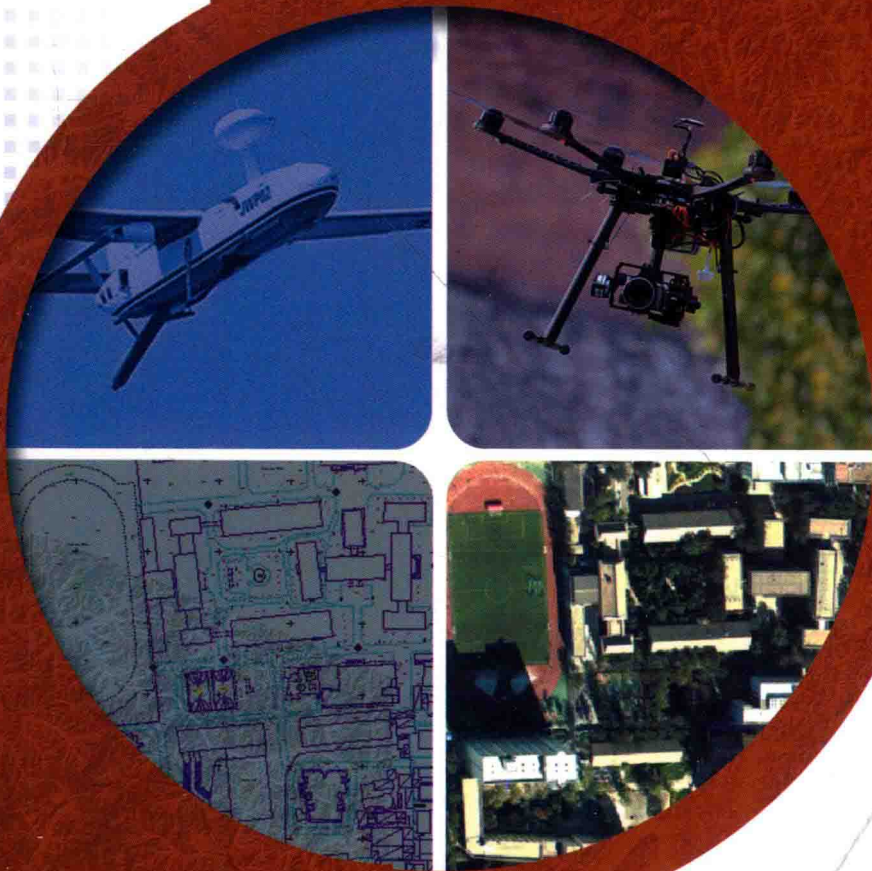


遥感科学与技术教材

摄影测量基础

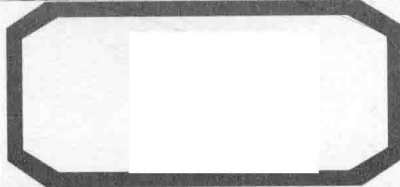
Fundamentals of Photogrammetry

朱凌 编著



测绘出版社

遥感科学与技术教材



摄影测量基础

Fundamentals of Photogrammetry

朱凌 编著



测绘出版社

· 北京 ·

©朱凌 2018
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容简介

本书是作者二十余年从事测绘工程和遥感科学与技术本科专业“摄影测量基础”课程教学工作的总结。主要内容包括绪论、单张像片解析、立体摄影测量基础、双像解析摄影测量、解析空中三角测量、摄影测量基础实验等部分。
本书适合作为遥感科学与技术本科专业摄影测量基础课程的教材,也适合作为测绘工程、地理信息科学等专业学习摄影测量基础课程的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量基础 /朱凌编著. —北京:测绘出版社, 2018. 6
遥感科学与技术教材
ISBN 978-7-5030-4139-6

I. ①摄… II. ①朱… III. ①摄影测量学—高等学校—教材 IV. ①P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 132878 号

责任编辑	李莹	执行编辑	刘策	封面设计	李伟	责任校对	石书贤	责任印制	陈超
出版发行	测绘出版社				电 话	010—83543956(发行部)			
地 址	北京市西城区三里河路 50 号					010—68531609(门市部)			
邮政编码	100045					010—68531363(编辑部)			
电子信箱	smp@sinomaps.com				网 址	www.chinasmp.com			
印 刷	北京九州迅驰传媒文化有限公司				经 销	新华书店			
成品规格	184mm×260mm								
印 张	9				字 数	220 千字			
版 次	2018 年 6 月第 1 版				印 次	2018 年 6 月第 1 次印刷			
印 数	001—500				定 价	28.00 元			

