

GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

摄影测量学

(测绘工程专业)

王佩军 徐亚明 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

测绘工程系列教材

摄影测量学

(测绘工程专业)

王佩军 徐亚明 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

内 容 简 介

全书系统讲述了摄影测量的基本原理、方法与内涵,主要内容包括:影像信息的获取方法;单张像片解析及双像立体测图原理、方法;解析基础及解析空中三角测量;数字地面模型的理论与应用;全数字摄影测量基础;像片纠正与正射影像图;摄影测量外业工作;在附录中还增加了地图制图的基本概念与方法。全书共分十章,每章后都有思考题。编写本书的宗旨是既要剔除以往教材中陈旧的内容,又要考虑内容的承前启后,顾及摄影测量发展的新技术、新方法,这样有利于初学者的学习及摄影测量学科的发展。

本书可作为高等学校测绘工程专业摄影测量课程的教材,也可作为工程测量技术人员学习专业知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量学:测绘工程专业/王佩军,徐亚明编著. —武汉:武汉大学出版社,2005.9

高等学校测绘工程系教材

ISBN 7-307-04650-4

I. 摄… I. ①王… ②徐… II. 摄影测量法—高等学校—教材
N. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 078144 号

责任编辑:王金龙

责任校对:刘 欣

版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:10.625 字数:254千字

版次:2005年9月第1版 2006年4月第2次印刷

ISBN 7-307-04650-4/P·100

定价:18.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

按照测绘工程专业教学大纲的要求，我们编写了《摄影测量学（测绘工程专业）》作为测绘工程专业的专业基础课教材使用。

全书内容是按 54 个学时安排的，根据实际教学时数可有所侧重或删减。

该教材主要包括：影像信息科学的组成及影像信息的获取方法；摄影测量的基本原理和方法；摄影测量的外业工作。

随着科学技术的不断进步，摄影测量技术的发展也经历了模拟—解析—数字等不同阶段，为了剔除以往有关教材中陈旧过时的内容，又考虑到有利于内容的承前启后，在介绍摄影测量的基本原理、方法与内涵时，对于模拟摄影测量部分仅做了适当的扼要介绍，进而过渡到解析与数字摄影测量，并介绍当代数字摄影测量的最新成果。这样既使初学者容易理解掌握所学内容，又有利于加速摄影测量学科的发展，这是本教材的特点之一。其二，教材中增加了摄影测量的外业工作内容，使学习者从影像信息的获取、外业控制到影像信息的加工处理有了整体的认识，有利于学习者与所学其他专业知识的有机融合。其三，根据测绘工程专业教学计划的调整，在附录中增加了地图制图的基本概念、地图制图的方法，以便使学习者对地图制图的基本理论与方法有所了解。

全书共分十章，第一、二、七章由徐亚明编写，第三、四、五、六、八、九、十章由王佩军编写。编者曾编写了《影像与制图》讲义，供测绘工程专业本科生使用，在使用过程中，根据专业的发展以及老师、学生的意见又对讲义的内容进行了修改和完善，并将书名定为《摄影测量学（测绘工程专业）》。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在诸多不足与不妥之处，敬请读者指正。

作 者

2005 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 摄影测量学的定义、任务和发展	1
§ 1-2 影像信息学的形成与发展	2
§ 1-3 本书的主要内容和安排	3
第二章 影像获取	4
§ 2-1 航空影像获取	4
§ 2-2 遥感影像	8
第三章 摄影测量基础知识	15
§ 3-1 航空摄影	15
§ 3-2 中心投影的基本知识	19
§ 3-3 航摄像片上特殊的点、线、面	21
§ 3-4 摄影测量常用的坐标系统	22
§ 3-5 航摄像片的内、外方位元素	25
§ 3-6 像点的空间直角坐标变换与中心投影构像方程	28
§ 3-7 航摄像片上的像点位移	35
习题与思考题	38
第四章 双像立体测图基础与立体测图	39
§ 4-1 人眼的立体视觉原理与立体量测	39
§ 4-2 立体像对与双像立体测图	43
§ 4-3 立体像对的相对定向元素与模型的绝对定向元素	46
§ 4-4 模拟法立体测图	48
§ 4-5 解析法立体测图	53
习题与思考题	58
第五章 摄影测量解析基础	59
§ 5-1 像点坐标量测	59
§ 5-2 单像空间后方交会	60
§ 5-3 立体像对的前方交会	67

