地物对电磁波的光谱响应、空间响应及时间响应等特性的基础理论。但是，地物构像是自然综合体集中表征的结果，它内涵有空间特

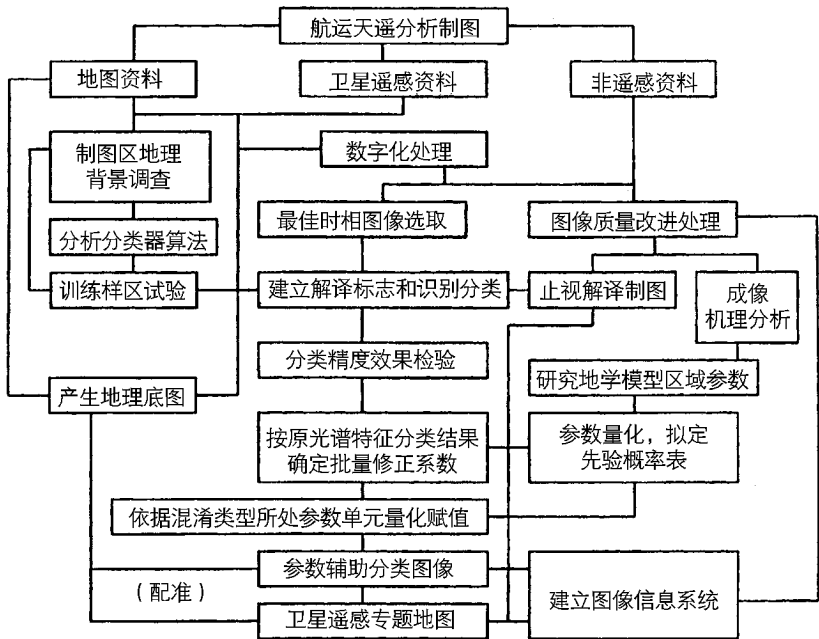


图 4-3-2 航天遥感专题制图工艺流程

征、时间因素和地物之特性，因此，研究与地物构像密切相关的、且会直接影响其成图质量的基本属性，即对图像背景参数的研究是不可忽视的基本环节。

（一）制图信息源的背景参数应用分析

遥感信息是专题制图的重要信息源。但是，在专题制图中并非所有图像信息都能有效地适用于制图，这与成图的对象、用途与要求紧密相关。因此，选取信息源时应据此作地学相关分析，诸如：

（1）遥感空间信息的地学生态特性与其制图对象和适中尺度的研究。这对于光谱成像机理研究及其成图内容表达和选择适中制图尺度，满足成图精度的比例尺是必要的，以达到遥感专题制图的实用、经济的效果。

（2）图像模式识别分类图像的物候分析。遥感制图的信息源应依据不同的地物类型及其成图的目的，进行地物物候特性的研究，以选取其成图的最佳时相图像，以增强图像识别度，提高其可分性，同时也可运用地物物候成像的时间差，开展资源与环境要素的演变和动态监测研究。

（3）专题制图的波段优化组合分析。随着多光谱信息和成像光谱技术的发展和应 用，在专题制图中对针对性地物识别，波段的选择和组合是甚为重要的。比如，针、阔叶林的区别，SPOT 3 是一主要波段。对于多光谱图像，组合波段的优化是提高图像识别力的有效技术，其一般以三波段组合较为适宜；对成像光谱来说，一般可有更多个波

段（如：7~30个）的组合。诚然，组合波段愈多，计算处理的信息量就大，工艺较复杂。因此，遥感专题分类制图，波段的优化组合是图像识别制图的一个基本背景参数。

（二）图像识别分类器算法的分析与训练样区的研究

对于空间信息专题制图，不同的分类目标，对分类器的精度要求是不同的，所以分析并选择适应的算法是不容忽视的。比如，最大似然率算法，一般适用于土地利用与覆盖的识别，纹理结构宜于地质构造等的分析。为此，有的放矢地分析适宜算法是提高其分类制图质量的重要一环。

随着获取信息源的遥感器等技术的进步，三维（或多维）信息的处理、定性到定量信息的分析，运用双向反射函数的算法有其独到之处。在考虑算法的同时，研究所分类型的训练样区之选取是事关紧要的，它关系到图像识别成图的精度。选定样区时，既要分析制图区内所分类型的分布规律与特点，同时也要注意各类地物的生态环境及其地物的典型代表性。

（三）算法识别制图中遥感区域参数的分析应用。

以地物波谱物性提取图像有效信息是地物识别分类的重要依据。但在具体分类时，往往受众多因素的影响，难以达到理想的结果，其主要是受区域条件的差异所致，因此，在设计地学、生物学模型时，应考虑其相关的因素，分类时需考虑区域校正系数，其目的在于最大限度地提高空间遥感信息智能识别分类与制图质量和精度，对此，通常有如下两种情况。

（1）地理相关辅助分析。空间地物成像受到制约因素的影响，故需拟定区域校正系数，予以改进。例如，山区草地垂直带的类型分布与其海拔高度有密切关系，这就要求依据不同垂直地带的草地类型，研究其数字高程模型，同时研究其参数量化和模型的赋值问题，从中提高识别效率。

又如，地物因受地形起伏的影响，产生图像阴影，于是也可视太阳入射角的关系辅以其值，消除因地形的作用，改进辐射亮度值。

（2）模式识别中区域参数的应用研究。从地物表面现象描述到地理内在规律，乃至提取有效信息，除了对模式算法的选用外，分析地物类型的成像机理、确定区域参数，以形成量化修正系数改变其判别函数，是地学分析应用的一重要途径。因为欲分类地物的差别函数，不仅取决于其各自的统计参量，而且还取决于其先验概率修正值。当若干类地物统计参量甚是相近时，修正系数值的大小对判别像元的归类有着决定性的作用。因此，利用区域参数，确定各类欲分地物的先验概率修正系数值并按模型赋值，是改进航天遥感图像识别制图的一有效技术环节。

上述是卫星图像模式识别成图中的几个主要环节。在具体实施过程里，用户可视研究目标对象和需求，作增删应用（详见图4-3-2）。

随着不同平台、不同遥感器等技术的进步，航天遥感图像的种类日益增多，诸如侧

视雷达图像 (SAT) 包括干涉雷达、差分干涉雷达、高光谱图像等, 都得以较广泛深入的应用。

雷达图像具有全天时、全天候和穿透力强等特点, 它与可见光摄像之比, 有着时间域与空间域上的应用优势, 比如, 数据获取具有较好的可靠性与时效性及其有效性。

我们知道, 合成孔径雷达 (SAR) 的电磁波, 一旦与地表面相作用, 就会产生具有一定幅度、相位和极化的反射波特性和特性, 而这些特性与地表的粗糙度、介电常数和地形斜度 (起伏等) 的参数相关。对此, 任一地区的任一地物的变化, 都可能改变上述 3 个地面参数。从而为利用雷达图像监测自然要素或各种诸如地震、火山、地面沉降、泥石流、滑坡以及洪水、土壤侵蚀、沙漠化、盐碱化和病虫害等自然灾害提供了地学应用的依据。因为, 自然要素的变化, 在 SAR 图像对其地表的参数都会有不同的影像特征反映, 从而可满足用户不同频率和极化的使用要求, 提供散射的机理信息。

关于干涉 SAR, 因其可通过两个相隔一定距离的天线获得被测区两幅 SAR 图像数据, 从而得到所测目标的地形高度, 提供 SAR 的 DEM 数据。目前, 差分干涉 SAR 可用作厘米级小尺度偏移测量, 如地面下沉, 地形地震破坏程度的分析应用。

从上分析不难看出, 遥感的应用, 地学、生物学等知识的投入是一重要的基础研究和途径。所以, 其在地理信息系统的支持下, 融合全球定位系统, 开展遥感制图是一项前沿研究。

第二节 信息融合技术的遥感制图

空间遥感信息是地学分析应用的重要信息源。利用空间信息进行图像识别分类与制图, 通常是采用适合的信息源, 选择所需的分类器算法进行模式识别。但实际的应用中, 空间图像内不少信息是混淆的或是被隐含的。因此, 要区分识别或者揭示它们, 必须投入知识, 进行智能决策分析, 这就要运用信息融合的一体化体系。因为, 遥感可实时快速地提供现势性强的第一手信息源, 它可不时地获取用以各种应用和动态处理的地球信息及实时更新各种专题地图; 全球定位系统的主要作用旨在实时导航和定位, 它可用于大地测量, 并扩展到遥感测量之中, 应用于空间信息定位提供空间坐标。同时, 可补测地物要素和地图数据实时之更新; 地理信息系统是海量空间信息处理, 特别是对具有多媒体网络、虚拟现实技术及可视化的强大空间数据进行综合处理的技术保证。

信息融合集成, 不仅可实现彼此间的互补, 而且可产生强大的边缘效应 (见图 4-3-3)。在系统融合中, RS 与 GIS 是最基本和关键的集成。以遥感作物估产来说, 它是一个复杂的系统。要达到一个高精度的估产目的, 单凭某作物的光谱特征, 不投入知识、不以地学相关信息借以 GIS 的决策分析, 是难以取得理想的效果。

“八五”期间, 作物遥感估产的试验研究基本上是采用 RS 与 GIS 的融合技术, 进行估产面积提取和制图的。例如, 东北玉米遥感估产, 首先对玉米遥感估产区域, 根据玉

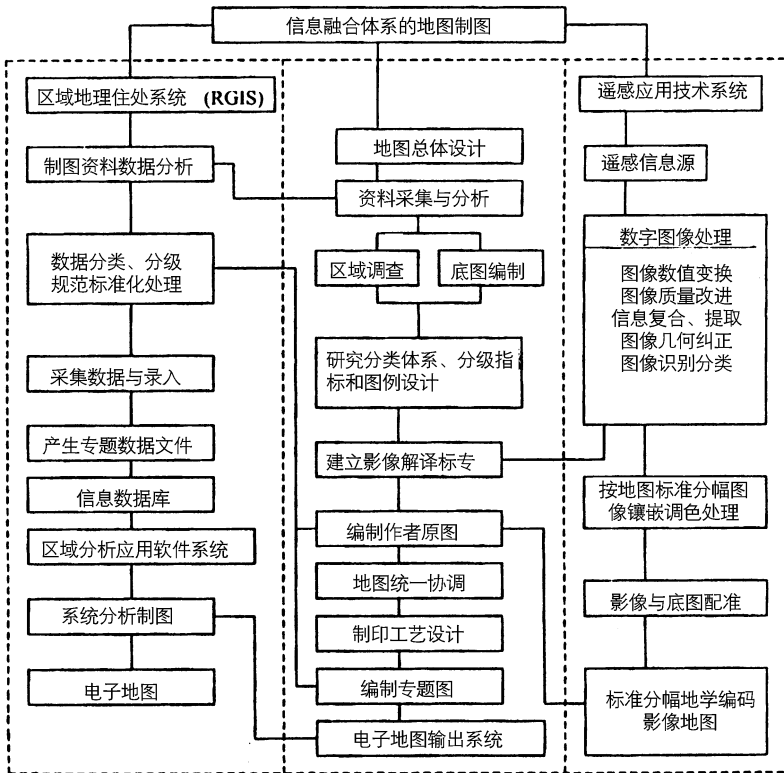


图 4-3-3 信息融合体系的地图编制工艺框图

米的生境将其适于玉米生长的条件分成若干区：如适宜玉米生长区、较适应玉米种植区和不适宜种植区等。这样利于提高玉米选择训练样区的准确度和分类的精度。因为分区分层分类可以减少识别误差。与此同时，再根据玉米分布区的地理背景及其相关影响因素建立其背景数据库，比如，玉米分布区的生境要素、生态条件和基础相关信息等等。于是，就可在 GIS 支持下，调用作辅助作物估产算法的基本参数；将图像与相关的土地利用图等复合选取样区，进行监督分类，另与玉米生境配合辅助分类，对提取估产面积有积极的作用。由此可提供一定质量的估产用的玉米面积分布图，从而保证估产的质量和精度。

由上可知，多源信息融合技术是多源海量数据处理的一种新方法。它能增强遥感数据的空间分辨率和使用率。近些年来，随着小波理论的发展，小波分析法得以较广泛的使用，它对提高图像的解析能力，有着积极的作用。它不仅能较好的保持原始图像的光谱信息，而且可多层分解图像的富集信息，有利于遥感地物的解译和应用分析。

一、基于 GIS 的遥感信息电子分析制图

伴随遥感技术的进步，20 世纪 60 年代初，遥感系列制图成为一种新的地图成图概

念和方法。即利用同一遥感资料,通过室内外调查研究,在按标准处理编制的统一正射影像底图上,经地学分析,遵循系列地图统一协调拟订的各自分类体系和图例,按不同的要求和解译标志,同步编制成一套专题系列地图。这种系列图,不论在内容上或是在形式上都是相互协调一致的,是一种从系统工程理论反映现代地图综合制图方向发展的新趋势。

对此,由统一遥感信息源地学分析生成的专题系列图,在 GIS 的支持下可作为信息复合或派生制图的基本要素数据,通过制图开发系统与分析评价应用软件进行各种新的组合分析制图(图 4-3-4)。