书 号 ISBN 978-7-5030-4139-6

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前言

摄影测量学研究从多个角度对目标摄影获得影像,利用二维影像重建被摄物体三维的过程。摄影测量的主要任务是生产测绘地理信息产品,如测制各种比例尺的地形图,生成正射影像,建立地形数据库,为各种地理信息系统、土地信息系统及工程提供空间基础数据,同时服务于非地形领域,如工业、建筑、生物、医学、考古等领域。

遥感科学与技术专业的课程体系中,在学习摄影测量基础课程前,已经系统学习过测量学、测量误差理论、航空航天数据获取等课程;在学习完摄影测量基础课程后,还要学习数字摄影测量、近景摄影测量等课程。据此,摄影测量基础课程主要介绍摄影测量的基础理论,包括单张像片解析、立体摄影测量基础、双像解析摄影测量、解析空中三角测量等。此外,还要有一定的实践内容帮助深化理解这些内容。

本书主要针对遥感科学与技术本科专业的摄影测量基础课程教学使用。作者从事摄影测量基础课程教学二十余年,力图将较为抽象的理论图文并茂地讲解透彻。本书也可供学习摄影测量基础知识的各界人士选用。

在本书的编写过程中,北京建筑大学测绘与城市空间信息学院的研究生张小红进行了大量的绘图、录入和编辑工作。研究生卫玄烨参与了后期整理和编辑工作。这里一并表示感谢!

第一章 绪论	1
第一节 摄影测量的定义与分类	1
第二节 摄影测量的发展历史	2
第三节 摄影测量的应用	3
第四节 摄影测量的特点	4
第五节 摄影测量的主要任务	5
第六节 摄影测量的主要成果	6
第七节 摄影测量的主要设备	7
第八节 摄影测量的主要方法	8
第九节 摄影测量的主要软件	9
第十节 摄影测量的主要标准	10
第十一节 摄影测量的主要规范	11
第十二节 摄影测量的主要法规	12
第十三节 摄影测量的主要政策	13
第十四节 摄影测量的主要规划	14
第十五节 摄影测量的主要设计	15
第十六节 摄影测量的主要施工	16
第十七节 摄影测量的主要验收	17
第十八节 摄影测量的主要评价	18
第十九节 摄影测量的主要总结	19
第二十节 摄影测量的主要展望	20
第二章 摄影测量的基础	21
第一节 摄影测量的基本概念	21
第二节 摄影测量的基本术语	22
第三节 摄影测量的基本单位	23
第四节 摄影测量的基本量	24
第五节 摄影测量的基本角	25
第六节 摄影测量的基本线	26
第七节 摄影测量的基本面	27
第八节 摄影测量的基本体	28
第九节 摄影测量的基本点	29
第十节 摄影测量的基本线	30
第十一节 摄影测量的基本面	31
第十二节 摄影测量的基本体	32
第十三节 摄影测量的基本点	33
第十四节 摄影测量的基本线	34
第十五节 摄影测量的基本面	35
第十六节 摄影测量的基本体	36
第十七节 摄影测量的基本点	37
第十八节 摄影测量的基本线	38
第十九节 摄影测量的基本面	39
第二十节 摄影测量的基本体	40
第三章 立体摄影测量基础	41
第一节 立体摄影测量的原理	41
第二节 立体摄影测量的产生	42
第三节 立体摄影测量的观察	43
第四节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	44
第五节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	45
第六节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	46
第七节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	47
第八节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	48
第九节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	49
第十节 立体摄影测量的观测值——像点坐标的观测	50
第四章 双像解析摄影测量	51
第一节 双像解析摄影测量的原理	51
第二节 双像解析摄影测量的产生	52
第三节 双像解析摄影测量的观察	53
第四节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	54
第五节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	55
第六节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	56
第七节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	57
第八节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	58
第九节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	59
第十节 双像解析摄影测量的观测值——像点坐标的观测	60

