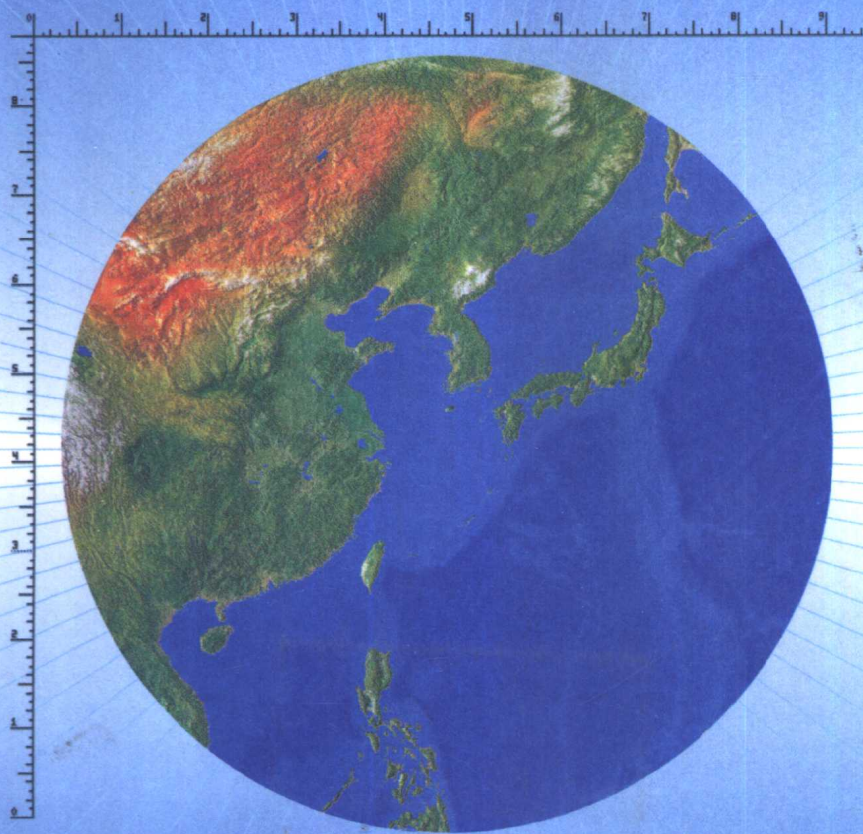


普通高等教育测绘类规划教材
武汉测绘科技大学测绘工程专业核心课程教材

摄影测量与遥感概论

李德仁 周月琴 金为铨 著



测绘出版社

普通高等教育测绘类规划教材
武汉测绘科技大学测绘工程专业核心课程教材

摄影测量与遥感概论

李德仁 周月琴 金为铄 著

测绘出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

摄影测量与遥感概论/李德仁, 周月琴, 金为铄著.

北京: 测绘出版社, 2001. 1

ISBN 7-5030-0880-6

I. 摄… I. ①李…②周…③金… III. ①摄影测量
②遥感图像-图像处理 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 19744 号

测绘出版社出版发行

(100054 北京市白纸坊西街 3 号)

三河市艺苑印刷厂印刷 · 新华书店经销

2001 年 1 月第 1 版 · 2001 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 · 印张: 22.5

字数: 519 千字 · 印数: 0001—3000 册

定价: 38.00 元

前 言

随着计算机技术、空间技术、现代通讯技术、遥感技术和地理信息技术的发展，地理信息科学作为信息科学的重要组成部分，有了突飞猛进的发展。人们可以用各种现代化方法采集、获取、量测、存储、管理、显示、传播、应用和更新与地理和空间分布有关的、随时间变化的数据和信息，并以它们为基础构成各种空间信息系统，以便于应用计算机进行资源调查、区域发展规划、国土整治、环境保护与监测、灾害预报与防治、城市规划与市政管理、房地产管理与经营，以促进我国社会可持续发展与经济健康腾飞。

空间定位系统（GPS）、遥感（RS）和地理信息系统（GIS）走向集成，是当今国内外的发展趋势，简称“3S”技术集成，已列为我国“九·五”科学发展的15个重中之重攻关项目。在这种集成中，GPS主要用于实时、快速地提供目标的空间位置；RS用于实时、快速地提供大面积地表物体及其环境的几何与物理信息及各种变化；GIS则是对多种来源时空数据的综合处理分析和应用的平台。