由图 4-3-4 可见,以遥感信息编制的专题系列图为基础要素图件,用作再生图的信息源,基于 GIS 应用软件可进行信息复合和多因子综合分析评价,从中产生另一系列新分析图型,诸如,土地效益分析图、区域中心引力强度分析图和土地价格评价图、区域开发环境图以及区域开发潜力分区图等等。这样,就可按电子地图集的设计要求,运用信息系统,集数据管理、分析与制图技术于一体,将其结果按图集的总体设计,汇存于磁盘或光盘,形成特种的电子系列图或电子地图集。我国 1991 年由中国科学院地理研究所研制,测绘出版社出版的第一部电子地图集就是运用信息融合系统研制而成的。这是现代地图编制的一个新技术途径。

二、地球信息科学体系的高速全息数字化制图

开发信息资源,发展信息技术,实现国民经济信息化是新世纪信息社会的首要任务。要实现地球信息的这一全过程,必须将卫星遥感应用、地理信息系统、计算机辅助设计制图、多媒体与虚拟现实及互联信息网络和多维可视化技术等融合集成科学体系,以形成对信息流、物流、能流、人流进行时间、空间的综合分析和全息数字化制图。

现代地图研制中,空间动态分析、多维乃至高维可视化、多媒体网络制图等都是重要的内容。目前,不少 GIS 的数据模型大多是二维,且往往是非时态的,因此,很难满足动态分析之类的应用要求。所以,面向对象数据模型研究,构建时间维与空间维一体化、空间数据与属性数据一体化和矢量与栅格数据一体化的数据管理系统,是当前系统集成、数据融合共享关注的共性问题。

可以相信,诸如面向对象及高维数据模型等的开发,会极大地增强地球信息的融合和动态分析的功能,形成全数字自动化制图系统。新世纪,地球科学信息化的发展、地球信息的科学体系融合集成,也将成为开拓数字地球的重要平台。诚然,地球信息的崭新科学技术体系和地学信息图谱的研究,势必会推动现代的图学的飞跃发展。

第四章 摄影测量与遥感技术的应用

自 20 世纪 60 年代遥感技术产生以来，摄影测量与遥感已蓬勃发展成为一个新兴的科学技术领域，属于图像信息科学和技术的范畴，是当代高新技术的重要组成部分，并广泛应用于国民经济建设与社会发展的诸多领域，特别是在国家基础测绘和建立空间数据基础设施（NSDI）、资源调查、环境保护、自然灾害监测、再生资源预测以及道路设计等领域中发挥着重要的作用。随着摄影测量与遥感的进一步发展，特别是与 GPS 技术、GIS 技术的集成应用，这一科学技术必将发挥更大的作用，为国民经济建设和社会可持续发展提供动态基础信息和科学决策依据。

本章介绍摄影测量与遥感在建立 NSDI、农业、林业、地质矿产、水文、海洋、环境监测、自然灾害防治以及道路线路设计中的应用成果，最后简要介绍气象卫星遥感图像在非气象领域中的应用。

第一节 在国家基础测绘和建立空间数据基础设施(NSDI)中的应用

一、国家空间数据基础设施的概念和内容

随着计算机技术和信息技术的迅猛发展，人类社会已进入信息时代。现代信息技术不仅深刻地影响着现代科学技术、教育、工农业生产乃至经济建设的各个方面，而且影响着人们的生活、工作和娱乐方式。计算机和因特网技术与产业不仅为发达国家带来滚滚财富，而且为世界各国人民带来了信息化社会的种种便利。

为了推动信息社会的迅速发展，美国于 1993 年提出了“信息高速公路”的概念，即建立“国家信息基础设施（National Information Infrastructure，简称 NII）”，它主要由计算机服务器、网络 and 计算机终端组成。为了在信息高速公路上表达地理参考，使之与地理和地球有关的空间信息得以在因特网上准确地表达、描述和查询，需要建立全国的空间数据框架。为此美国于 1994 年提出建立“国家空间数据基础设施（National Spatial Data Infrastructure，简称 NSDI）”。为了将信息技术推进到人们的日常工作、生活和娱乐中，美国又于 1998 年提出了“数字地球”的概念。

国家空间数据基础设施属于国家信息基础设施的一部分，是连接信息高速公路和数

字地球的桥梁，主要包括空间数据协调、管理与分发体系和机构，空间数据交换网（Clearing house），空间数据交换标准以及数字地球空间数据框架。

数字地球空间数据框架（Digital Geo—Spatial Data Framework）是国家空间数据基础设施的核心，它包含了最基本的空间数据集。框架的内容一般包括三种类型的数据，即数字正射影像、数字高程模型和数字线划图（道路、水系、境界以及大地控制点和地名数据库等内容）。这一空间数据框架一方面为研究和观察地球以及地理分析提供了最基本和公用的数据集，另一方面为用户添加各种与空间位置有关的信息提供了地理坐标参考。

二、摄影测量与遥感技术在国家空间数据基础设施建立中的作用

建立国家空间数据基础设施投资最大的项目是建立数字地球空间数据框架。在数字地球空间数据框架的建立中，摄影测量与遥感技术直接或间接地起着极其重要的作用。

一方面，由传统的航空摄影测量方法生产的 1:1 万地形图是数字地球空间数据框架的数据来源之一。按照美国建立国家空间数据基础设施的目标，将来的空间数据要基于 1m 分辨率，而这一分辨率恰好与我国 1:1 万比例尺的地形图相对应，因此，现有的 1:1 万比例尺的地形图应是数字地球空间数据框架的重要资源。通过对这些地形图进行扫描或手扶跟踪数字化，可以获得道路、水系、行政边界、地名注记以及建立数字高程模型所需要的数据点等矢量数据。从这个意义上讲，摄影测量与遥感技术在数字地球空间数据框架的建立中已经起着间接的作用。

另一方面，现代的摄影测量与遥感技术正在成为数字地球空间数据框架数据采集和更新的直接手段。尽管现有地形图数字化是矢量空间数据采集的一种手段，但这种数据采集方式是费时费钱的。例如，美国虽然在十多年前就开始了数字线划地图的建库工作，但至今仍有大量图件未能数字化入库。又如，我国 1:1 万比例尺基础地形图的生产花了 10~20 年的时间，而要将所有这些图件全部更新，并变为数字产品，如果不采取新的技术路线，并增加投入，可能会花费更长的时间。为此必须采用新的作业模式。该模式以生产数字正射影像为主，在生产数字正射影像的同时，生产数字高程模型，另外再叠加大地控制点、交通、水系、境界以及地名数据等。摄影测量与遥感技术、GIS 技术及 GPS 定位技术的发展及其集成应用为这一作业模式的实现提供了技术保证。

首先，卫星遥感技术的发展为空间数据框架的数据采集和更新提供了必要的数据源。虽然传统的航空摄影方式仍然是原始数据获取的一种重要的手段，但其成本高，受天气及人为因素的影响大，获取的胶片影像还需要数字化。高空间分辨率（1~3m）的卫星遥感图像以其高时间分辨率和直接为数字影像的特点，无疑将成为重要的数据源。

其二，数字摄影测量技术是快速生产和更新数字空间数据的必要手段。在数字摄影测量系统平台上，用全数字化和自动化方法快速生产数字高程模型和数字正射影像，并从正射影像上自动或人机交互式地提取各种专题信息，包括道路、水系、居民地等，然

后将这些结果直接送入数据库中，以实现数据库的自动建立和更新、构成地球空间数据框架。

其三，GIS 技术为海量空间数据的存储、管理、分析和应用提供了强有力的技术手段，特别是由于因特网 GIS 技术的发展，人们可以在信息高速公路上寻找所需要的各种地理空间信息，且可以进行地理空间分析。

最后，GIS 定位技术的发展和應用大大加快了数据采集的进程。将 GPS 动态定位技术引入航空摄影测量中，航摄飞行时，GPS 信号接收机与航摄仪协同工作；航摄完毕后，采用基于载波相位观测量的相对动态 GPS 定位方法解求航摄仪在航摄曝光时刻的摄影中心的三维空间坐标，从而大大减少外业控制点的需求量。现代的遥感卫星均采用 GPS 相对动态定位技术进行轨道的跟踪和定位，并采用惯性导航系统（INS）进行传感器姿态的测定，由此提供遥感图像空间定位所需要的外方位参数。

三、我国地球空间数据框架的建立

我国已由国家测绘局采用现有地图数字化的技术建成了国家 1:100 万和 1:25 万矢量化数字地图数据库，目前正在启动的全国 1:5 万和省级 1:1 万数字地球空间数据框架的建设将采用多种技术并存的方式，包括现有地图数字化、解析摄影测量、数字摄影测量。尽管这些技术在理论上已基本成熟，但要用于大规模生产，还有许多问题需要研究，为此国家测绘局于“九五”期间专门列立了“省级基础地理信息系统示范工程的研究”课题，由广东省国土厅和武汉测绘科技大学共同组织实施。通过以广东省为实验区开展的试验研究，分别就数字高程模型、数字正射影像和数字线划图的生产，提出了一套适合我国国情的生产作业流程。各省测绘局根据自身的仪器设备条件，按照相应的生产作业流程进行各省的 1:1 万数字地球空间数据框架的建设。

第二节 摄影测量与遥感技术在线路设计中的应用

道路（包括公路、铁路）的线路设计是道路工程的基础工作和重要组成部分，其成果直接关系到新建道路的线路是否经济合理，也关系到道路工程的质量。道路的理想位置是沿着平坦、径直的方向延伸、但由于实际的地物地貌错综复杂，不可能建成这样理想的线路。所以，线路应尽量采用直线以及较大半径的曲线连接，以缩短线路的长度，节省造价及营运消耗，而在纵断面上应尽量减小其坡度，以提高行车速度。同时道路线路还应绕避不良地质和水文地质，以保证道路工程的质量，另外，道路还应尽量绕避重要的建筑物以及少占农田等。

为了满足上述线路设计要求，必须利用道路沿线的地形（地物、地貌）、地质、水文等资料。摄影测量与遥感技术是提供这些资料的有效手段。

摄影测量与遥感技术在线路设计中的应用主要表现在两个方面。一方面，航空摄影

测量所获得的地形图和断面图以及数字高程模型是线路设计在主要资料；另一方面，航空或卫星遥感图像可直接或间接地提供大量的有关各种地物属性的信息，为解译各种地质现象和水文要素，创造良好的条件。

早在 50 年代，我国就开始将摄影测量与遥感技术应用到道路特别是铁路线路设计中，几十年来已有很多成功应用的实例，取得了可喜的成果。现举几个典型实例略加说明。

例一是兰（州）新（疆）铁路的选线。在 1954 年，国家为了把铁路修到新疆，开发大西北，决定修建一条 2000 余公里的兰州至新疆的铁路。当时一无地形资料，二无地质资料，如何能快速地完成铁路干线的勘测选线工作，确实是一个困难的问题，尤其是兰新线东段，地形、地质条件十分复杂，铁路穿越甘肃与新疆交界的星星峡山岭，在小比例尺军用地图上仅能概略地估计有七处山梁垭口可以通过，但要用人力全部测绘七处垭口的地形，短期内是不可能的。为此铁道部于 1955 年确定在兰新线上采用航空勘测的方法进行兰新线的选线工作。摄影工作完成之后，利用航空像片很快便确定了通过星星峡垭口的方案。地质人员从航空像片上很容易地勾绘出了沙漠、沼泽、盐湖、碱滩等不良地质的分布范围，从而选出了经济合理的线路方案，大大加快了兰新铁路的勘测工作。

例二是天（津）保（定）大（同）铁路的选线（1981 年 4 月～1982 年 2 月）。该线全长 540km，穿越华北平原区、太行山脉南延的山区和山间盆地。除华北平原区的地形地质条件比较简单外，其余地段的地形、地质、水文条件都比较复杂。全线共收集了不同时相、不同比例尺的航空像片 200 余张，陆地卫星 MSS4、5、6、7 波段的黑白图像及 MSS4、5、7 波段假彩色合成图像 40 幅。通过对这些图像的室内目视解译和外业的重点验证，编制了 1:1 万比例尺工程地质图，为线路专业人员确定主要推荐方案提供了可靠的基础资料。

例三是集（宁）通（辽）铁路的选线（1984 年 1 月～1985 年 3 月）。集宁至通辽铁路全长 960km，东西横贯内蒙古自治区的东部，途经大兴安岭山脉南端的中山区。线路所经之处人烟稀少、交通不便，而且需要绕避沙丘、沼泽等不良地质现象分布地段。全线共收集航片、卫星像片 8000 张（幅），并对局部地段的陆地卫星 MSS 图像进行计算机图像处理。由于工作区内突出的工程地质问题是沙地和沼泽等不良地质，而沙地、沼泽地在遥感图像上具有特殊的影像特征，解译效果极佳，因而在较短的时间内就准确地查明了沙地中的固定沙丘、半固定沙丘和活动沙丘的分布和沼泽地范围。上述工作为大面积选线，确定主要方案，提供了良好的基础资料。