§ 5-4	立体像对的解析法相对定向	70
§ 5-5	立体模型的解析法绝对定向	77
§ 5-6	双像解析的光束法严密解	80
	习题与思考题	82
第六章	解析空中三角测量	84
§ 6-1	概述	84
§ 6-2	航带网法空中三角测量	86
§ 6-3	独立模型法区域网空中三角测量	91
§ 6-4	光束法区域网空中三角测量	94
	习题与思考题	98
第七章	数字高程模型及其应用	99
§ 7-1	概述	99
§ 7-2	数据预处理	100
§ 7-3	数字高程模型数据内插方法	101
§ 7-4	数字高程模型的数据存储	107
§ 7-5	数字高程模型应用算法	109
	习题与思考题	110
第八章	全数字摄影测量基础	111
§ 8-1	概述	111
§ 8-2	数字影像及数字影像重采样	112
§ 8-3	基于灰度的数字影像相关	114
§ 8-4	核线相关与同名核线的确定	118
§ 8-5	数字摄影测量系统	121
	习题与思考题	125
第九章	像片纠正与正射影像图	126
§ 9-1	像片纠正的概念与分类	126
§ 9-2	数字微分纠正	130
§ 9-3	数字正射影像图的制作方法	133
	习题与思考题	133
第十章	摄影测量的外业工作	135
§ 10-1	摄影测量外业工作任务及作业流程	135
§ 10-2	像片控制点的布设	136
§ 10-3	野外像片控制点的选刺、整饰及像片联测	139

§ 10-4 像片控制点联测的 GPS 方法	142
§ 10-5 像片解译与调绘	144
习题与思考题	148
附录 地图制图	149
§ 1 概述	149
§ 2 地图的数学基础	151
§ 3 地图符号系统	154
§ 4 地图编制	155
§ 5 电子地图	159
主要参考文献	162

第一章 绪 论

§ 1-1 摄影测量学的定义、任务和发展

传统的摄影测量学是利用光学摄影机摄取像片,通过像片来研究和确定被摄物体的形状、大小、位置和相互关系的一门科学技术。它包含的内容有: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,以及将所测得的结果以图解形式或数字形式输出的方法和设备。其主要任务是测制各种比例尺的地形图、建立地形数据库,为地理信息系统、各种工程应用提供基础测绘数据。

摄影测量的主要特点是在像片上进行量测和解译,无需接触被摄物体本身,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。像片及其他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。

摄影测量的分类方法有多种,根据摄影机平台位置的不同可分为:航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量;按摄影机平台与被摄目标距离的远近可分为:航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量;按用途可分为:地形摄影测量和非地形摄影测量,地形摄影测量的目的是测制各种比例尺的地形图,这也是摄影测量的主要任务之一,而非地形摄影测量的应用面非常广,服务的领域和研究对象千差万别,如工业、建筑、考古、军事、生物、医学等。

从摄影测量学的发展来看,可划分为三个阶段:模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。

模拟摄影测量是在室内利用光学的或机械的方法模拟摄影过程,恢复摄影时像片的空间方位、姿态和相互关系,建立实地的缩小模型,即摄影过程的几何反转,再在该模型的表面进行测量。该方法主要依赖于摄影测量内业测量设备,研究的重点主要放在仪器的研制上。由于摄影测量内业测量设备十分昂贵,一般的测量单位无法开展摄影测量的生产任务。在我国该方法一直沿用到 20 世纪 70 年代。

随着计算机的问世,摄影测量工作者开始研究利用计算机这种快速的计算工具来完成摄影测量中复杂的计算问题,这便出现了始于 20 世纪 50 年代末的解析空中三角测量、解析测图仪和数控正射投影仪。由于当时受计算机发展水平的限制,直到 70 年代中期,解析测图仪才进入商用阶段,其价格与一级精度的模拟测图仪价格相近,在全世界得到了广泛的推广和应用,但解析测图仪价格仍然很昂贵。

解析空中三角测量是用摄影测量方法在大面积范围内测定点位的一种精确方法。通常采用的平差模型有航带法、独立模型法及光束法。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及观测误差的自动检测,从而保证了成果的高精度与可靠性。

由于解析摄影测量的发展,非地形摄影测量不再受模拟测图仪器的限制而有了新的活力,特别是近景摄影测量,可采用普通的 CCD 数码相机对被测目标以任意方式进行摄影,研究和监测被测物体的外形和几何位置等,应用领域极其广泛。