长期以来，摄影测量学被视为一门几何科学。随着遥感技术的出现和不断发展，这门学科正在从几何科学向信息科学发展。在目前阶段，摄影测量与遥感学科随着现代计算机技术、影像传感器技术、空间定位、遥感和通讯技术的数字化发展，已逐步形成基于电子计算机的现代图像信息学，它由摄影测量、遥感和空间信息系统以及计算机视觉等交叉而成。图像信息学利用各种不同类型的非接触传感器，获取模拟的或数字的影像，然后通过解析和数字化方式提取所需要的信息，在空间信息系统中数字地加以存储、管理、分析和表达，再通过可视化和符号化技术形成所需要的产品。数字或模拟的成果将直接作用于客观世界，从而形成图像数据获取、传输、信息加工、表达和应用的数据流和信息流。

站在信息科学的立场上来理解摄影测量与遥感，有利于它自身向数字化、自动化和实时化方向发展，也有利于拓宽它在各种空间信息系统中的应用。本着这种思路，编者于1991年编写了《影像信息处理学》讲义。该讲义一直作为武汉测绘科技大学信息工程专业本科生和部分硕士生的专用教材。在使用过程中，不断地根据学科发展的特点以及有关教师和学生提出的宝贵意见和建议对讲义的内容进行了修改、充实和完善。在此基础上，我们于1996年对该讲义进行了修订，不仅对原有章节内容进行了调整和修改，还增加了遥感影像的成像原理、几何处理和影像判读的内容及其在国民经济建设中的主要应用，以适应宽口径培养人才的需要。

全国高等学校测绘类专业教学指导委员会委托摄影测量与遥感、制图专业组对该教材组织了审核，提出了很多宝贵意见和建议。根据这些意见和建议，我们对讲义进行了认真的修改，本书正是在此基础上形成的。

本书的特点在于，改变以往单纯讲述摄影测量或遥感理论和方法的作法，以“讲述获取地理基础信息的摄影测量与遥感的理论和方法”为思路安排教材内容。在阐述每一种理

ABE77/02

论和方法时,根据学科发展的特点,先讲述模拟法,再讲述解析法,后讲述数字化方法,最后归宿到计算机中表达的数字地理信息。同时还根据航摄像片与其它遥感影像之间的共性与区别,在航摄像片处理方法的基础上,通过演绎,导出其它遥感影像的处理理论和方法。这样安排教材内容,便于读者理解和掌握。几年的教学实践证明了这一效果。

本书共分十二章,围绕“如何从摄影测量与遥感影像中,提取地理信息系统和其它空间信息系统所需要的基础空间信息”的主题,阐述各种理论和方法。第一章绪论中主要回顾摄影测量与遥感的发展历史和影像信息科学的形成、内涵及它与地理信息系统的结合。第二章至第六章讲述摄影测量的基本原理。第七章与第八章介绍如何为 GIS 采集数字高程模型和正射影像数据。第九章与第十章介绍遥感影像的成像原理、几何处理与影像解译方法。第十一章着重介绍 GIS 基础数据采集的各种摄影测量与遥感方法。最后在第十二章介绍摄影测量与遥感在国民经济建设中的主要应用。

本书的编写是以讲述地理信息学中的摄影测量与遥感为出发点,能否达到这个目的,需要读者提出更多宝贵意见,以便进一步促进我们的教学,适应 21 世纪人才培养的需要。书中引用了国内外有关论文和教材中的许多宝贵素材。书稿承西南交通大学刘文熙教授、郑州测绘学院潘时祥教授初审,刘文熙教授复审,提出了许多宝贵意见;武汉测绘科技大学信息工程学院的老师同学也提出了许多建议和意见;信息工程学院严烈老师为本书绘制了很多插图并为本文的校对作了大量工作。在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在诸多不足与不妥之处,敬请读者不吝指正。