此外，在韶（关）柳（州）线（1973 年 7 月～1974 年）、青藏铁路格尔木至拉萨段（1975 年～1976 年）、川藏铁路等线路设计中均成功地应用了摄影测量与遥感技术。在公路特别是高等级公路的线路设计中，摄影测量与遥感技术也同样发挥了极其重要的作用，在此不再赘述。

随着技术的不断进步和设备的不断更新，摄影测量与遥感技术必将在线路设计中发挥更大的作用。在五六十年来，选线工作主要基于立体坐标量测仪、立体量测仪、多倍

仪等简单的模拟仪器以及航空像片；进入 70 年代以后至 80 年代，精密立体测图仪和解析测图仪的引入，数字高程模型概念的提出和应用，使测图精度和选线速度大幅度提高，而多波段卫星遥感图像为提高地质现象解译的精度和可靠性提供了保证；进入 90 年代以后，遥感图像分辨率的提高、数字摄影测量系统功能的完善、GPS 定位技术的普及使用、地理信息系统技术的发展等等，使道路选线工作更趋于自动化。

第三节 遥感技术在农业中的应用

遥感技术在农业中的应用主要表现为：利用遥感技术可以进行土地资源的调查与监测；可以识别各类农作物，计算其种植面积，并根据作物生长情况估计产量；在作物生长过程中，可以利用遥感技术分析其长势，及时进行灌溉、施肥和收割等；当农作物受害时，可以及时预报和组织防治工作，等等。

一、土地资源调查与监测

土地是最宝贵的自然资源和最基本的生产资料，而土地资源则是指在一定时期一定科学水平上能够利用且取得财富的土地。一个国家或地区，土地资源的数量多寡、质量优劣、合理利用程度，不仅是反映生产力水平和发展潜力的标志，而且也是制定生产计划、发展国民经济的主要依据。现代遥感技术的多波段性和多时相性，十分有利于以绿色植物为主体的再生资源（如植物、水体、土地利用等）的研究，因此，遥感技术是调查土地资源数量、质量和分布的重要手段。

土地资源是包括气候、地形、表层岩石、土壤、植被（农作物、森林和草原）和水文等自然要素的综合体。国际上于 50 年代开始大量地使用航空像片进行以土壤为主体的土地资源调查工作，70 年代开始利用卫星影像对一些原来缺乏资料的第三世界国家进行中比例尺制图。我国利用航空像片进行土壤制图的试验开始于 60 年代，但正式大量使用是从 1979 年全国第二次土壤普查开始的。从 1979 年到 1993 年，由农业部全国土壤普查办公室主持的“第二次全国土壤普查”，首次以 1:1 万 ~ 1:5 万航空像片为主要数据源，结合使用地形图，进行了县级土壤调查，此后又以卫星遥感 MSS、TM 影像进行专区级和省级汇总。由于中国的国土面积大，土壤类型丰富，遥感技术的应用保证了调查工作在短时间内得以高质量地完成。

我国草场资源调查始于 80 年代初期。利用陆地卫星图像，对内蒙古草场资源进行了系统调查，并利用绿度值对产草量进行了计算与预报，而且建立了草原遥感监测数据库。

利用航空像片进行“全国土地利用现状调查”工作始于 1987 年。由于我国的土地利用现状调查是与土地的权属调查相结合的，几何精度要求高，因此在县一级多采用像片平面图或正射影像图作为量算面积的依据。

土地资源是一个变化的综合体，特别是一些人为经营得不合理的地区，往往引起土壤侵蚀、土壤沙漠化和土壤次生盐渍化等，即所谓土地资源退化等问题。利用同一地区不同时相的遥感影像进行叠加、解译及对比分析，就可以准确地看出该地区土地资源的变化。因此，遥感技术对于土地资源的动态监测，特别是对于一些交通不例或面积大的地区的监测问题，具有极大的优越性和现实意义。

在我国，遥感技术应用于土壤侵蚀的研究是从 1981 年对永定河上游的土壤侵蚀研究开始的，它首先利用卫星遥感影像提供的土壤侵蚀因子信息（地形、坡度、岩性、植被等），以通用土壤侵蚀方程为基础建立土壤侵蚀模式，并与相应地区的水文观测站的输沙模式量相叠合，进行土壤侵蚀量因子分析和区域侵蚀模式计算。“七五”期间对此模式在黄土高原上进行了小流域的定位观测验证。1985 年～1993 年间利用 TM 影像对全国进行了土壤侵蚀的清查工作，编绘了 1:5 万（部分地区 1:25 万～1:10 万）土壤侵蚀图，并将全部土壤侵蚀因子编码建模制图，使这项工作第一次有了“专家知识”的支持，而且全国的水蚀、风蚀和融冻侵蚀都采用统一的分类标准，统一编码制图，并输入计算机。

从 1996 年开始，由原国家科委、国家土地局和农业部主持了“全国基本农田保护与监测”工作，它试图利用大比例尺航空像片与中比例尺卫星影像，采用 GIS 和 GPS 相结合的高新技术，使我国土地资源调查与监测在技术上有一个突破。

二、农作物估产与监测

农作物的产量对于一个国家的发展影响较大，特别是我国这样一个人口众多的农业大国，预测农作物的产量情况就显得十分重要。

农作物估产基本上分两个方面，一是大面积估产，它可以用卫星影像进行生态分区，而在各个生态区根据历史产量建立各自的产量模拟公式，并根据每年的气候条件进行修正。NOAA 气象卫星影像已被用于进行生物量模拟计算。另一方面是小区估产，它是将大比例尺航片与小比例尺卫星影像结合使用的一种方法，其中，美国的“框图面积取样”方法是被联合国粮农组织推行使用的方法。

美国一直很重视利用卫星影像进行农作物估产的研究，它是美国农业部遥感研究的一个重要方面。在我国，农作物遥感估产的研究基本上可分为三个阶段。

第一个阶段是 1980 年，由北京农业大学和北京市农科院联合，采用“框图面积取样”方法，在北京顺义进行试验。这一方法是集统计估产、农学估产、气象估产和遥感光谱估产于一体的综合遥感估产。

遥感估产的第二阶段是 1984 年由中央气象局主持的“全国冬小麦 NOAA 卫星遥感综合估产”的研究项目，其特点是：

（1）充分利用 NOAA 卫星的宏观优势，如同美国的大面积农作物估产计划一样，对全国的冬小麦进行了宏观地理分布调查，根据气候—生物特点，分区建立绿度值订正，使不同地理区的绿度值有可比性；

(2) 充分研究了小麦不同生长期的不同绿度值特点, 因此可在不同生长期利用不同的绿度值图;

(3) 研究了不同的估产模式, 并利用微机进行网络通讯与计算。

遥感估产的第三阶段是 1990 ~ 1995 年, 在此期间, 中科院主持了“重点产粮区主要农作物遥感估产”的攻关课题。这一课题的特点是:

(1) 除研究小麦外, 也涉及了玉米与水稻等主要粮食作物的遥感估产研究;

(2) 充分利用 TM 影像的多波段特性及较高空间分辨率(相对 NOAA 而言), 进行图像的模式识别研究, 对一些单一小麦、套作小麦、玉米及其它土地利用类型进行了提高面积解译精度的研究;

(3) 在研究中, 使 RS 与 GIS 相结合, 以便进行空间数据的处理和分析(见图 4-4-1)。

这项研究在山东省高城县 990km² 的面积内进行了试验。试验表明, GIS 与 RS 结合应用于农作物的估产具有广阔的应用前景。

三、农作物生长状况及其生长环境的监测

在遥感图像中, 反映作物生长状况和生长环境的因子主要分为两类, 即作物结构特征和叶子与土壤的光谱特征。

作物结构特征是反映其生长状况的重要因子, 它包含两个方面, 即叶面积指数分布函数和叶倾角分布函数。叶面积指数是影响作物反射率的一个重要因子, 随着作物生长周期的不同, 或者作物是否受到病、虫害的影响, 叶面积指数也随之发生变化, 因此, 叶面积指数可以反映作物的生长状况。叶面积在三维空间中的分布可以用叶面积指数分布函数来确定, 它决定了作物冠层内的分布, 为作物有效地进行光合作用提供了保证。叶倾角分布函数直接影响叶子截取光能的效率, 从而决定了叶子的光合有效面积。不同作物在不同生长期或不同状况有着不同的叶倾角分布, 因此叶倾角分布也是反映作物生长状况的一个重要因子。

反映作物生长状况和生长环境的另外两个重要因子是叶子光谱特征和土壤光谱特征, 它们对作物的反映特性起着重要作用。叶子光谱特征反映叶子内叶绿素含量的状况, 直接决定着叶子光合作用的能力, 是影响作物生长的重要因素, 因此, 作物生长的好坏直接反映在叶子光谱特征上。土壤光谱特征反映土壤的含水量, 土壤肥力等作物生长的环境。土壤含水量和土壤肥力发生变化, 会在土壤的光谱特征上明显体现出来。因此, 土壤的光谱特征是反映作物生长环境的一个重要因子。

利用遥感图像的多波段特征可以进行作物生长状况及其生长环境的监测, 它包括两个方面: 一是通过绿色植物的红光吸收波段和近红外反射波段的光谱特征而对影像进行不同绿度值的数字图像处理, 利用这种绿度值的数字图像, 提取叶面积指数和叶倾角分布信息, 从而了解作物的生长状况。另一方面, 通过卫星影像背景值和热红外波段的影像特征来了解土壤的含水量及肥力, 从而了解作物的生长环境。

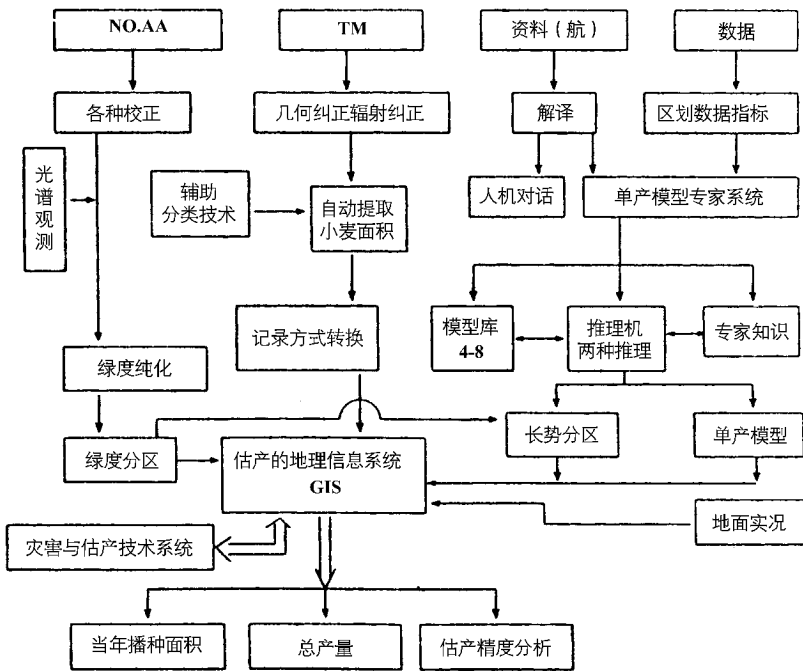


图 4-4-1 GIS 支持的遥感估产运行系统结构框图

随着遥感技术的飞速发展，一些新型传感器，如具有高光谱分辨率的成像光谱仪和多角度深测器等，在作物生长监测中将会发挥更大的作用。例如，成像光谱仪的高光谱数据对叶子和土壤的光谱特征极为敏感，对监测作物生长状况和生长环境具有明显的优势；而利用多角度遥感数据可以反演作物的结构特征，从而分析作物的生长状况和生长环境，掌握其影响因子的变化规律。综合利用这两种数据，发挥各自的长处，就会有利于全面反演作物生长的各种要素。

第四节 遥感技术在林业中的应用

遥感技术在林业中的应用主要表现为可以清查森林资源、监测森林火灾和病虫害。我国在云南腾冲地区的航空遥感试验中，曾根据对航片的判读分析，估算出该地区的森林面积和蓄积量。火灾是森林的大敌，据统计，世界各地每年发生森林火灾多达 20 万起，损失森林资源约千分之一，特别是全球气温变暖，使森林火灾发生的可能性大大增加。利用航空红外遥感技术，不仅能预报已燃烧起来的烈火，而且可以探测到面积小于 $0.1 \sim 0.3\text{m}^2$ 的小火情，还能及时预报由于自燃尚未起火的隐伏火情。利用卫星遥感，一次就可探测到数千平方公里范围内所发生的林火现象。遥感技术在我国扑灭大兴安岭特大林火中起了很大的作用。利用近红外和中红外波段的遥感可以探测到森林病虫害的

情况，通过利用多时相的影像，可以实现病虫害的监测。

一、森林资源调查与动态监测

森林是主要的生物资源，具有分布广、生长期长的特点，森林资源调查是指查清资源的数量、质量、分布特征，掌握森林植被的类型、树种、林分类型、生长状况、宜林地数量和质量的各数据。由于在人为和自然因素的双重作用下，森林资源会经常发生变化，因此，及时准确地对森林资源动态变化进行监测，掌握森林资源变化规律，具有重要的社会、经济和生态意义。