解析摄影测量的进一步发展是数字摄影测量。数字摄影测量就是利用所采集的数字/数字化影像,在计算机上进行各种数值、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可视化产品。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、测量数据库等。可视化产品包括地形图、专题图、纵横断面图、透视图、正射影像图、电子地图、动画地图等。表 1-1 列出了摄影测量发展的三个阶段的特点。

表 1-1

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	数字摄影 测量系统	自动化操作 + 作业员的干预	数字产品 模拟产品

自 20 世纪 60 年代以来,航天技术迅速发展起来,70 年代美国的陆地资源卫星 (Landsat) 上天后,“遥感”技术得到了极为广泛的应用,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。在资源勘查和环境监测中,多采用“探测物体而又不接触物体”的遥感技术,并且由于其工作效率高,很快在全世界得到重视并为多种学科所采用。

当前遥感常用的传感器有:航空摄影机(航摄影)、全景摄影机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪 (Multi Spectral Scanner, MSS)、专题制图仪 (Thematic Mapper, TM)、反束光导摄像管 (RBV)、HRV (High Resolution Visible range instruments) 扫描仪、合成孔径侧视雷达 (Side-Looking Airborne Radar, SLAR) 等。

§ 1-2 影像信息学的形成与发展

摄影测量与遥感已成为地理信息系统技术中数据采集的重要手段,而地理信息系统是摄影测量与遥感数据存储、管理、表达和应用的重要平台。三者有机的结合,导致了信息科学分支——影像信息学的形成。