作者于武昌珞珈山

1999 年 10 月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 摄影测量与遥感的定义、任务和发展	(1)
§ 1-2 影像信息科学的形成与内涵	(7)
§ 1-3 本书的主要内容与安排	(10)
第二章 单张航摄像片解析	(12)
§ 2-1 航空摄影的基本知识	(12)
§ 2-2 航摄像片上特殊的点、线	(14)
§ 2-3 摄影测量常用的坐标系	(15)
§ 2-4 航摄像片的内、外方位元素	(18)
§ 2-5 空间直角坐标变换	(22)
§ 2-6 中心投影的构像方程与投影变换	(27)
§ 2-7 航摄像片的像点位移与比例尺	(30)
§ 2-8 单张像片空间后方交会	(34)
第三章 双像解析摄影测量	(41)
§ 3-1 立体视觉原理	(41)
§ 3-2 航摄像对的立体观察与量测	(43)
§ 3-3 双像解析摄影测量的任务与方法	(48)
§ 3-4 立体像对的前方交会公式	(48)
§ 3-5 双像解析计算的空间后交-前交方法	(50)
§ 3-6 解析法相对定向	(52)
§ 3-7 模型点坐标的计算	(60)
§ 3-8 解析法绝对定向	(61)
§ 3-9 光束法双像解析摄影测量	(65)
§ 3-10 解析法空中三角测量简介	(68)
§ 3-11 全球定位系统 (GPS) 辅助空中三角测量原理	(70)
§ 3-12 解析摄影测量中粗差检测原理概述	(72)
第四章 模拟法立体测图	(76)
§ 4-1 立体测图方法概述	(76)
§ 4-2 模拟法测图原理	(77)
§ 4-3 模拟法测图中立体像对的相对定向	(78)
§ 4-4 模拟法测图中立体模型的绝对定向	(86)
§ 4-5 地物与地貌的测绘	(88)

§ 4-6	模拟测图仪的结构与分类	(89)
§ 4-7	主要模拟测图仪简介	(91)
第五章	解析法立体测图	(100)
§ 5-1	解析测图仪概述	(100)
§ 5-2	解析测图仪的结构	(102)
§ 5-3	解析测图仪工作原理	(106)
§ 5-4	主要解析测图仪简介	(107)
§ 5-5	基于 GIS 数据采集的解析测图仪	(118)
§ 5-6	机助测图系统	(123)
§ 5-7	电子计算机在机助和机控测图中的作用	(127)
第六章	数字摄影测量	(131)
§ 6-1	概述	(131)
§ 6-2	影像数字化与影像重采样	(133)
§ 6-3	基于灰度的影像相关	(135)
§ 6-4	同名核线的确定与核线相关	(140)
§ 6-5	基于特征的影像匹配	(143)
§ 6-6	数字摄影测量系统	(153)
第七章	数字高程模型 (DEM) 及其应用	(163)
§ 7-1	概述	(163)
§ 7-2	数据点的获取	(164)
§ 7-3	曲面的内插和逼近	(166)
§ 7-4	等高线的自动绘制	(178)
§ 7-5	曲线内插与逼近	(181)
§ 7-6	数字高程模型应用算法	(188)
§ 7-7	数字高程模型软件 GeoTIN 简介	(193)
第八章	航摄像片纠正与正射影像图的制作	(197)
§ 8-1	航摄像片纠正的概念与分类	(197)
§ 8-2	模拟法像片纠正的原理与方法	(198)
§ 8-3	光学微分纠正原理	(202)
§ 8-4	正射投影仪与正射影像图制作	(207)
§ 8-5	数字微分纠正	(214)
第九章	遥感图像的成像原理与处理	(217)
§ 9-1	概述	(217)
§ 9-2	遥感图像的分辨率	(223)
§ 9-3	光学摄影类型传感器的成像原理	(225)
§ 9-4	光电成像传感器成像原理	(230)
§ 9-5	成像光谱仪原理简介	(236)