森林资源遥感调查是根据遥感影像特征并辅以其它参考资料（如地形图、森林区划图、土壤图等），通过目视解译或计算机自动识别来实现的。目视解译的一般步骤是：

（1）在航空像片上转绘森林区划界线。

（2）在航片上进行分层判读，区划各类型图斑，标记分层代号，所谓森林分层是以树种、树高、树冠郁闭度等因子为基础，按抽样调查的要求进行的类型区划，它是根据森林分布的一般规律（纬度地带性、经度地带性和垂直地带性），宏观上掌握当地树种的分布；然后根据影像特征（如树冠的形状、大小、色调等）和树种生存与地形水分状态、高程的关系，对树种进行准确识别与分类。

（3）转绘编制分层区划图（森型图和林相图）。将目视解译的各层图斑绘制成图，并进行实地核对。

（4）分别求算各分层的面积。

（5）计算各层及总体蓄积量。通常采用以下方法：

- 间接估计法：根据目视解译的林型分类，经地面抽样调查估计木材蓄积量。
- 直接估计法：根据像片立体观察的树高和树冠直径，通过林分材积表直接查出森林蓄积量。

计算机自动识别的方法也有类似的步骤。

根据同一林区不同时相的遥感图像，可以获得不同时期森林区划图和蓄积量，对此进行对比分析，即可了解森林资源变化的情况。根据其变化规律，可以实现对森林资源的动态监测。

利用航空航天遥感图像进行森林资源调查，国内外已取得很大进展。我国自 60 年代起就积极发展了利用航空影像地面抽样调查技术，进行森林分层的抽样调查，估测森林蓄积量，并在利用航片估测的蓄积量与实测蓄积量之间建立了数量化的回归关系。后又用计算机监督分类法根据陆地卫星多光谱数据对东北林区凉水试验林场进行了森林自动分类的试验。试验证明，这是一种速度快、方法科学、精度可靠的方法，能够为大面积资源清查与监测提供分类面积与图面资料。

利用遥感技术进行大面积的森林资源调查与监测工作是“七五”（1986～1990）期间完成的“三北”防护林遥感综合调查与监测的攻关项目。

“三北”防护林地区位于中国的北部，“三北”是指东北、华北和西北的总称，总面

积为 394.5 万 km^2 ，约占全国陆地面积的 41%。由于自然条件变迁和人为的破坏，这里自然植被十分缺乏，是我国主要的无林少林地区。植被的缺乏造成干旱、风沙、水土流失等严重自然灾害。自然灾害和生态环境的破坏，严重妨碍了这个地区的经济发展。

为改善这个地区的生态环境，推动经济发展，国家从 50 年代起就开始建造防护林，70 年代实施“三北”防护林体系的建设计划，从 1978 年到 1985 年，中央和地方政府对“三北”防护林工程的投资超过 10 亿元人民币。为了解多年来在“三北”地区巨额投资的实际经济效益和生态效益，如造林的实际成活率、建成草场的面积、水土流失和沙漠化情况的变化等，以及了解几年来所采取的经济政策和技术措施的效果，以便为今后防护林体系建设提供科学可靠的依据，中国科学院所属 10 个研究所等 60 余个单位 300 余科研人员进行了“三北”防护林遥感综合调查与监测的联合攻关。该项目的目标是在“三北”造林区应用遥感技术调查防护林的类型、分布、面积和保存率，草地的数量、质量和分布，土地资源类型、分布、数量及利用现状，在此基础上建立资源与环境信息系统，对防护林的防护效果和不同类型地区造林适宜性作出分析评价，为“三北”地区综合治理提供连续可靠的数据、分析资料和图件。为实现这个目标，项目包含以下几个主要内容：

(1) 以航天影像为主要信息源，以县为单位编制比例尺为 1:10 万的专题系列图，包括森林分布图、森林动态图、造林立地条件类型图、草地类型图、草地等级图、土地利用现状图和土地资源评价图。在此基础上，以省为单元编制 1:50 万的森林分布图、宜林地立地条件类型图、草地资源图、土地利用现状图和土地资源评价图，同时编制“三北”全区比例尺的类似图件。

(2) 完成“三北”地区造林重点县再生资源统计和分析。统计数据通过 1:10 万专题图求算面积获取。资源分析的重点是通过对造林、种草保存率和立地条件的比较分析，对名地区造林适宜性管理状况作出科学评价。同时，完成典型地区防护林生态效益分析。

(1) 建立“三北”地区全区和典型县的资源与环境信息系统，实现对森林及其它再生资源的科学管理、动态监测和分析预测。

(4) 开拓遥感技术的基础和前沿技术的研究，包括光谱特性、图像处理、信息工程、专家系统、分析模型和机助制图的研究。

该项目分四个阶段实施，到 1990 年底，很好地完成了上述各项任务。所使用的遥感图像包括陆地卫星 MS3 和 TM 影像、SPOT 卫星 HRV 影像、中国国土卫星影像以及比例尺为 1:13 万、1:7.5 万和 1:3 万的彩红外航空像片，并对各种遥感影像在“三北”防护林地区遥感综合调查中的应用潜力进行了综合评价，得出了以陆地卫星 TM 影像为主，部分地区辅以中国国土卫星影像和 1:13 万彩红外航空像片，从技术和经济方面都是“三北”地区遥感综合调查信息原组合的最优方案。

这项研究为进一步开展大规模森林资源调查与动态监测工作奠定了坚实的基础。

二、森林虫害的监测

森林虫害是影响林业持续发展的主要障碍因素，据统计，我国松林等针叶林约占全部森林面积的二分之一。每年，不同种类的松毛虫危害松林面积 5000 万亩 [1 亩 = (10000/15) m^2] 以上，年损失木材生长量 1000 万 m^3 ，年损失松脂约 5000 万 kg，对生态环境的影响更为严重。由于松毛虫灾多发生在人烟稀少、交通不便的山区，常规地面监测方法很难致年年防治，年年成灾。因此，研究、发展新的虫情监测、预测预报技术方法，是减灾、消灾所面临的重要任务。

国外早已就运用卫星遥感数据评估由空气污染、森林病虫害等引起的针叶林灾害进行了大量研究。研究表明，森林虫害与 TM 图像的比值影像 TM5/4 及 TM7/4 有较好的相关性，利用 TM 数据与数字地形数据相结合，可准确建立起监测森林灾害的模型。利用遥感图像监测森林灾害的理论依据是：当森林遭到灾害侵袭时，在不同尺度上（细胞、树枝、单株树、林分、生态系统）会产生相应的光谱变化，这就是出现诸如变色、黑斑症、失叶、树死以及树林生态系统树种组成发生变化的征兆。因此，根据遥感影像光谱特征的异常可以反映森林遭受病虫害的影响。众多的研究表明，近红外和中红外波段对森林灾害有较高的灵敏度，因而是监测森林灾害不可缺少的光谱通道。

我国在“七五”期间也进行了利用 TM 图像对南方松林地区松毛虫灾害的监测，收到了满意的效果。

三、森林火灾的遥感监测

遥感技术在森林火灾的监测中具有广泛的应用。例如，1987 年 5 月 7 日我国大兴安岭发生火灾后，中国科学院遥感卫星地面站立即与美国陆地卫星控制中心取得了联系，首次成功地接收并处理了东西两个火灾区的火灾形势与火灾位置分布图，并在其后卫星每次路经灾区后几小时，地面站即将灾情的有关数据准确报给灭火指挥部，弥补了气象卫星和遥感飞机无法准确定位以及飞机受火灾影响难以侦察的不足，对灭火救灾的指挥决策价值极高。

在森林火灾研究中，主要使用 TMT 波段以及 TM7、4、3 的合成图像。这是因为，当森林火灾的火焰温度达到 1200K 至 1500K 时，其辐射的峰值波长相应为 2.41μ 和 1.93μ ，正处于 TM7 波段的光谱区间（ 2.08μ 至 2.35μ ），因此 TM7 波段反映燃烧区信息最佳。TM4、3 波段则是反映植被变化信息的最佳波段，又处于光谱的红及红外区，大大减少了烟雾的影响，可以较好地显示火区的火情态势及过火区的灾情状况，而其色调接近自然彩色，容易为林业管理部门和非遥感工作者所接受。

在合成的假彩色 TM 图像上，根据目视解译标志可解译出火灾的灾情分布。灾情等级的划分原则为：

重度灾区，为树冠火、地面火和地下火（地面植被及可燃堆积物内）通过的地区，

火焰温度高，全部立木及幼树、草、灌均被烧死，图像上的特征显示为褐色连片区域。

中度灾区，主要是地面火及树冠火通过的区域，图像显示为在褐色背景上分布细碎的绿色区，表明林中的立木、地被植物及部分树冠被烧、幼树及部分立木被烧死。

轻度灾区，主要是地面火通过区域，立木基本未受损害，图像中显示为与未过火区相似的色调，但稍暗，与中度灾区相比，这种绿色区连片较大。

此外，利用灾后不同时相的 TM 图像可以监测过火区林木恢复的情况。

第五节 遥感技术在地质矿产勘查中的应用

遥感技术为地质研究和勘查提供了先进的手段，可为矿产资源调查提供重要依据和线索，对高寒、荒漠和热带雨林地区的地质工作提供有价值的资料。特别是卫星遥感，为大区域甚至全球范围的地质研究创造了有利条件。

一、区域地质填图中的应用

遥感技术在地质调查中的应用，主要是利用遥感图像的色调、形状、阴影等标志，解译出地质体类型、地层、岩性、地质构造等信息，为区域地质填图提供必要的数据库。

区域地质填图是区域地质调查的主要内容，为了提高填图质量，实现计算机成图，近几年我国在一些省区先后开展了应用遥感技术进行 1:5 万、1:20 万、1:25 万比例尺的区域地质填图研究，取得了省时、省力、省填图经费、加速填图速度和保证填图质量的明显效果。为遥感技术在这一领域的推广和实施起到了十分重要的作用。

在内蒙古、山东、辽宁、北京等近十个省市开展的 1:5 万区域调查中，使用了彩红外航片、黑白航片、TM 卫星影像及侧视雷达图像，结果表明遥感资料在岩性识别、断裂解译、侵入岩体单元超单元划分及新生界成因划分和矿产信息分析等方面均具有优势。而航片与地形图的结合使用则使界线跟踪、范围圈定更加直观、准确。

在 1:25 万区域地质填图研究中，利用彩红外图像、TM 图像和计算机处理方式能有效地进行沉积岩、变质岩、岩浆岩的解译，建立的遥感地质单元符合 1:25 万区域地质填图单元的技术要求。

二、地质矿产调查中的应用

遥感技术在矿产资源调查中的应用，主要是根据矿床成因类型，结合地球物理特征，寻找成矿线索或缩小找矿范围，通过成矿条件的分析，提出矿产普查勘探的方向，指出矿区的发展前景。

我国有“七·五”、“八·五”期间在全国很多地区都曾利用遥感技术进行地质找矿研究，总结了一套普遍适合于地质找矿的遥感地质找矿理论和方法。例如，新疆国家 305

办公室与地矿部、中科院自 80 年代中期以来,成功地利用航空彩红外技术、航空多光谱技术和航天遥感技术(TM、SAR)在东、西准噶尔、阿舍勒、多拉纳萨依、东昆仑、西天山等地开展地质找矿研究。通过对这些地区的遥感资料解译分析和计算机信息增强与提取处理,编制了不同比例尺的遥感地质解译图及成矿预测和找矿靶区解译图,在综合物探、化探、地质资料的基础上,对成矿构造、成矿规律、成矿条件和矿化蚀变进行了系统的研究,取得了新的认识,建立了成矿远景地段及靶区优选的遥感地质找矿模式,圈定的一批找矿靶区和大至超大型找矿靶区具有很大的找矿前景和社会经济价值。青海柴达木盆地南北缘地区、甘肃北山地区、西南三江以及秦岭地区都是常规地质工作极困难地区。近年来利用遥感技术作为先导性的基本手段,在这些地区发展了重要的找矿线索。

三、工程地质勘查中的应用

在工程地质勘查中,遥感技术主要用于大型堤坝、厂矿及其它建筑工程选址、道路选线以及由地震和暴雨等造成的灾害性地质过程的预测等方面。例如,山西大同某电厂选址、京山铁路改线设计等,由于从遥感资料的分析中发现过去资料中没有反映的隐伏地质构造,通过改变厂址与选择合理的铁路线路,在确保工程质量与安全方面起了重要的作用。在水文地质勘查中,则利用各种遥感资料(尤其是红外摄影、热红外扫描成像),查明区域水文地质条件、富水地貌部位,识别含水层及判断充水断层。如美国在夏威夷群岛,用红外遥感方法发现 200 多处地下水出露点,解决了该岛所需淡水的水源问题。

近几年来,我国高等级公路建设如雨后春笋般进入了新的增长时期,如何快速有效地进行高等级公路工程地质勘查,是地质勘查面临的一个新问题。通过多条线路的工程地质和地质灾害遥感调查的研究表明,遥感技术完全可应用于公路工程地质勘查。