按照王之卓先生的定义,影像信息学是一门记录、存储、传输、量测、处理、解译、分析和显示由非接触传感器影像获得的目标及其环境信息的科学、技术和经济实体。

可以用图 1-1 形象地概括影像信息学的组成和相互关系。可以看出,影像信息获取、处

理、加工和结果表达的整个过程互相有机联系,它既包含了影像的获取,又包含了模拟法、解析法和数字摄影测量,同时还包含了地图制图的相关内容等。

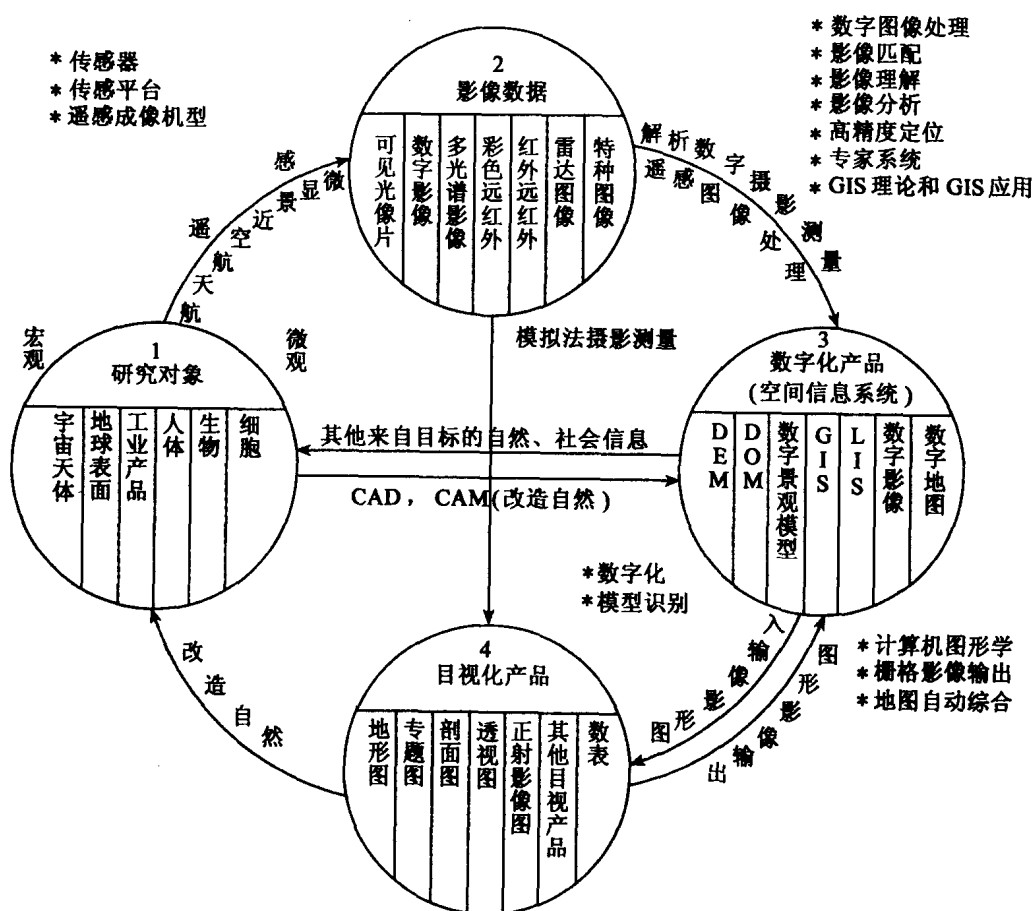


图 1-1 影像信息学的组成和相互关系

§ 1-3 本书的主要内容和安排

本课程是测绘工程专业的通开课,涉及影像信息的获取、信息处理的基本知识和过程,知识面广,一方面让学生从总体上掌握影像信息学的要点,为后续的《数字摄影测量专题》、《遥感基础与应用》等专业课打好基础,另一方面为学生在后续的方向选择中起到一定的指导作用。

本书共分十章:第一章为绪论,主要介绍了摄影测量学的发展及影像信息学的形成;第二章为影像获取,介绍了航空摄影机和非量测摄影机及测绘专业可用的遥感卫星、卫星的参数和影像可达到的空间分辨率;第三章至第十章是摄影测量的内容,包括摄影测量基本知识、双像立体测图基础与立体测图、解析摄影测量基础、解析空中三角测量、数字地面模型、全数字摄影测量基础、像片纠正、摄影测量的外业工作等。

第二章 影像获取

1839年法国人达格雷(Daguerre)和尼普斯(Niepce)发表了第一张摄影照片,标志着摄影术的诞生。1858年法国人图纳利恩(Tournachon)用系留气球上的照相机在空中拍摄了巴黎附近一个小村庄的照片。此后各国都开始探索空中拍摄,有的利用鸽子,更多的人利用气球或风筝。1903年莱特兄弟发明了飞机,为航空摄影的发展提供了稳定可靠的飞行平台。1909年威尔伯·顿特驾机拍摄了第一张航空像片,很快利用航片进行地形测绘和军事侦察,并在两次世界大战的刺激下,发展成一门成熟的学科——航空摄影测量学。在此期间,彩色摄影技术、近红外摄影技术、彩红外摄影技术以及多波段摄影技术等都得到了发展,并且应用于航空摄影测量。可以说在1957年10月4日前苏联第一颗人造地球卫星发射之前,基本上是航空摄影测量阶段。军事侦察和地形测绘是航空摄影测量两个最大的应用领域,其他的应用还有地质勘测以及一些资源及环境的调查。

航天技术的发展使遥感的高度延伸到了太空,从万米的高度延伸到了三万五千多公里的高度,使人类能在一个前所未有的高度,以各种时间、空间分辨率观测地球。光电技术、电子技术的发展使人类开始利用紫外、红外及微波波段,拓展和丰富了人类的感知能力。遥感从单纯的摄影方式发展到了可探测感知近、中、热红外波段的光电探测方式和微波辐射、雷达等各种方式共存。计算机技术的发展使遥感数据的分析处理技术进入了半自动化和智能化,改变了过去仅依靠人和光学设备进行目视解译的状况。

§2-1 航空影像获取

航空摄影测量,由于其具有成图速度快、精度高、不受气候及季节的限制等优点,一直是我国基本地图成图的主要方式,因此航空摄影测量仍然作为测制地形图获取影像的主要手段。航空摄影测量主要使用的是专用的量测航空摄影机,随着数字摄影测量的发展,有时也使用非量测相机。

一、航空摄影机

航空摄影机属专用的量测摄影机,也称航摄仪,主要工作平台为飞机。其一般结构除了与普通摄影机有相同的物镜(镜箱)、光圈、快门、暗箱及检影器等主要部件外,还有座架及其控制系统的各种设备、压平装置,有的还有像移补偿器,以减少像片的压平误差与摄影过程的像移误差。

航空摄影机除了有较高的光学性能、摄影过程的高度自动化外,还有框标装置,即在固定不变的承片框上,四个边的中点各安置一个机械标志——框标。其目的是建立像片的直角框标坐标。两两相对的框标连线成正交,其交点成为像片平面坐标系的原点,从而使摄影的像片上构成直角框标坐标系。新型的摄影机一般在四个角设定四个光学框标来建立像平