§ 9-6	合成孔径侧视雷达原理简介	(237)
§ 9-7	CCD 阵列传感器影像的几何处理	(243)
§ 9-8	合成孔径侧视雷达 (SAR) 图像的几何处理	(248)
§ 9-9	遥感图像的灰度处理	(251)
§ 9-10	多源遥感数据的融合	(256)
第十章	遥感图像的解译	(260)
§ 10-1	概述	(260)
§ 10-2	地物的波谱特性	(261)
§ 10-3	遥感图像的目视解译	(263)
§ 10-4	遥感图像的计算机自动识别	(268)
第十一章	GIS 数据采集的摄影测量与遥感方法	(275)
§ 11-1	GIS 基础数据的表现形式和数据结构	(275)
§ 11-2	地物属性编码方式	(282)
§ 11-3	用解析测图仪获取 GIS 基础数据	(283)
§ 11-4	GIS 基础数据获取的全自动化方法	(288)
§ 11-5	GIS 基础数据获取的半自动化方法	(292)
§ 11-6	图形数字模型的基本算法	(295)
§ 11-7	数字地图编辑中的一些基本算法	(298)
§ 11-8	GIS 基础数据采集中的主要问题	(301)
§ 11-9	测量数据库的概念	(303)
§ 11-10	多分辨率遥感图像数据库系统 GeoImageDB 简介	(315)
第十二章	摄影测量与遥感技术在国民经济建设中的主要应用	(321)
§ 12-1	在国家基础测绘和建立空间数据基础设施 (NSDI) 中的应用	(321)
§ 12-2	摄影测量与遥感技术在线路设计中的应用	(323)
§ 12-3	遥感技术在农业中的应用	(324)
§ 12-4	遥感技术在林业中的应用	(328)
§ 12-5	遥感技术在地质矿产勘查中的应用	(331)
§ 12-6	遥感技术在煤炭工业中的应用	(333)
§ 12-7	遥感技术在油气资源勘探中的应用	(335)
§ 12-8	遥感技术在水文学和水资源研究中的应用	(336)
§ 12-9	遥感技术在海洋研究中的应用	(337)
§ 12-10	遥感技术在环境监测中的应用	(341)
§ 12-11	遥感与 GIS 在洪水灾害监测与评估中的应用	(344)
§ 12-12	遥感技术在地震灾害监测中的应用	(347)
§ 12-13	气象卫星在非气象领域中的应用	(348)
	主要参考文献	(351)

第一章 绪 论

§ 1-1 摄影测量与遥感的定义、任务和发展

一、摄影测量与遥感的定义与任务

传统的摄影测量学是利用光学摄影机摄影的像片，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科学和技术。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，以及将所测得的成果以图解形式或数字形式输出的方法和设备。

摄影测量与遥感的主要任务是用于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，摄影测量与遥感在理论、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。

摄影测量与遥感的主要特点是在像片上进行量测和解译，无需接触物体本身，因而很少受自然和地理条件的限制，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、逼真，人们可以从中获得所研究物体的大量几何信息和物理信息。

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，都可以使用摄影测量技术，以解决某一方面的问题，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；可以是微小的（电子显微镜下放大几千倍的细胞），也可以是巨大的（宇宙星体）。这些灵活性使得摄影测量学成为可以多方面应用的一种测量手段和数据系集与分析的方法。由于具有非接触传感的特点，自70年代以来，从侧重于解译和应用角度，又提出了“遥感”一词。

70年代以来，美国陆地资源卫星（Landsat）上天后，遥感技术获得了极为广泛的应用。由于它对资源勘察和环境监护等方面效益很高，很快地得到了全世界的重视。在遥感技术中，除了使用可进行黑白摄影、彩色摄影、彩红外摄影的框幅式摄影机外，还使用了全景摄影机、光机扫描仪（红外、多光谱）、CCD（电荷耦合器件）固体扫描仪及合成孔径侧视雷达（SAR）等。它们提供比黑白像片丰富得多的影像信息。各种空间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、多分辨率的丰富影像信息。而且所有的航天传感器也可以用于航空遥感。于是摄影测量发展为摄影测量与遥感。为此，国际摄影测量与遥感学会（ISPRS）于1988年在日本京都召开的第十六届大会上作出定义：“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，从而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、分析和成果表达的一门信息科学。

可以从不同角度对摄影测量与遥感进行分类。按距离远近有航空摄影测量与遥感、航天摄影测量与遥感、地面摄影测量与遥感、近景摄影测量与遥感和显微摄影测量与遥感。按用途分有地形摄影测量与遥感与非地形摄影测量与遥感，地形摄影测量与遥感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、铁路、交通等各部门的规划与资源调查用图及建立相应的数据库；非地形摄影测量与遥感是将摄影测量方法用于解决资源调查、变形观测、环境监测、军事侦察、弹道轨道、爆破以及工业、建筑、考古、地质工程以及生物和医学等各方面的科学技术问题。按技术处理手段分有模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。解析和数字摄影测量可以直接为各种数据库和地理信息系统提供基础地理信息，模拟摄影测量的直接成果为各种图件（地形图、专题图等），它们必须经过数字化才能进入计算机中。