遥感工程地质勘查要解决的主要问题有:(1)岩性体特征分析。主要应查明岩性成份、结构构造、岩相、厚度及变化规律、岩体工程地质特征和风化特征,并应特别重视对软弱粘性土、胀缩粘土、湿陷性黄土、冻土、易液化饱和土等特殊性质上的调查。(2)灾害地质现象调查。即对崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、煤田采空区的分布状况及沿路地带稳定性评价进行研究。(3)断层破碎带的分布及活动断层的活动性分析研究也是遥感工程地质勘查的研究内容。

研究表明,利用遥感技术的多平台、多时相、多波段的特征,可以快速地获取地球表面及以下的光谱和空间信息,通过解译分析,能解决公路工程地质勘查中的问题。与常规方法比较,该方法具有以下特点:

- (1) 以较少的投资快速查明工程区的工程地质条件;
- (2) 遥感图像可以满足不同比例尺线路工程地质调查的需要;
- (3) 遥感调查易于发现地面调查难以发现的地质问题;
- (4) 遥感调查有利于最佳线路方案的优选,节省投资、消除隐患和减少损失。

第六节 遥感技术在煤炭工业中的应用

煤炭是中国的主要能源之一，占全国能源消耗总量的 70% 以上。煤炭工业的发展布局对国民经济的发展具有直接的影响。由于行业的特殊性，煤炭工业长期处于劳动密集型的低技术装备状况，从煤田地质勘探、矿井建设到采煤生产各阶段都一直在打着“人海战术”。因此，如何在煤炭工业领域引入高新技术，是中国政府和煤炭系统科研人员的共同愿望。

中国煤炭工业规模性应用航空遥感技术始于 60 年代。60 年代煤炭部航测大队的成立，标志着中国煤炭步入真正应用航空遥感阶段。到 70 年代末、80 年代初，煤炭部遥感地质应用中心的成立，拉开了航天遥感应用于煤炭工业的序幕。

一、航空航天遥感在煤炭工业中的应用效果

研究煤层在光场、热场内的物性特征，是煤炭遥感的基础工作。

大量研究表明，煤层在光场中具有如下反射特征：煤层在 $0.4 \sim 0.8\mu\text{m}$ 波段，反射率小于 10%；在 $0.9 \sim 0.95\mu\text{m}$ 之间的现峰值，峰值反射率小于 12%；在 $0.95 \sim 1.1\mu\text{m}$ 之间，反射率平缓下降。煤层与其它岩石相比，反射率最低，在 $0.4 \sim 1.1\mu\text{m}$ 波段中，煤层反射率低于其它岩石 5% ~ 30%。

煤层在热场中具有周期性的辐射变化规律，即煤层在地球周日旋转中，因受太阳电磁波的作用不同，冷热异常交替出现，白天在日过上中天后出现热异常；夜间在日落到日出之间出现冷异常。

上述研究表明，热红外遥感是煤炭工业的最佳应用手段。利用各种摄影或扫描手段获取的热红外遥感图像，可用于识别煤层，探测煤系地层。经过 30 多年的理论研究和试验，遥感技术在中国煤炭工业中取得了显著的应用效果。具体表现在以下几个方面。

（一）应用于发展能源工业的战略决策

应用卫星图像数据，综合调查能源基地的煤、电、水、路现状和资源环境、投资条件，编制 1:100 万“晋陕蒙宁豫”能源基地卫星影像地图，面积 117 万 km^2 ，调查煤炭储量 5000 亿 t，编制 1:50 万山西能源基地遥感系统图，面积 15.7 万 km^2 ，调查煤炭产量占全国总产量的 30%。为煤炭工业向西部转移，为国务院发展能源工业的战略布置，提供科学的决策依据。

（二）应用于煤田区域地质调查

中国东部经济发达，现有煤炭储量已经全面开发，急需寻找新的煤炭资源。应用卫

星图像数据，从构造入手，重新认识煤田的构造形态，在东部地区进行 1:50 万、1:20 万煤田区域地质调查，寻找含煤可采地段，适应东部急需。

（三）应用于煤田预测

在大兴安岭中段以西 7 万 km^2 范围内，应用卫星图像数据，开展煤田预测，进行 1:50 万、1:20 万煤田地质解译，共圈定 18 个含煤盆地，新增 4 个含煤预测区，新增煤炭预测储量 540 亿 t_0 。

（四）应用于普查找煤，发现乌尼特煤田

应用陆地卫星图像数据，对乌尼特一带 1 万 km^2 面积内，进行盆地地质解译，编制 1:10 万遥感地质图。通过对成煤条件分析，确定乌尼特盆地 3200 km^2 面积内，进行航片解译，编制 1:5 万煤田地质图，确定隐伏的煤层，经钻探验证，解译可靠程度达 80% 以上，获得普查找煤储量 34 亿 t_0 。

（五）应用于煤田地质填图

应用遥感技术进行了 1:50 万、1:20 万、1:10 万、1:5 万、1:2.5 万、1:1 万、1:5000、1:2000 等八种比例尺煤田地质填图，经过检测、验收，符合规范要求。其中 1:1 万、1:5000、1:2000 等 3 种大比例尺煤田地质填图，在 24 个省、市、自治区推广应用中，工效提高 3~7 倍，成本降低一半。

（六）应用于探测煤矿火区

煤层自燃发火，在干旱的北方侏罗纪煤田普遍发生，大面积破坏煤炭资源，是煤矿生产的主要灾害。应用航空热红外扫描图像，圈定火区范围；应用航空彩红外摄影像片确定燃烧与未燃烧区分界限，为保护煤炭资源、合理开发和煤矿灭火直接提供可靠的依据。

（七）应用于煤矿治水

1984 年开滦范各庄煤矿发生特大突水事故。经组织航天、航空、地面三层空间同步遥感和多时相航空遥感飞行，结合地面调查，确定王喜庄活动断层是井下主要涌水通道，为煤矿治水救灾，提供了正确的决策依据。

（八）应用于调查井下采空后的地面沉降

煤矿井下采空后地面沉降，是大矿老矿的主要后患。应用航空彩红外摄影像片，确定沉降位置；应用多时相图像，确定沉降地区的发展方向、沉降速度及影响范围，为居民搬迁、经费赔偿提供证据。

（九）应用于煤矿地面地质灾害调查

应用航空遥感图像，对铜川煤矿进行地面地质灾害调查，在 255km² 范围内，共确定崩塌 56 处，滑坡 154 处。经过井上井下对照解译，确定其中 90% 与煤矿生产活动有关。采用多时相航空遥感图像解译，对矿区 20 年来的变迁、滑坡发生发展作定量动态分析，总结出井下采空后的十年内，是地面上滑坡、崩塌集中发生的时段。

（十）应用于调查煤矿环境污染

煤矿是区域污染源，包括大气污染、地面污染和水污染。采用航空彩红外摄影和热红外扫描组合手段，进行多时相飞行，调查矿区污染情况。遥感技术在确定污染源、污染范围、污染程度等方面，是其它方法无可比拟的有效技术手段。

二、遥感与 GIS 相结合在煤炭工业中的应用

GIS 技术已用于我国的煤炭工业，包括：GIS 用于煤田地质勘探；GIS 用于煤矿建设决策；GIS 用于煤矿生产管理；GIS 用于煤矿灾害监测。

从遥感及 GIS 的发展趋势和中国煤炭工业的需要来看，遥感与 GIS 相结合在中国煤炭领域的应用具有广阔的前景。为达到这一目的，必须进行的理论及应用研究包括：多平台、多波段、多时相信息融合技术研究，航天、航空、地面、井下四位一体研究，即将“星、机、地、井”有机结合，通过多源信息融合与分析，解决煤炭生产中的重大问题，如矿井突水、煤炭自燃、地质灾害、煤矿环境等；勘探、建井、生产三阶段系统工程研究；遥感、GIS、GPS 三技术集成应用研究，建立集 RS、GIS、GPS 于一体、适合煤炭工业应用、综合多功能型的 GIS。

第七节 遥感技术在油气资源勘探中的应用

油气资源勘探与其它领域一样，由于遥感技术的迅速渗透而充满生机。油气资源遥感勘探以其快速、经济、有效等特点而引人注目，受到国内外油气勘探部门的高度重视。80 年代以来，美国、前苏联、日本、澳大利亚、加拿大等国都进行了油气遥感勘探方法的试验研究。例如，美国于 1980 ~ 1984 年间分别在怀俄明州、西弗吉尼亚州、德克萨斯州选择了三个油气区，利用 TM 图像，结合地球化学和生物地球化学方法，进行油气资源遥感勘探研究。自 1977 年起，我国地矿部先后在塔里木、柴达木等地进行了油气资源遥感勘探研究，取得了不少成果和实践经验。

目前，国内外的油气遥感勘探主要是基于 TM 图像提取烃类微渗漏信息。地物波谱研究表明，2.2 μ m 附近的电磁波谱适宜鉴别岩石蚀变带，用 TM 影像检测有一定的效果。但 TM 图像相对较粗的光谱分辨率和并不覆盖全部需要的波段工作范围影响了其提

取油气信息。90 年代蓬勃发展的成像光谱遥感技术，因其具有很高的光谱分辨率和灵敏度，将在油气资源遥感勘探中发挥更大的作用。

利用遥感方法进行油气靶区预测的理论基础是：地下油气藏上方存在着烃类微渗漏，烃类微渗漏导致地表物质产生理化异常，主要的异常类型有：土壤烃组分异常、红层褪色异常、粘土丰度异常、碳酸盐化异常、放射性异常、热惯量异常、地表植被异常等。油气藏烃类微渗漏引起地表层物质的蚀变现象必然反映在该物质的波段特征异常上。大量室内、野外原油及土壤波谱测量表明：烃类物质在 $1.725\mu\text{m}$ 、 $1.760\mu\text{m}$ 、 $2.310\mu\text{m}$ 和 $2.360\mu\text{m}$ 等处存在一系列明显的特征吸收谷，而在 $2.30 \sim 2.36\mu\text{m}$ 波段间以较强的双谷形态出现。遥感方法通过测量特定波段的波谱异常，可预测对应的地下油气藏靶区。

由于土壤中的一些矿物质（如碳酸盐矿物质）的吸收谷也在烃类吸收谷的范围，这给遥感探测烃类物质带来了困难。因此，要区分烃类物质的吸收谷必须实现窄波段遥感探测，即要求传感器具有高光谱分辨率的同时具有高灵敏度。

近年来发展的机载和卫星成像光谱仪是符合上述要求的新型成像传感器。例如，中科院上海技术物理所研制的机载成像光谱仪的功能是通过细分光谱来提高遥感技术对地物目标分类和目标特性识别的能力。如可见光/近红外（ $0.64\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$ ）设置 32 个波段，光谱取样间隔为 20nm ；短波红外（ $1.4\mu\text{m} \sim 2.4\mu\text{m}$ ）设置 32 个波段，光谱间隔为 25nm ； $8.20\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$ 热红外波段细分为 7 个波段。成像光谱仪的工作波段覆盖了烃类微渗漏引起地表物质“蚀变”异常的各个特征波谱带，是检测烃类微渗漏特征吸收谷的较为有效的传感器。通过利用成像光谱图像结合地面光谱分析及化探数据分析进行油气预测靶区圈定的试验，证明成像光谱仪是一种经济、快速、可靠性好的非地震油气勘探技术，将在油气资源勘探中发挥重要的作用。

第八节 遥感技术在水文学和水资源研究中的应用

遥感技术既可观测水体本身的特征和变化又能对其周围的自然地理条件及人文活动的影响提供全面的信息，为深入研究自然环境和水文现象之间的相互关系，进而揭露水在自然界的运动变化规律，创造有利条件。又由于卫星遥感对自然界环境动态监测比常规方法更全面、仔细、精确，且能获得全球环境动态变化的大量数据与图像，这对于研究区域性的水文过程，乃至全球的水文循环、水量平衡等重大水文课题具有无比的优越性。因此，在陆地卫星图像广泛的实际应用中，水资源遥感已成为最引人注目的一个方面，遥感技术在水文学和水资源研究中已发挥了巨大的作用。在美国陆地卫星图像应用中，水文学和水资源方面所得的收益首屈一指，其中减少洪水损失和改进灌溉这二项就占陆地卫星应用总收益的 41.4%。

遥感技术在水文学和水资源研究方面的应用主要有：水资源调查、水文情报预报和区域水文研究。

一、水资源调查

利用遥感技术不仅能确定地表江河、湖沼和冰雪的分布、面积、水量和水质，而且对勘测地下水资源也是十分有效的。在青藏高原地区，经对遥感图像解译分析，不仅对已有湖泊的面积、形状修正得更加准确，而且还新发现了 500 多个湖泊。我国利用陆地卫星资料分析计算地表水资源的研究工作已先后在山西、浙江、内蒙古等地取得进展。

地表水资源的解译标志主要是色调和形态，一般说来，对可见光图像，水体混浊、浅水沙底、水面结冰和光线恰好反射入镜头时，其影像为浅灰色或白色；反之，水体较深或水体虽不深但水底为淤泥，则其影像色调较深。对采红外图像来说，由于水体对近红外有很强的吸收作用，所以水体影像呈黑色，它和周围地物有着明显的界线。对多光谱图像来说，各波段图像上的水体色调是有差异的，这种色调差异也是解译水体的间接标志。利用遥感图像的色调和形态标志，可以很容易地解译出河流、沟渠、湖泊、水库、池塘等地表水资源。