面坐标系。由于航空摄影机具有框标装置,因此被称为量测摄影机。

航空摄影机的结构略图见图 2-1。

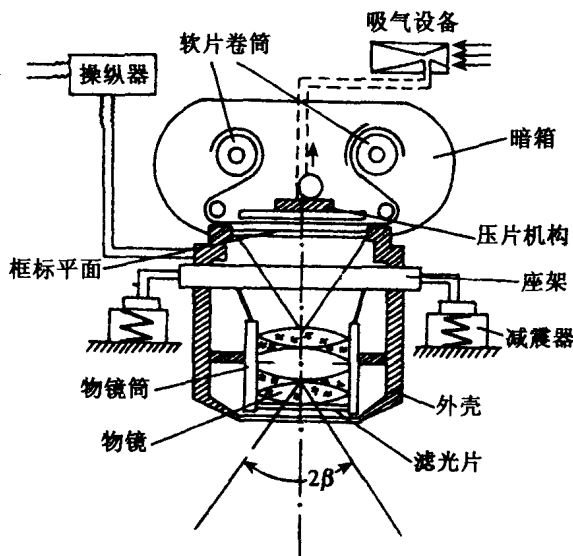


图 2-1 航空摄影机的结构略图

航空摄影机物镜品质优秀,其物镜是由若干个不同曲率半径的透镜组合成的对称式物镜,借以消除或减小像差。摄影机按小孔成像原理,在小孔处安装一个摄影物镜,在成像处放置感光材料,物体经摄影物镜成像于感光材料上,感光材料受摄影光线的光化作用后,经摄影处理可取得景物的光学影像。

组成物镜的各个透镜的光学中心位于同一直线上,这条直线 LL 称为主光轴(图 2-2)。所有平行于主光轴的光线通过镜头后,都与主光轴交于一点,称为主焦点。主焦点有两个: F_1 与 F_2 ,其中, F_1 称为物方主焦点, F_2 称为像方主焦点。过焦点垂直于光轴的平面称为焦平面。

在镜头的主光轴上,有两个节点 s_1, s_2 , s_1 和 s_2 分别称为物镜的物方(或前)节点和像方(或后)节点,从节点至焦点的距离称为镜头的焦距,用 F 表示, $F = s_1 F_1 = s_2 F_2$ 。因两节点的距离很小,通常把两个节点看做一点,称为物镜中心 s 。

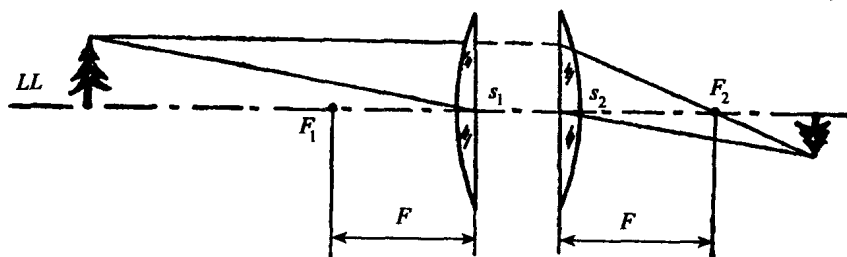


图 2-2 投影物镜光轴及主点、节点

航空摄影机物镜中心至底片面的距离是固定值,称为摄影机的主距,通常用 f 表示,它与物镜焦距基本一致,因物镜畸变等原因而仅有少许差异。

通过透镜的光线照射到焦面上的照度是不均匀的,由中心到边缘逐渐降低。光线通过物镜后,焦面上照度不均匀的光亮圆称为镜头的视场。摄影时,影像相当清晰的一部分视场内的光亮圆称为像场。由物镜后节点向视场边缘射出的光线所张开的角称为视场角,用 2α 表示,由镜头后节点向像场边缘射出的光线所张开的角称为像角,用 2β 表示,如图 2-3 所示。像场内,圆内接正方形或矩形称为最大像幅,航摄像片的像幅均为圆内接正方形,尺寸为 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 、 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 及 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 。为了充分利用像幅,也常用像场外切正方形作为像幅,虽然像幅的四个角落在像场以外,但是四角仅为航摄仪的标志,并不影响影像的质量。