二、摄影测量与遥感的发展历史

1. 摄影测量与遥感自身的三个发展阶段

若从 1839 年尼普斯和达意尔发明摄影术算起，摄影测量学 (Photogrammetry) 已有 150 多年的历史，1851~1859 年法国陆军上校劳赛达特提出和进行的交会摄影测量，被称为摄影测量学的真正起点。由于当时飞机尚未发明，摄影测量的几何交会原理仅限于处理地面的正直摄影，主要用来作建筑物摄影测量，而并不是用来进行地形测量。

从空中拍摄地面的照片，最早是 1858 年纳达在气球上进行的。1903 年莱特兄弟发明了飞机，使航空摄影测量成为可能。1906 年，劳伦士用 17 只风筝拍下了旧金山大火的珍贵历史性大幅照片。第一次世界大战中第一台航空摄影机问世。由于航空摄影比地面摄影有明显的优越性（如视场开阔、无前景挡后景、可快速获得大面积地区的像片等），使得航空摄影测量成为 20 世纪以来大面积测制地形图的最有效的快速方法。如果说在 1901 年研制的立体坐标量测仪和 1909 年研制的 1318 立体自动测图仪还不主要是针对航空摄影测量的话，则从 30 年代到 50 年代末，各国主要测量仪器厂所研制和生产的各种类型模拟测图仪器——光学和机械投影仪器、分工型和全能型仪器、简易型和精密型立体测图仪器——均完全是针对航空地形摄影测量的，这个时期是模拟航空摄影测量的黄金时代，在我国，它一直延伸到 70 年代。

这里所讲的模拟法摄影测量，指的是用光学或机械方法模拟摄影过程，使两个投影器恢复摄影时的位置、姿态和相互关系，形成一个比实地缩小了的几何模型，即所谓摄影过程的几何反转，在此模型上的量测即相当于对原物体的量测。所得到的结果通过机械或齿轮传动方式直接在绘图桌上绘出各种图件来，如地形图或各种专题图。

随着电子计算机的问世，人们自然会想到如何用它来完成摄影测量中复杂的几何解算和大量的数值计算。这便出现了始于 50 年代末的解析空中三角测量（精确测定点位的摄影测量方法）和解析测图仪与数控正射投影仪（利用数字投影方法进行量测、制图和制作正射像片）。1957 年，海拉瓦博士提出了利用电子计算机进行解析测图的思想，限于当时计算机的发展水平，解析测图仪经历了近二十年的研制和试用阶段。到了 70 年代中期，电子计

计算机技术的发展,使解析测图仪进入了商用阶段。1976年德国 Zeiss 厂首次推出了 Planicomp C-100 解析测图仪;1980年瑞士 Wild 厂和 Kern 厂也相继推出了 AC1, BC1, AC2 和 BC2 以及 DSR1, DSR11 型解析测图仪;Zeiss 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先存在计算机中,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而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年以来,解析测图仪的发展已进入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 公司联合推出了 System 9,以面向特征的数据库管理系统为中心,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 E 工作站,克恩厂的 DSR-15 等解析测图仪也与相应的地理信息系统 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。

解析空中三角测量是用摄影测量方法快速、大面积地测定点位的精确方法,它是电子计算机用于摄影测量的第一项成果,经历了航带法、独立模型法和光束法平差三种方法的发展,光束法平差原理由施密特教授提出,独立模型法平差的应用则归功于阿克曼教授。在解析空中三角测量的长期研究中,人们解决了像片系统误差的补偿和观测值粗差的自动检测,从而保证了成果的高精度和高可靠性。摄影测量与各种非摄影测量观测值进行严密的整体平差和数据处理已成为一种高精度定位方法,用于大地控制加密、坐标地籍测量、航空和航天摄影测量及非地形摄影测量。特别是由于全球定位系统(GPS)的应用,使摄影测量和遥感中的几何定位变得愈来愈少地依赖于地面控制,便携式GPS接收机也可直接用于实地进行点位坐标测定。