埋藏在地表以下的土壤和岩石里的水称为地下水，它是一种重要资源。按照地下水的埋藏分布规律，利用遥感图像的直接和间接解译标志，可以有效地寻找地下水资源。一般来说，遥感图像所显示的古河床位置、基岩构造的裂隙及其复合部位、洪积扇的顶端及其边缘、自然植被生长状况好的地方均可找到地下水。

地下水露头、泉水的分布在 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 的热红外图像上显示最为清晰。由于地下水和地表水之间存在温差，因此，利用热红外图像能够发现泉眼。

用多光谱卫星图像寻找地下浅层淡水及其分布规律也有一定的效果。例如，我国通过对卫星像片色调及形状特征的解译分析，发现惠东北地区植被特征与地下浅层淡水密切相关，而浅层淡水空间分布又与古河道密切相关，由此可较容易地圈出惠东北地区浅层淡水的分布。

二、水文情报的预报

水文情报的关键在于及时准确地获得各有关水文要素的动态信息。以往主要靠野外调查及有限的水文气象站点的定位观测，很难控制各要素的时空变化规律，在人烟稀少、自然环境恶劣的地区，更难获取资料。而卫星遥感技术则能提供长期的动态监测情报。国外已利用遥感技术进行旱情预报、融雪经流预报和暴雨洪水预报等。遥感技术还可以准确确定产流区及其变化，监测洪水动向，调查洪水泛滥范围及受涝面积和受灾程度等。

三、区域水文研究

在区域水文研究方面，国外已广泛利用遥感图像绘制流域下垫面分类图，以确定流

域的各种形状参数、自然地理参数和洪水预报模型参数等。此外，通过对多种遥感图像的解译分析，还可进行区域水文分区、水资源开发利用规划、河流分类、水文气象站网的合理布设、代表流域的选择以及水文实验流域的外延等一系列区域水文方面的研究工作。

第九节 遥感技术在海洋研究中的应用

海洋覆盖着地球表面积的 71%，容纳了全球 97% 的水量，为人类提供了丰富的资源和广阔的活动空间。随着人口的增加和陆地非再生资源的大量消耗，开发利用海洋对人类生存与发展的意义日显重要。据统计，全世界海洋经济总产值到 1985 年为 3500 亿美元，如今已突破 1 万亿美元。海洋对全球自然环境和自然灾害的发生起着举足轻重的影响，而人类活动又反作用于环境，破坏了自然界的平衡。

因为海洋对人类非常重要，所以，国内外多年来投入了大量的人力和物力，利用先进的科学技术以求全面而深入地认识和了解海洋，指导人们科学合理地开发海洋，改善环境质量，减少损失。常规的海洋观测手段时空尺度有局限性，因此不可能全面、深刻地认识海洋现象产生的原因，也不可能掌握洋盆尺度或全球大洋尺度的过程和变化规律。在过去的 20 年中，随着航天、海洋电子、计算机、遥感等科学技术的进步，产生了崭新的学科——卫星海洋学。它形成了从海洋状态波谱分析到海洋现象判读等一套完整的理论与方法。海洋卫星遥感与常规的海洋调查手段相比具有许多独特优点：第一，它不受地理位置、天气和人为条件的限制，可以覆盖地理位置偏远、环境条件恶劣的海区及由于政治原因不能直接去进行常规调查的海区。卫星遥感是全天时的，其中微波遥感是全天候的。第二，卫星遥感能提供大面积的海面图像，每个像幅的覆盖面积达上千平方公里。对海洋资源普查、大面积测绘制图及污染监测都极为有利。第三，卫星遥感能周期性地监视大洋环流、海面温度场的变化、鱼群的迁移、污染物的运移等。第四，卫星遥感获取海洋信息量非常大。以美国发射的海洋卫星（Seasat-1）为例，虽然它在轨有效运行时间只有 105 天，但它所获得的全球海面风向风速资料，相当于上一个世纪以来所有船舶观测资料的总和，星上的微波辐射计对全球大洋做了 100 多万次海面温度测量，相当于过去 50 年来常规方法测量的总和。第五，能进行同步观测风、流、污染、海气相互作用和能量收支平衡等。海洋现象必须在全球大洋同步观测，这只有通过海洋卫星遥感才能做到。

目前常用的海洋卫星遥感仪器主要有雷达散射计、雷达高度计、合成孔径雷达（SAR）、微波辐射计及可见光/红外幅射计、海洋水色扫描仪等。以下分别简单介绍它们在海洋观测中的应用。

一、雷达散射计

这是一种主动式斜视观测的微波装置。特定频率的雷达波脉冲照射到粗糙海面所产生的布喇格后向散射回波信号，可以反演出海面风速、风向、风应力以及海面波浪场，用于研究海洋工程和预报海浪、风暴。

二、星载雷达高度计

星载雷达高度计也是一种主动式微波传感器。测量脉冲经海面反射之后的往返时间可得出卫星的高度，用它可进行下列测量：

（一）大地水准面

大地水准面可以反演重力异常，又与地下物质密度分布、洋中脊、断裂带、海沟等相关。这对地质深测和海洋测绘意义重大。Geosat 卫星中的高度计，获得的数据准确，时间跨度长。ERS-1 卫星的高度计测高精度优于 10cm，TOPEX/POSEIDON 测高精度 RMS（均方根）小于 $\pm 2 \sim 4\text{cm}$ 。我国利用 Geosat 高度计数据计算了东海大地水准面高度。

（二）海水

高度计对冰冠和极地研究具有很大价值。利用 Seasat 和 GOS-3 星载雷达高度计能准确地测量冰面高度和冰的体积，因而能跟踪陆冰层，还可测量海上冰盖的消长，监测海冰的分布和运动。这对全球海平面和气候变化的研究是至关重要的。

（三）潮汐

高度计观测潮汐的突出特点是能提供全球大洋潮高分布，使潮汐的动力方程数值解的置信度大大提高。还可以反映地壳构造的信息。

（四）水深

根据 Seasat 高度计数据可以绘出相对于基准椭球面的平均海平面等高线图。该图基本上包含大地水准面的信息。从该图可以一目了然地看出海沟和洋中脊等迄今未知的大洋水深的主要特征。

（五）海面风强度和有效波高

由高度计的后向散射截面积可以反演海面粗糙度。高度计测量有效波高的精度和准确度不低于现场测量仪器。由微波高度计与微波散射计测得资料还可以计算出波能密度。利用高度计数据对风速的估计，在风速为 $0 \sim 10\text{m/s}$ 范围内，误差低于 1m/s 。

（六）厄尔尼诺现象

利用星载高度计测量出赤道太平洋海域海面高度的时间序列，可以分析出其大尺度波动传播和变化特征，对“厄尔尼诺”现象的出现和发展进行预报。

（七）海洋大中尺度环流

卫星高度计能在整个大洋范围测出海面动力高度，它是监测大洋环境的唯一手段。

三、合成孔径侧视雷达（SAR）

SAR 图像在海洋研究中的应用主要包括以下几个方面：

（1）通过对 SAR 图像作快速傅里叶变换，可确定二维的海浪谱及海表面波的波长、波向和内波。这对国民经济建设和军事应用都具有重大意义，其中尤以可探测出海洋内波的本领在军事上有极大的应用价值。

（2）根据 SAR 图像亮暗分布的差异，可以提取到有关海冰的冰龄、厚度、分布、水-冰边界、冰山高度等重要信息。

（3）利用 SAR 图像不仅可及时发现海洋中较大面积的石油污染，而且可以监测突发性污染事件，依靠连续的 SAR 图像还可以对污染范围和扩散方向进行跟踪。这样的图像可作为执法管理和清污处理的依据。

由于 SAR 图像上的亮暗分布与海底地形、地貌有一种直接相关性，在一定的风浪条件下，可以进行浅海水深和海底地形测绘，对专属经济区勘察与划界提供科学论据，对浅海油气勘探与开发、海底油管和电缆铺设、海上交通运输和海上军事活动等具有重大意义。

四、微波辐射计

海面温度是海洋学研究必测的最基本参数之一，水温是划分水团的主要依据之一，还被用于分析海洋锋和流系。在气象学中，海水温度场是全球气候变化模式的主要输入量，热带气旋的产生，海-气交换和“厄尔尼诺”现象等，都与海水温度相联系。水温是控制生物种群分布及其回游和繁殖过程的基本量，因而在海洋渔场渔情分析预报中占有重要地位。在海洋地质学和地球化学中，水温影响着絮凝过程、沉积过程、化学反应和地球化学过程。另外还有水体的热污染探测，无一不是与水温有关。

微波辐射计是被动微波传感器，是根据测量由海面发射的热辐射温度来遥感海面的温度，以美国 TIROS-N 号卫星上的甚高分辨高辐射仪（AVHRR）为代表的传感器，可以精确地绘制出海面分辨率为 1km、温度精度优于 1℃ 的海面温度图像。通过卫星遥感海面温度得出的全球大洋等温线分布，揭示了以前常规方法所没有发现的复杂现象，甚至纠正了以前所得出的不正确结论。

五、可见光/近红外波段中的多光谱扫描仪

可见光/近红外波段中的多光谱扫描仪（MSS，TM）和海岸带水色扫描仪（CZCS）均为被动式传感器。它能测量海洋水色、悬浮泥沙、水质等。以下为该传感器在海洋几个方面的应用。

（一）在海洋渔业方面的应用

海洋浮游植物是有机物的初级生产者和能量的主要转换者。它的数量变化直接影响海洋中鱼虾等生物资源的数量变化。通常以叶绿素浓度（即水色）来表示浮游植物的含量。在中心波段 0.443nm、0.52nm 和 0.55nm 上可以遥感出海面叶绿素的浓度，并绘制出专题图。通过这些图，配合温度，可以预报、预测中心渔场和渔汛。既能有效地开发渔业，又能避免过度捕捞，保护资源，还可指导水产养殖业。

（二）在海洋污染监测方面的应用

多光谱扫描仪用卫星上的可见光/多光谱辐射传感器不仅可以监测进入海洋中的陆源污染水体的迁移、扩散等动态变化，还能监测石油污染。该传感器在可见光波段测出油污染海区的光谱反射比比洁净海面大。用红光波段监测油膜，用蓝光波段区分油膜和航迹或泥浆水羽流，以达到最佳效果。海湾战争中的溢油就动用了卫星遥感。据欧空局统计，1979 年欧洲国家采用遥感方法监测溢油，至少可以获 370 万美元的收益。多光谱扫描仪还用于监测赤潮。近几年来赤潮已成为我国海洋养殖业的巨大灾星。1989 年 8 月渤海湾的裸甲藻赤潮造成 3 亿元的损失。1989 年 12 月福建东瓷窑村因赤潮 136 人中中毒，1 人死亡。可见光/红外多光谱辐射计可给出赤潮全过程的位置、范围、水色类型、海面磷酸盐浓度变化以及赤潮扩散漂移方向等信息，存入计算机，建立赤潮环境信息管理系统。

（三）在海岸带开发中的应用

多光谱影像是海岸带和海岛岸线、潮滩及河口三角洲动态调查研究中应用最广泛的遥感资料。我国利用 1975 ~ 1986 年的资料对黄河三角洲悬浮泥沙进行了调查；对热带红树林的生长、繁衍、退化和周围环境变化进行了监测；对河口水域悬浮泥沙进行遥感，分析水下动力地貌，如浅滩迁移、河口拦门沙的演变、河道、水槽的淤积状况等；对港湾的建设、港口的保护、海岸保护及河口三角洲开发利用有十分重要的意义；对浅水水深和地形地貌进行测量。利用多光谱扫描仪的 $0.5\mu\text{m} \sim 0.6\mu\text{m}$ 和 $0.6\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$ 波段可遥感浅海水深、绘制浅海地形。在洁净海水中可穿透 22m，精度可达 10%。据统计，我国海洋遥感在海岸调查中获得的经济效益至少节省 4280 万元。在我国港口建设中至少可节省 9200 万元。

（四）在全球尺度海洋科学研究中的应用

（1）在全球碳循环研究中起到不可替代的作用。可以全面了解海洋在现今全球碳循环中的作用和海盆尺度上海洋初级生产者与食物链中高层动物之间的关系。

（2）可进行全球海洋通量研究，可获取太平洋重点海域表面 CO_2 含量的海洋光学特性。

（3）可进行大气臭氧层的研究。大气臭氧层的空洞会使海洋表面单细胞植物遭受杀伤和破坏，导致海洋生物下降 6% ~ 12%。从观测到的生物量下降的变化，可以反演大气臭氧层的变化。