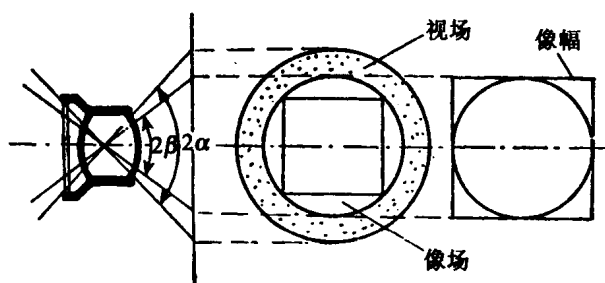


图 2-3 物镜的像角及像幅尺寸

在焦距相同的条件下,像角越大,摄影范围也越大;同样,在像幅尺寸相同条件下,上述结论也成立。按焦距或像场角分类的摄影机如表 2-1 所示。

表 2-1

摄影机分类	焦距 (mm)	像场角 (2β)
短焦距摄影机	< 150	> 100° (特宽)
中焦距摄影机	150 ~ 300	$70^\circ \sim 100^\circ$ (宽角)
长焦距摄影机	> 300	$\leq 70^\circ$ (常角)

另外,镜头的分辨率表示镜头对被摄物体微小细节的分辨能力,分辨率的大小是用焦面上 1mm 宽度内能清晰识别相互平行的线条数目来表示,即 $R = \text{条数/毫米}$ 。

二、非量测摄影机

由于数字摄影测量的发展,摄影测量学的领域更加扩大了,只要物体被摄成影像,都可以使用摄影测量技术解决某一方面的问题,因此,除了使用专用的航空摄影机外,也使用非量测相机。

与量测摄影机相比,非量测摄影机没有框标装置,物镜的畸变差较大,其种类也很多。若从成像的介质区分,可分为光学相机和数码相机,对于高档的数码相机,一般由高档的光学相机机身和数码机背构成。下面将以 Leaf Valeo 22 数码相机机背为例予以介绍。

Leaf Valeo 22 数码相机机背是 Creo 公司 2003 年 6 月 9 日发布的最新产品。它采用了先进的 2200 万像素的 CCD 传感器,在 $48\text{mm} \times 36\text{mm}$ 的传感器上能提供 4008×5334 的分辨率,原始 16 位数据文件达 126MB。该机配有 5 ~ 10GB 大小的移动数字存储器,基于惠普 iPAQ 掌上电脑技术的可拆卸式 $6\text{cm} \times 7\text{cm}$ 的显示器,移动数字存储器都配有独立的移动电源。该机背于 2003 年 9 月 1 日正式投放市场。图 2-4 是 Leaf Valeo 22 数码相机机背与玛米亚相机机身集合图。



图 2-4 Leaf Valeo 22 数码相机机背与玛米亚相机机身集合图

数码机背又称数码后背,由图像传感器和数字处理系统等部分组成,其与普通数码相机相比,最大的不同在于没有镜头及快门等结构,只有加附于其他传统相机机身上才能拍摄使用的装置。

数码后背主要附加在中画幅相机或大画幅相机上使用,使原本使用胶片的相机也可以进行数字化拍摄。与单反数码相机和便携式数码相机相比,加用数码后背的相机体积大,灵活性相对较差,价格高,但像素水平往往非常高,图像传感器的面积也非常大,成像效果惊人。

Leaf (利图)是克里奥公司最引以为荣的产品,该公司是世界上最大的印前设备提供商,公司总部位于加拿大的温哥华,产品开发和制造中心位于温哥华和以色列的赫兹利尔。这款 Valeo22 是目前 Leaf 这个品牌像素最高的产品,具有超过 2200 万的像素,最大文件可达 126MB,完全可以满足大幅面输出的摄影需要。这款机型可接玛米亚 646AFD、玛米亚 RB/RZ 系列、哈苏 6×6 系列相机、哈苏 645 H1、仙娜所有机型、康泰克斯 645 等多种中大画幅相机。由于 Valeo22 的 CCD 大小为 $48\text{mm} \times 36\text{mm}$,与 645 规格相机的底片同等大小,所以安装在 645 机型上,镜头焦距无需乘上系数,对本来广角镜头就不多的 645 相机来说是非常方便的。图 2-5 是 Leaf Valeo 22 数码机背的外观图。



图 2-5 Leaf Valeo 22 数码机背

- Valeo22 的基本配置如下:
- Valeo22 数码后背 1 台
- 5GB 移动硬盘 1 块
- 康柏 POCKET PC 1 台
- 灰卡 1 块
- 锂电池 2 块
- IEEE 1394 线 1 根
- 数据线 1 根
- Leaf Capture V8 软件光盘

§ 2-2 遥感影像

遥感通常是指通过某种传感器装置,在不与被研究对象直接接触的情况下,获取其特征信息(一般是电磁波的反射辐射和发射辐射),并对这些信息进行提取、加工、表达和应用的一门科学和技术。遥感技术包括传感器技术,信息传输技术,信息处理、提取和应用技术,目标信息特征的分析与测量技术等。