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。这里的可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，称为数字化影像。对数字/数字化影像在计算机中进行全自动化数字处理的方法又称为“全数字化摄影测量”，它包括自动影像匹配与定位、自动影像判读两大部分。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，所获得的可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，并称为数字图像分类，低级的分类方法是基于灰度、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（也称为混合型数字摄影测量系统）。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/数字化影像进行处理的。如海拉瓦数字摄影测量系统 DPW650/750 是在 SUN SPARC 工作站上进行数字图像加工，包括图像增强、纠正、点量测、内外定向、边缘增强和提取，立体、单像及屏幕劈开显示等。该系统采用分层松弛相关方法量测同名像点，自动建立数字高程模型，继而获得等高线图和正射影像图。每秒钟可量测到几百至上千个点，成功率一般为 80%~95%，是目前世界上较成功的系统之一。武汉测绘科技大学研制的全数字自动化测图系统 VirtuoZo 及中国测绘科学研究院的 JX-4A（DPW）属于这种类型。VirtuoZo 工作站版本是以 SGI4D/25 工作站为基础研制的。其功能包括内定向、相对定向、绝对定向、影像相关与特征匹配、建立数字高程模型（DEM）并根据 DEM 生成等高线图、正射影像图、景观图等等。该系统已移植成 Windows NT 环境下的 VirtuoZo NT 微机版。JX-4A DPW 是 Windows NT 环境下的数字摄影测量工作站，也具有上述类似功能。

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 影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,摄影测量经历了模拟法、解析法和数字化三个发展阶段,而数字摄影测量的内涵已远远超过传统摄影测量的范围。数字摄影测量与模拟、解析摄影测量的最大区别在于:它处理的原始信息不仅可以是航空像片(数字化影像),更主要的是航空、航天遥感数字影像;它最终是以计算机视觉代替人眼的立体观测,因而它所使用的仪器最终只是通用的计算机及其相应外部设备。特别是当代工作站的发展,为数字摄影测量的发展提供了广阔的前景;其产品是数字形式的,传统产品只是数字产品的模拟输出。表 1-1 列出了摄影测量三个发展阶段的特点。

表 1-1 摄影测量三个发展阶段的特点

发展阶段	原始资料	投影方式	仪器	操作方式	产品
模拟摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	作业员手工	模拟产品
解析摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助作业员操作	模拟产品、数字产品
数字摄影测量	像片 数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作 +作业员的干预	数字产品 模拟产品

2. 摄影测量与遥感的结合

自从前苏联宇航员加加林上天之后,在本世纪 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,随后便得到了广泛使用。遥感的含义是一种探测物体而又不接触物体的技术。70 年代,美国陆地资源卫星(Landsat)上天后,遥感技术获得了极为广泛的应用。由于遥感技术在资源勘察和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以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以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、成像光谱仪、CCD 阵列扫描和矩阵摄影机合成孔径侧视雷达等手段。特别是诸如美国在 1999 年发射的 EOS 地球观测系统空间站,主要传感器 ASTER 覆盖可见光到远红外,有较高的空间分辨率(15m)和温度分辨率(0.3k)。其中高分辨率成像光谱仪有 36 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,围绕地球长期运行,为我们提供大量的多时相、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,早在 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),世界各国也有相应的变动,包括中国在内。

进入 80 年代以后,遥感技术的新的跃进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与价格比，更重要的是许多新的传感器的地面分辨率（空间分辨率）、温度分辨率、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。仅以地面分辨率为例，Landsat 卫星的 MSS 图像，像素在地面大小为 79m，而 1983~1984 年的 Landsat-4, 5 上的 TM（专题制图仪）图像则为 30m。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 300mm RMK 像机，取得 1:80 万航天像片，地面分辨率为 20m（每毫米线对），相对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。1986 年 2 月和 1990 年法国发射的 SPOT-1, 2 卫星，利用两个 CCD 线阵列构成数字式扫描仪，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，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。而到了 90 年代，由于高分辨率长线阵大面阵 CCD 阵列传感器的问世，使得卫星遥感图像的地面分辨率大大提高。例如，印度卫星 IRS-1C，其地面分辨率为 5.8m；法国正在研制的 SPOT-5 采用新的三台高分辨率几何成像仪器（HRG），将提供 5m 的地面分辨率，并能沿轨或异轨立体成像。日本正在研制 Hiros 高分辨率观测卫星，将具有 2.5m 全色分辨率和 10m 多光谱分辨率能力。南非已于 1995 年发射了一颗名为“绿色”的遥感小卫星，载有 1.5m 分辨率的可见光 CCD 相机，德国也正在研制 1~2m 分辨率的成像卫星系统。美国于 1999 年 9 月成功发射的 IKONOS-2 以及即将发射的“Early Bird”、“Quick Bird”，将提供 0.82m 空间分辨率的全色影像和 4~15m 空间分辨率的多光谱影像。所有这些都为遥感的定量化研究提供了保证。