（4）对海水进行研究。可见光/红外遥感海冰，可以得到海冰分布、海冰类型、海冰厚度、海冰漂流、海水—海冰界线、海冰生长与消融过程等有关信息。

（5）可以对“厄尔尼诺”现象进行研究。

第十节 遥感技术在环境监测中的应用

目前，环境污染已成为一些国家的突出问题，利用遥感技术可以快速、大面积监测水污染、大气污染和土地污染以及各种污染导致的破坏和影响。近些年来，我国利用航空遥感进行了多次环境监测的应用试验，对沈阳等多个城市的环境质量和污染程度进行了分析和评价，包括城市热岛、烟雾扩散、水源污染、绿色植物覆盖指数以及交通量等的监测，都取得了重要成果。国家海洋局组织的在渤海湾海面油溢航空遥感实验中，发现某国商船在大沽锚地违章排污事件，以及其它违章排污船 20 艘，并作了及时处理，在国内外产生了较大影响。

随着遥感技术在环境保护领域中的广泛应用，一门新的科学——环境遥感诞生了。环境遥感是利用遥感技术揭示环境条件变化、环境污染性质及污染物扩散规律的一门科学。环境条件如气温、湿度的改变和环境污染大多会引起地物波谱特征发生不同程度的变化，而地物波谱特征的差异正是遥感识别地物的最根本的依据。这就是环境遥感的基础。

从各种受污染植物、水体、土壤的光谱特性来看，受污染地物与正常地物的光谱反射特征差异都集中在可见光、红外波段，环境遥感主要通过摄影与扫描两种方式获得环境污染的遥感图像。摄影方式有黑白全色摄影、黑白红外摄影、天然彩色摄影和彩色红外摄影。其中以彩色红外摄影应用最为广泛，影像上污染区边界清晰，还能鉴别农作物或其它植物受污染后的长势优劣。这是因为受污染地物与正常地物在红外部分光谱反射率有较大的差异。扫描方式主要有多光谱扫描和红外扫描。多光谱扫描常用于观测水体污染。红外扫描能获得地物的热影像，用于大气和水体的热污染监测。

一、大气环境遥感

影响大气环境质量的主要因素是气溶胶含量和各种有害气体。对城市环境而言，城市热岛也是一种大气污染现象。

（一）大气气溶胶监测

气溶胶是指悬浮在大气中的各种液态或固态微粒，通常所指的烟、雾、尘等都是气溶胶。气溶胶本身是污染物，又是许多有毒、有害物质的携带者，它的分布在一定程度上反映了大气污染的状况。测定气溶胶含量有专门的仪器，称为多通道粒子计数器，它能给出大气中气溶胶的水平分布和垂直分布。这里仅就遥感图像对分析大气气溶胶含量的效用作一分析。

在遥感图像上，工厂排放的烟雾、火山喷发产生的烟柱、森林或草场失火形成的浓烟以及大规模的尘暴都有清晰的影像，可直接圈定污染的大致范围。如火山正式喷发前会释放烟雾，据此可预报火山活动期的来临；利用周期性的气象卫星图像可监测尘暴的活动，估算其运动速度，预报尘暴的发生；森林或草场火灾也可通过卫星遥感资料及早发现，把灾害损失降低到最小。此外，大比例尺的航空遥感像片还可用来调查城市烟囱的数量和分布情况，甚至可以通过烟囱阴影的长度计算其大致高度。

如用计算机进行辅助解译，还可测绘出烟雾浓度的分布状况，从而揭示扩散的规律，为采取防护措施提供依据。烟雾浓度实际上是单位体积空气中所含微粒的数目，当微粒数目多、浓度大时，其散射和反射的电磁辐射能量多，像片灰度值大，呈白色调；当微粒数目少、浓度小时，则像片灰度值小，呈灰色调。建立烟雾浓度与影像灰度值的相关关系，然后用电子计算机对影像进行微密度分割，则可绘出烟雾浓度的等值线图。

（二）有害气体监测

有害气体通常指人为或自然条件下产生的二氧化硫、氟化物、乙稀、光化学烟雾等对生物有机体有毒害的气体。有害气体不能在遥感图像上直接显示出来，只能利用间接解译标志——植物对有害气体的敏感性来推断某地区大气污染的程度和性质。

一般说来，在污染较轻的地区，植被受污染的情形并不容易被察觉，但是其光谱反射率却会产生明显变化，在遥感图像上表现为灰度的差异。生长正常的植被叶片对红外线反射强，吸收少，因此在彩色红外像片上色泽鲜艳、明亮，如臭椿呈发亮的朱红色，白杨为紫红色，柳树呈品红色。受到污染的叶子，其叶绿素遭到破坏，对红外线的反射能力下降，反映在彩色红外像片上颜色发暗，如白蜡树受污染后呈紫红色，柳树呈品红色夹带有蓝灰色。除植物的颜色以外，还可通过植物的形态、纹理和动态标志加以综合判断。

(三) 城市热岛监测

城市热岛效应是现代城市由于人口密集、工业集中，形成市区温度高于效区的小气候现象。由于热岛的热动力作用，形成从郊区吹向市区的局地风，把从市区扩散到郊区的污染空气又送回市区，使有害气体和烟尘在市区滞留时间增长，加剧了市区的污染。因此城市热岛并不是单纯的热污染现象，是城市环境的一个不可缺少的重要组成部分。红外遥感图像反映了地物辐射温度的差异，能快速、直观而准确地显示出热环境信息，为研究城市热岛提供依据。

红外遥感得到的是地物的辐射温度，而城市热岛的定性是以气温为依据的。气温的高低取决于诸多因素，但大气低层的气温尤与地面辐射强弱紧密相关。一般认为，气温、辐射温度和地表温度是相辅相成的，都可作为研究热岛的依据。只要掌握了相对的温度情况，即可直接用遥感图像上的温度定标读取辐射温度。辐射温度经过订正，可换算出地表真实温度。

二、水环境遥感

在江河湖海各种水体中，污染种类繁多。为了便于用遥感方法研究各种水污染，习惯上将其分为泥沙污染、石油污染、废水污染、热污染和富营养化等几种类型，表 4-4-1 列举了各种污染水体在遥感图像上的特征。

表 4-4-1 水污染的遥感影像特征

污染类型	生态环境变化	遥感影像特征
泥沙污染	水体浑浊	在 MSS5 像片上呈浅色调，在彩色红外片上呈淡蓝、灰白色调，浑浊水流与清水交界处形成羽状水舌
石油污染	油膜覆盖水面	在紫外、可见光、近红外、微波图像上呈浅色调，在热红外图像上呈深色，为不规则斑块状
废水污染	水色水质发生变化	单一性质的工业废水随所含物质的不同色调有差异，城市污水及各种混合废水在彩色红外像片上呈黑色
热污染	水温升高	在白天的热红外图像上呈白色或灰白色的羽毛状，也称羽状水流
富营养化	浮游生物含量高	在彩色红外图像上呈红褐色或紫红色，在 MSS7 图像上呈浅色调
固体漂浮物		各种图像上均有漂浮物的形态

表中这些影像特征是监测各种污染的依据。

三、土地环境遥感

土地环境遥感包括两个方面的内容，一是指对生态环境受到破坏的监测，如沙漠化、盐碱化等；另一是指对地面污染如垃圾堆放区、土壤受害等的监测。

（一）生态环境的监测

森林或草场覆盖率是一个国家重要的国情指标，以往由于许多客观或主观上的原因，人们的统计资料常与实际情况有较大的出入，而遥感图像则能相当精确地提供这一数据。

利用多时相遥感图像可以推测沙漠化的进程。沙漠地区几乎没有植被，但有沙丘或沙链等形态标志，能与周围地区明显区别开来，比较多年的沙漠区界线，就可得知沙漠的进退规律。

我国的黄土高原地区，沟壑纵横，在图像上，超过图像地面分辨率的冲沟都能辨认出来。

（二）土壤污染监测

土壤污染的监测也是通过植物的指示作用实现的。土壤酸碱度的变化和某些化学元素的富集会使得某些植物的颜色、形态、空间组合特征出现异常，或者使一些植物种属消失，而出现另一些特有种属。据此规律反推，便可知土壤污染的类型和程度。例如钼的富集可导致树木死亡，非洲某地的钼矿体就是根据其在原始森林中形成的植被“天窗区”而被发现的。铀矿使植物发生白叶病和矮化症，而瓦斯则可使植物巨型化或开花异常。其它如锌、铜、硼、锰等矿体的指标植物也都是通过土壤作为媒介来相互指证的。

（三）垃圾堆积区的监测

城市生活垃圾和工业垃圾常在规定的垃圾场堆积，在航空遥感像片上能显示出来，垃圾场一般呈圆锥形，在图像上有阴影伴随出现。如垃圾堆放时间过长，长满了植物，则不易与山丘区分，要根据实地调查情况加以认定。

第十一节 遥感与 GIS 在洪水灾害监测与评估中的应用

洪水灾害是一种骤发生的自然灾害，其发生大多具有一定的突然性，持续时间短，发生的地理集团易于辨识。但是，人们对洪水灾害的预防和控制则是一个长期的过程。从洪灾发生过程看，人类对洪灾的反应可划分为以下四个阶段。

（1）洪水控制与洪水综合管理。通过“拦、蓄、排”等工程与非工程措施，改变或

控制洪水的性质和流路使“水让人”；通过合理规划洪泛区土地利用，保证洪水流路的畅通，使“人让水”。这是一个长期的过程。也是区域防洪体系的基础。

(2) 洪水监测、预报与预警。在洪水发生初期，通过地面的雨情及水情观测站网，了解洪水实时状况；借助于区域洪水预报模型，预测区域洪水发展趋势，并即时、准确地发出预警消息。这个过程视区域洪水特征而定，持续时间有长有短，一般为2~3天，有时更短，如黄河三花间洪水汇流时间仅有8~10小时。

(3) 洪水灾情监测与防洪抢险。随着洪水水位的不断上涨，区域受灾面积不断扩大，灾情越来越严重。这时除了依靠常规观测站网外，还需利用航天、航空遥感技术，实现洪水灾情的宏观监测。在得到预警信息后，要及时组织抗洪队伍，疏散灾区居民，转移重要物资，保护重点地区。

(4) 洪灾综合评估与减灾决策分析。洪灾过后，必须及时对区域的受灾状况作出准确的估算，为救灾物资投放提供信息和方案，辅助地方政府部门制订重建家园、恢复生产规划。

这四个阶段是相互联系、相互制约的。第一阶段和第四阶段相互衔接，使整个系统形成一个长期性工作。若从时效和工作性质上看，这四个阶段的研究内容可归为两个层次，即长期的区域综合治理与工程建设，以及洪水灾害监测预报与评估。

遥感和地理信息系统作为一门高新技术，可以直接应用于洪灾研究的各个阶段，实现洪水灾害的监测与灾情评估分析。

一、洪水灾害遥感监测

(一) 洪水灾害监测

洪水灾害监测分为地面站网观测和宏观遥感监测。地面观测站网包括雨情、水情监测和防洪工程设施安全状况监测。在洪水发生初期，通过地面的雨情、水情观测站网，了解洪水实时状况；借助于区域洪水预报模型，预测区域洪水发展趋势。目前，我国在各大江河、湖泊、水库等地布设了8700多个水文、水位观测台站，2000多个雨量站；在重要河段设立了防洪处段，负责监测防洪工程的安全。这些站网部分已联成网络，部分以密码电报发送信息。几十年中，地面台站在防洪抗灾中起了很大作用，但是地面观测站网并不是专门为洪水灾害采集数据，它们是地球表面资源与环境信息采集的一部分，还不能满足洪灾监测的全部要求。虽然在布设观测站点时，考虑到站代表性，但所采集的仍然只是站点观测数据，难以刻画洪灾全貌。此外，在紧急状态下，有些观测站遭到破坏，信息传输中断，影响到对洪水灾害的监测。

洪水灾害遥感监测克服了常规站网监测在空间视野上和时间方面的限制。多平台遥感技术形成洪水灾害的全方位立体监测系统。气象卫星时间分辨率高（绕地球一周仅12小时），有助于洪水灾害的宏观和动态监测。陆地卫星具有较高的空间和光谱分辨率，信息量丰富，有助于灾前本底调查与灾后受程度调查；航空遥感具有快速、灵活、

方便和应急能力强的特点，尤其是航空微波遥感具有全天时、全天候监测洪水的能力，是洪水灾害遥感监测的重要手段。以航空微波遥感和信息传输技术为核心的地—星—地和机—星—地系统的建立，使我国具备了对洪水灾害进行实时、准实时监测的能力。

（二）洪水灾害遥感监测的特点

与传统的地点站网进行洪水灾害监测相比较，利用遥感技术监测洪水灾害具有以下几个方面的特点。

1. 立体监测

多种平台的遥感探测器分别在不同高度的轨道平台上对地面目标进行探测（陆地卫星 Landsat4、5 的轨道高度为 705km，气象卫星 NOAA 的轨道高度为 833km，航空遥感的平台高度则更为灵活），获取地面洪水场景的图像，形成洪水灾害的全方位立体监测系统。

2. 宏观监测

卫星遥感的一个显著特点即在于其获取信息的宏观性。陆地卫星 LandsatTM 对地探测幅宽为 185km，NOAA 和风云气象卫星的对地探测幅宽均匀 2700km。如此大范围的对地探测，可以实现对洪灾场景的宏观监测，有助于掌握洪水灾害的总体情势，进而从全局上指导抗洪救灾工作的顺利进行。