遥感技术依其遥感仪器所选用的波谱性质可分为电磁波遥感技术、声呐遥感技术、物理场(如重力场和磁力场)遥感技术。电磁波遥感技术是利用各种物体/物质反射或发射出不同特性的电磁波进行遥感的,可分为可见光、红外、微波等遥感技术。按照感测目标的能源作用可分为主动式遥感技术和被动式遥感技术。按照记录信息的表现形式可分为图像方式和非图像方式。按照遥感器使用的平台可分为航天遥感技术、航空遥感技术、地面遥感技术。按照遥感的应用领域可分为地球资源遥感技术、环境遥感技术、气象遥感技术、海洋遥感技术等。常用的传感器有:航空摄影机(航摄影)、全景摄影机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪(Multi Spectral Scanner, MSS)、专题制图仪(Thematic Mapper, TM)、反束光导摄像管(RBV)、HRV(High Resolution Visible range instruments)扫描仪、合成孔径侧视雷达(Side-Looking Airborne Radar, SLAR)等。

常用的遥感数据有:美国陆地卫星(Landsat)TM 和 MSS 遥感数据,法国 SPOT 卫星遥感

数据,加拿大 Radarsat 雷达遥感数据。遥感技术系统包括:空间信息采集系统(包括遥感平台和传感器),地面接收和预处理系统(包括辐射校正和几何校正),地面实况调查系统(如收集环境和气象数据),信息分析应用系统。遥感技术主要应用于以下领域:陆地水资源调查、土地资源调查、植被资源调查、地质调查、城市遥感调查、海洋资源调查、测绘、考古调查、环境监测和规划管理等。目前,主要的遥感应用软件是 ilwis、PCI、ERMapper 和 ERDAS。

20 世纪 60~80 年代,国际遥感技术高速发展,逐步从科学研究阶段进入实用阶段,美国、前苏联在这个领域是一家独秀。进入 80 年代末,法国、日本、欧空局、中国和印度均发射了自己的遥感卫星,而且许多国家都制定了遥感卫星计划。

一、目前遥感技术发展特点

1. 追求更高的空间分辨率。目前的空间分辨率,多波段为 20m,全色波段为 10m,但已有好几颗卫星装载空间分辨率优于 10m 的传感器。

2. 追求更精细的光谱分辨率。目前星载遥感器的光谱率大约为可见近红外波段,略优于 100nm,在热红外波段约为 200nm,而机载的成像光谱仪已达到可见光、近红外波段,约 10nm,热红外波段约 30nm,整个波段数已达到 256 个。美国制定的 EOS 计划(地球观测计划)就包括有中分辨率和高分辨率的成像光谱仪。

3. 综合多种遥感器的遥感卫星平台。一颗卫星装备多种传感器,既有高空间光谱分辨率、窄成像带的传感器,适合于小范围详细研究,又有中低空间光谱分辨率、宽成像带的传感器,适合宏观快速监测,两者综合,服务于不同的需求。

4. 多波段、多极化、多模式合成孔径雷达卫星。合成孔径雷达具有全天候和高空间分辨率等特点。目前已有几颗卫星装备有单波段、单极化的合成孔径雷达。1995 年 11 月 4 日加拿大发射的 Radarsat(雷达卫星)就具有多模式的工作能力,能够改变空间分辨率、入射角、成像宽度和侧视方向等工作参数。1995 年美国航天飞机两次飞行试验了多波段、多极化合成孔径雷达。

5. 斜视、立体观测、干涉测量技术的发展。可见光斜视、立体观测可以用于卫星地形测绘,干涉测量技术是利用相邻两次的合成孔径雷达影像进行地形测量和微位移形变测量的技术。目前法国的 SPOT 卫星已具备斜视立体观测能力,进行地形测绘的技术取得重大进展,但仍未完全实用化。干涉测量技术在欧空局的 ERS-1 卫星 C 波段 SAR 计划中进行过实验。

遥感的应用领域不断拓展,从传统的军事侦察和测绘发展到林业、地质、农业和土地利用、气象、环境和工程选址等各种行业。

图 2-6 以对地球观测和对空间观测系统应用为例,给出了信息获取与处理技术的基本构成和信息流程。这张图是针对典型应用的实例,它代表了信息获取技术的基本原理。尽管遥感技术应用五花八门,组成部分及其元部件种类繁多,得到的信息的形式多种多样,但基本过程和基本功能都是相同的。