此外，作为主动遥感的侧视雷达在进行对地观测、海洋研究和陆地资源探测方面极有发展前途。1978 年美国海洋卫星 SEASAT 的合成孔径侧视雷达 SAR 系统，尽管只工作了三个月，但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及土地利用调查也很有价值。其后在 80 年代，两颗对地观测的航天飞机成像雷达 SIR-A 和 SIR-B 分别于 1981 年和 1984 年进入太空，获取地球表面 1600 万 km^2 的雷达图像。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 1 米处的流溪、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、火山，估计断层地震的可能性以及寻找地下水源等。进入 90 年代，随着技术的逐步成熟及需求程度的加强，星载雷达呈现出空前的高潮。1991 年 3 月，前苏联把 S 波段的金刚石卫星雷达送入轨道；同年 7 月，欧空局将 C 波段 SAR 装载在欧洲遥感卫星 ERS-1 上发射升空；1992 年 2 月，日本发射了装有 L 波段成像雷达的地球资源卫星 JERS-1，图像分辨率可达到 18m；1995 年 11 月，加拿大空间局将世界上第一颗可以提供商业服务的雷达卫星 RADARSAT 送入了太空，其最高分辨率可达到 10m。所有这些都为遥感影像的定性和定量分析创造了条件。在现在和未来，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；而遥感技术则是传统摄影测量学发展的必然趋势，两者有机地结合起来，已成为地理信息系统（GIS）技术中的数据采集和更新的重要手段。

§ 1-2 影像信息科学的形成与内涵

上一节我们介绍了摄影测量与遥感的发展历史。摄影测量与遥感有机地结合起来，成为 GIS 技术中的数据采集与更新手段；反过来，GIS 是摄影测量与遥感数据存储、管理、表达和应用的重要平台。三者之间有机地结合，导致信息科学分支——影像信息科学的形成。

一、摄影测量、遥感与地理信息系统的结合

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 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。

事实上，早在 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”。

1984~1988 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 ROY 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。