3. 动态监测

卫星遥感实现对地面物体的周期性观测。尤其是对气象卫星而言，由于其极高的时间分辨率（一日二次），两颗 NOAA 卫星即可每天对地观测 4 次，从而可获得洪灾场景的连续图像，实现对洪水灾害的动态监测。

（三）洪水灾害遥感监测方法

目前用于洪涝灾害监测的遥感手段主要有两种：主动遥感和被动遥感。主动遥感手段在我国采用的是机载侧视雷达的微波遥感，它通过接收发射天线发射的回波信号来识别地面物体。在洪水灾害监测中所用的被动遥感手段主要是卫星遥感，依据平台不同又可分为资源卫星遥感和气象卫星遥感。

航空侧视雷达能够穿透云层探测地面目标，具有全天候的监测能力，这是它最主要的特点和最大的优势。其致命的弱点是运行费用太高，难以经常运行，一般只在遭到特大水灾或紧急情况时使用。目前所用的航空雷达获取的信息一般为模拟信号，通常采用目视解译的方法进行分类判读。资源卫星具有较高的空间和光谱分辨率，数据所具有的信息量十分丰富。但资源卫星的时间分辨率较低，且受云层影响较大，在洪水期间很难得到可用的资源卫星图像，因此资源卫星的时间遥感通常用于灾前的本底情况（如土地利用）调查与灾后的灾情程度调查。气象卫星的主要特点是时间分辨率较高，两颗 NOAA 卫星每天可在不同时间过境四次，这就有可能避开云层，提高洪水期间无云观测的可能性。此外，利用其星载热红外通道也可以对洪灾进行昼夜监测。气象卫星的弱点是空间分辨率太低，但对于洪水灾害场景的宏观监测，仍不失为日常业务运行系统的一个主要手段。表 4-4-2 列出了几种遥感手段在洪水灾害监测中的能力比较。

表 4-4-2 几种遥感手段在洪涝灾害监测中的能力分析

项目	观察周期	昼夜观察能力	动态监测能力	云层穿透性	图像性质	遥感器波段适宜性	费用		空间分辨率
							数据获取	处理	
气象卫星 (NOAA 或 FY-1)	0.5 天	有	强	弱	数字图像	多光谱适宜	低	低	1.1km, 低
资源卫星 (Landsat TM)	16 天	有	相对较弱	弱	数字图像	多光谱适宜	较高	较高	30m, 较高
航空雷达	根据需要	有	强, 但费用高	强	通常为光学图像	选择适当微波波段适宜	极高	很少进行进一步处理	几米或更高

(四) 应用试验

自 1987 年以来,我国先后在永定河、黄河、长江、淮河等地区开展了大规模的防汛遥感综合试验。尤其是 1991 年在江淮流域、1994 年在三江流域(福建闽江、广东西江和北江)、1995 年在鄱阳湖、洞庭湖和辽河的洪水监测和灾害评估中取得了重大研究成果,整个技术方案和流程已达到实用化水平。

二、洪水灾害评估信息系统的构成

洪水灾害评估信息系统是一种专题地理信息系统,它以洪水灾害为分析对象,研究洪水灾害发生的时序规律与空间分布,评估区域洪水灾害损失,辅助决策部门制订防洪抗洪、抢险救灾方案等。一个较完善的洪水灾害评估信息系统除应具有一般 GIS 所应具备的功能以外,还应具有专业模型分析功能和专家系统功能,如图 4-4-2 所示。

美国田纳西河流域管理局自 70 年代起,就利用 GIS 技术处理和分析各种流域数据,为流域管理和规划提供决策服务。我国在“七五”和“八五”期间,通过国家攻关项目和国际合作研究,分别在黄河下游、黄河三角洲、洞庭湖、太湖流域等地区开展了洪水险情预报与灾害对策信息系统的研究,取得了丰富的经验和一定的科学积累。

随着遥感与 GIS 以及与 GPS 集成技术与应用的深入研究,可以预料,遥感到 GIS 在洪水灾害监测与评估中将发挥更大的作用。

第十二节 遥感技术在地震灾害监测中的应用

地震的孕育和发生与活动构造密切相关。许多资料表明:多组主干断裂或群裂的复合部位,横跨断陷盆地或断陷分地间有横向构造穿越的部位以及垂直差异运动和水平错动强烈的部位(如在山区表现为构造地貌对照性强烈,在山麓带表现为凹陷向隆起转变

观察卫星热红外像片可知,在正常气象背景及地壳稳定状态下,地球表面温度具有其正常分布规律。当地壳受力在未发生大破裂之前,往往在震中区周围发生裂隙,变化极快,此时在土壤和岩层中会释放出二氧化碳、水蒸气、氢气、氮气和甲烷等气体。这种作用称之为“地球放气”。当它们从地下溢出向空间扩散过程中,会吸收太阳辐射或受地应力加强作用、电磁场的激发作用而发射出红外辐射,从而使孕震区周围出现增温异常,这种增温异常在卫星热红外辐射仪图像上表现为光谱异常,称为热红外异常。它是遥感技术应用于地震监测的基础

我国地震部门自 1990 年以来开展了利用卫星热红外图像进行地震短临预报的研究工作,并取得了一定的进展。但是,从热红外异常来反演地震仍是一个十分复杂的问题,有待进一步研究。

第十三节 气象卫星在非气象领域中的应用

一、我国气象卫星在非气象领域中的应用回顾

自 80 年代初美国 TIROS - N 系列极轨业务气象卫星投入运行以来,由于其快速、宏观、动态、低成本和相对丰富的多光谱数字信息的特点,气象卫星在气象之外的环境遥感领域中的应用得到了很大的发展。在我国,运用气象卫星在非气象领域中的遥感应应用工作起始于 80 年代中期,最初的应用实例是将 AVHRR 用于植被动态遥感和海岸带泥沙扩散研究。

当时,利用我国引进的第一套全数字化 TIROS - N 卫星地面接收处理系统的条件,采用了多时相准同步 AVHRR 数据对我国东部植被季相动态规律进行了系统研究,同时也探讨了 AVHRR 数据的植被指数构成并对黄淮海平原冬小麦长势进行了评级;另一长时间序列的 AVHRR 数据集被用于分析黄河入海泥沙的扩散运动规律并为港口建设工程的科学选址提供了可靠的依据。这些最初期的成功应用为我国气象卫星非气象遥感应用的宣传推广和普及起到积极作用。早期在地质遥感领域的尝试是使用 AVHRR 数据对郯庐断裂带的北端延伸的分析及福建沿海地区地热点分布状况的研究与验证。

随后在我国经委的支持下,由中国气象局为主组织开展了北方 10 省市冬小麦估产试验,这标志着气象卫星在非气象领域中工程化应用的开始,也是我国首次开展的大规模遥感估立工作。目前利用气象卫星进行农作物估产的应用已得到了普及和深化并作为一种业务化的手段,估产对象也从冬小麦扩展到玉米、水稻等其他作物。最早对泥沙遥感所做的较深入的应用研究是杭州湾的应用实例,随后对其他的一些近海泥沙扩散现象都有不同程度的研究和应用,前者曾就 AVHRR 泥沙遥感中的定量化发展进行了有益的探讨研究,虽然 AVHRR 的空间分辨率有限,但在海岸带泥沙动态调查中对于获取无云影像及配合潮位成图方面可以发挥重要的优势作用。植被遥感是 AVHRR 在非气象领域

中最为广泛和成熟的应用之一。目前以归一化植被为主已发展了很多的其它植被指数类型。以植被指数信息着手的应用也是多种多样的,除了作物长势、估产外,还包括作物旱情调查、时间系列组合分析宏观植被类型区划及自然地理地带性研究等。目前国家卫星气象中心在日常业务上以旬为单位进行全国 6km 低分辨率植被指数产品生成和旬月报分析工作。

气象卫星的快速动态遥感能力使得在灾情监测和预警方面获树一帜,典型的范例是火灾早期敬报和火情跟踪监测方面。1987 年大兴安岭特大森林火灾时气象卫星遥感监测有效地指导了整个灭火指挥工作。在此之后,利用气象卫星多次成功地向有关部门提供了火点警报。气象卫星用于火点监测得到全面的推广应用,众多小型地面系统相继建立,有些专用的林火卫星监测系统已成功地投入业务化应用。1996 年我国内蒙古草原森林大火中,气象卫星也发挥了很大作用。

由气象卫星对洪涝灾害的典型监测应用可见于 1991 年江淮特大洪水的实例。当时运用了航空侧视雷达、陆地卫星和气象卫星三种手段联合作业,对水灾损失评估提供了有价值的依据。

利用气象卫星热红外信息对地震前地面温度场异常进行监测,进而辅助地震预报的研究探索是气象卫星在非气象应用中很有特点的高难度应用,这一方面已进行了一定程度的研究并建立了相应的试验性运行系统。类似的热红外信息的应用工作还包括热惯量遥感土壤湿度与旱情分析、浅层地下水资源调查;矿产勘查中对油气微渗漏的深测结合遥感找油;城市热岛研究和热污染调查等方面。在这些领域都有很多成功的应用实例。如对城市热岛现象使用四个季节的昼夜匹配数据进行的处理和分析,与航空热红外扫描的结果高度一致,当从最终应用分析的角度来看,两者的应用效果差距极小,而成本是无法比较的。

由于我国气象卫星站网完全覆盖了全国的海陆疆界,因此第一幅标准的国家卫星影像地图是采用 AVHRR 数据完成的,体现了气象卫星在地图制图学中的应用潜力。这一成果将我国遥感影像图上升为测绘标准的影像地图产品系列并获得了国际殊荣,在图内外产生了相当影响。

气象卫星的中车个卓有成效的应用体现在海洋遥感方面。我国在该领域的成功应用有:精度优于 1°C 的海面温度反演、洋流及中尺度涡旋研究、极地研究(南极已建有气象卫星地面站) 海洋上升流及渔场预报指导海洋捕捞业,在黄海就曾用气象卫星进行了渔场预报试验取得了明显的增产效果。海冰监测主要针对渤海湾、辽东湾的冬季冰情,服务于交通运输和海洋石油开采。国家卫星气象中心每年冬季例行向有关部门传输冰情信息。

其他的应用还包括对西北部山地冰川积雪融化动态监测和冰雪融量计算;利用气象卫星热红外信息揭示隐伏地质构造;沙尘暴监测和雪暴监测;为国外矿业公司提供中国及邻区 AVHRR 数据作为宏观地质格局分析等。

我国在气象卫星非气象应用方面历经十几年的发展,已积累了相当的经验,其应用领域已渗透到各个方面,有些应用成果已处于相当先进的水平,从而构成地学遥感应用

中的一个重要方面。

二、中国风云极轨卫星计划将促进遥感应用的进一步发展

继风云 1A 和风云 1B 试验型极轨气象卫星发射以来，我国在 1997 年和 1999 年分别发射了风云 2 号静止气象卫星和风云 1 号（C 批）极轨气象卫星。新的风云 1 号（C 批）极轨卫星采用了 870km 高度的漂移极轨特性（同 NOAA 卫星），空间分辨率也是 1.1km（像底点），但光谱通道扩展为 10 个，是目前 AVHRR 的二倍，覆盖了可见光、近红外、中红外和热红外范围。国家卫星气象中心将负责中国气象卫星的运行控制和信息接收处理及产品分发。通过风云卫星我国不但在气象卫星非气象应用中拥有更为丰富的遥感信息源，而且具备了准实时的全球覆盖能力。表 4-4-3 给出了美国 NOAA/AVHRR、风云 1 号和风云 1 号（C 批）传感器的对照。

从以上传感器配置上看，新的卫星系统极大增强了海洋遥感、植被旱情监测等方面的能力。

表 4-4-3 几种气象卫星传感器对照

NOAA/AVHRR	风云 1A/1B	风云 1 号（C 批）	主要应用领域
0.58 ~ 0.68		0.43 ~ 0.48	海洋水色、叶绿素、泥沙、海冰和海洋污染
	0.48 ~ 0.53	0.48 ~ 0.53	
	0.53 ~ 0.58	0.53 ~ 0.58	
	0.58 ~ 0.68	0.58 ~ 0.68	
0.725 ~ 1.10	0.725 ~ 1.10	0.084 ~ 0.89 0.90 ~ 0.965	植被叶绿素高反射、水陆边界、海冰、滩涂、水汽
3.55 ~ 3.93		1.58 ~ 1.64 3.55 ~ 3.93	土壤湿度、植物含水量、云雪识别 高温热点、夜间成像
10. ~ 11.3 11.5 ~ 12.5	10.5 ~ 12.5	10.3 ~ 11.3 11.5 ~ 12.5	地球背景温度场、热污染、 海温、海流和涡旋

新一代气象卫星作为遥感多级平台的一个组成部分，依靠其自有的快速动态、信息丰富和低成本的优势，在相关遥感应用领域的作用是显而易见的，尤其在减灾快速反应、海洋遥感、与国际接轨的全球变化研究领域中将为主导性的遥感信息源。