二、常用的遥感影像卫星

1. 陆地卫星(Landsat)

第一颗陆地卫星是美国于 1972 年 7 月 23 日发射的,是世界上第一次发射的真正的地

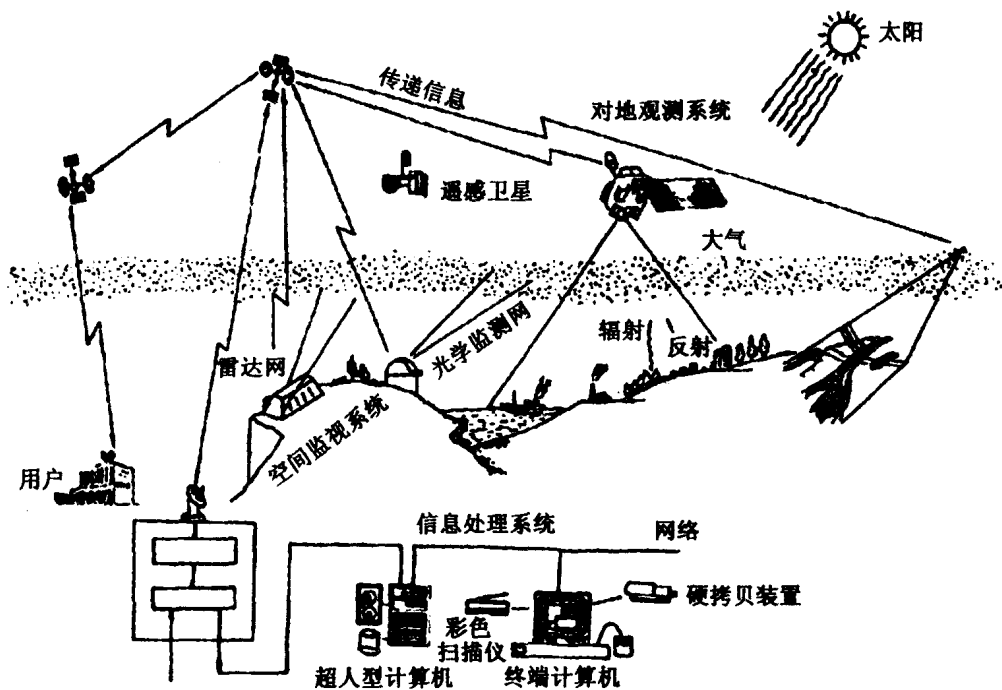


图 2-6 信息获取与处理过程

球观测卫星,原名称叫做地球资源技术卫星(Earth Reasource Technology Satellite, ERTS),1975年更名为陆地卫星。由于它出色的观测能力推动了卫星遥感的飞跃发展,迄今 Landsat 已经发射了 6 颗卫星,但第 6 颗卫星发射失败,现在运行的是第 5 号卫星。

前三颗卫星的轨道是近圆形太阳同步轨道,高度约为 915km,运行周期 103min,每天绕地球 14 圈,每 18 天覆盖全球 1 次。星载的遥感器有:(1) 3 台独立的返束光导摄像机(RBV),分三个波段同步成像,地面分辨率为 80m;(2) 多波段扫描仪 MSS(Multi Spectral Scanner System)在绿、蓝、红和近红外的四个波段工作,地面分辨率也为 80m。

Landsat-4 和 Landsat-5 进入高约 705km 的近圆形太阳同步轨道,每一圈运行的时间约为 99min,每 16 天覆盖全球 1 次,第 17 天返回到同一地点的上空。星上除了带有与前 3 颗基本相同的多波段扫描仪 MSS 外,还带有一台专题成像仪 TM(Thematic Mapper),它可在包括可见光、近红外和热红外在内的 7 个波段工作,MSS 的分辨率为 80m,TM 的分辨率除 6 波段为 120m 以外,其他都为 30m。

MSS、TM 的数据是以景为单元构成的,每景约相当于地面上 $(185 \times 170) \text{ km}^2$ 的面积。各景的位置根据卫星轨道所确定的轨道号和由中心纬度所确定的行号进行确定。Landsat 的数据通常用计算机兼容磁带(CCT)提供给用户。Landsat 的数据现在被世界上十几个地面站所接收,主要应用于陆地的资源探测、环境监测,是目前世界上利用最为广泛的地球观测数据。

表 2-2 所示的是 Landsat-5 成像装置的分辨率和视场等参数。