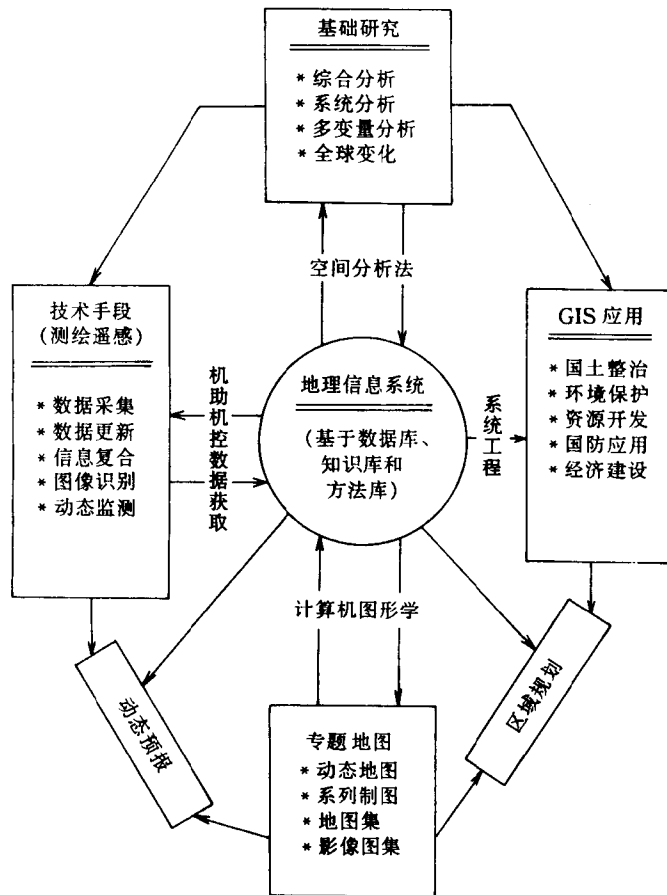


图 1-1 地理信息系统的组成与用途

在 1988 年日本京都召开的 ISPRS 第 16 届大会上，第 III 和第 IV 专业委员会的决议案非常明显地强调了地理信息技术。结果是由中国主持的第 III 委员会建立了五个与 GIS 密切相关的工作组，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 III/5：数字摄影测量系统的设计与算法研究。这就远远超过了仅仅为 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，各种专题图与地形图是通过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 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 作它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也将有关的专业作了类似的改动，更名为 Geomatics；澳大利亚新南威尔士大学建立了 Geomatic Engineering 专业。之后，加拿大矿产资源能源部 (EMR) 下属的测绘局于 1994 年 6 月正式改为加拿大地理信息署 (Geomatics Canada)。

经过摄影测量工作者多年的努力，一批基于 GIS 数据采集的解析测图仪已经问世，采集的数据可直接进入数据库和地理信息系统；数字摄影测量工作站不仅可以快速处理航空像片，更适合于处理各种传感器的遥感图像。

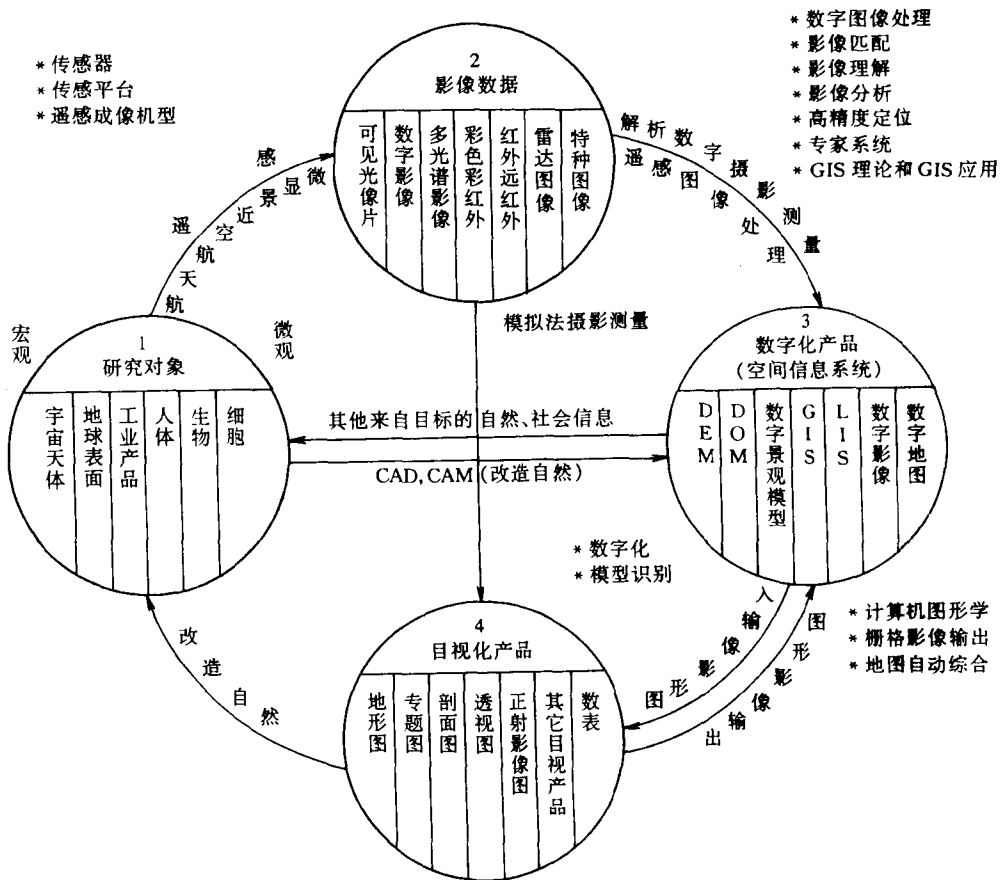


图 1-2 影像信息科学的组成与相互关系