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 摄影测量基本概念	1
第二节 摄影测量的发展历程	4
第三节 摄影测量基础与其他课程的关系	7
思考与练习	8
第二章 单张像片解析	9
第一节 摄影与航空摄影回顾	9
第二节 中心投影与正射投影	12
第三节 航摄像片上重要的点、线、面	14
第四节 透视变换作图	17
第五节 摄影测量常用的坐标系	18
第六节 航摄像片的内外方位元素	21
第七节 像点的空间坐标变换	25
第八节 共线条件方程	30
第九节 像点位移与方向偏差	33
第十节 航摄像片比例尺	37
第十一节 单张像片纠正	39
第十二节 像片内定向	41
思考与练习	41
第三章 立体摄影测量基础	43
第一节 天然立体视觉原理	43
第二节 人造立体视觉的产生	44
第三节 像对的立体观察	44
第四节 摄影测量的观测值——像点坐标的观测	46
思考与练习	47
第四章 双像解析摄影测量	48
第一节 立体像对重要的点、线、面	48
第二节 双像解析摄影测量概述	49
第三节 空间后方交会	49
第四节 空间前方交会	57
第五节 空间后方交会—前方交会解法	62

第六节	解析相对定向	63
第七节	同名核线的确定	71
第八节	影像匹配	72
第九节	解析绝对定向	77
第十节	相对定向—绝对定向解法	82
第十一节	光束法双像解析摄影测量	83
思考与练习		85
第五章 解析空中三角测量		87
第一节	空中三角测量概述	87
第二节	单航带解析空中三角测量	90
第三节	航带法区域网空中三角测量	98
第四节	光束法区域网空中三角测量	102
第五节	自检校光束法区域网平差	106
第六节	摄影测量与非摄影测量观测值联合平差	109
第七节	GPS 辅助空中三角测量	111
第八节	POS 系统及其在解析空中三角测量中的应用	114
思考与练习		120
第六章 摄影测量基础实验		122
第一节	空间后方交会—前方交会程序编制	122
第二节	解析空中三角测量软件操作	127
思考与练习		137
参考书目		138

第一章 绪 论

在摄影测量基础的绪论中,将介绍什么是摄影测量、摄影测量的发展历程以及摄影测量与其他相关课程的关系。

第一节 摄影测量基本概念

一、定 义

摄影测量这个名称,已经很好地把其含义表现出来,即先摄影再测量。具体以图 1-1-1 说明。

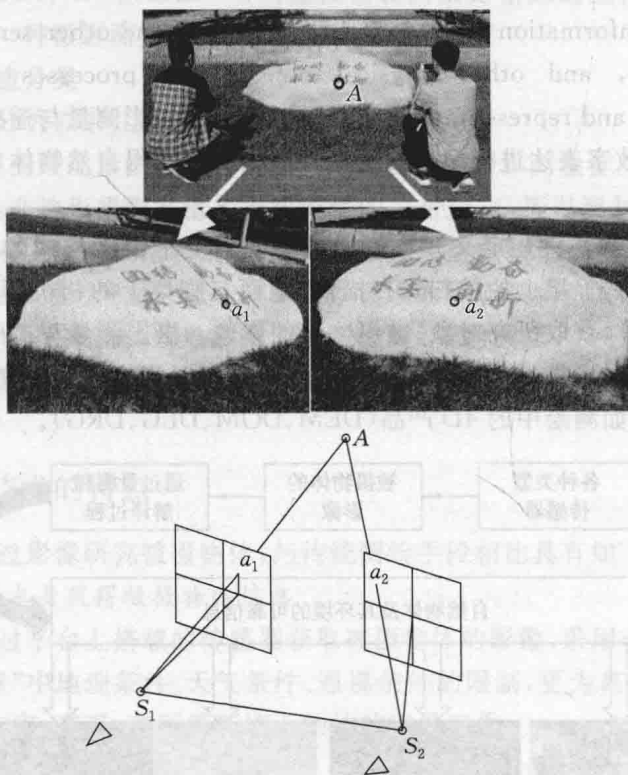


图 1-1-1 摄影测量基本原理示意

要测量某物体,如图 1-1-1 中雕像上的某点 A 的坐标,先在左右两个位置分别摄取雕像的影像,得到左右两张影像,在这两张影像上都有 A 的像点(a_1 和 a_2),利用这两个像点的光线交会即可重建物点 A ,即获得 A 点的坐标,从而实现对 A 点的测量。所以,摄影测量与传统测量手段相比,是将对实物的测量转化为对实物的摄影,得到像片,在像片上进行测量。在测绘领域,测量的结果通常直接形成数字高程模型(digital elevation model, DEM)、数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)、数字线划图(digital line graph, DLG)、数字栅格图(digital raster graphic, DRG)等测绘产品,也可以是正射影像与 DEM 叠加形成的真实景观三维模型,如图 1-1-2 所示。

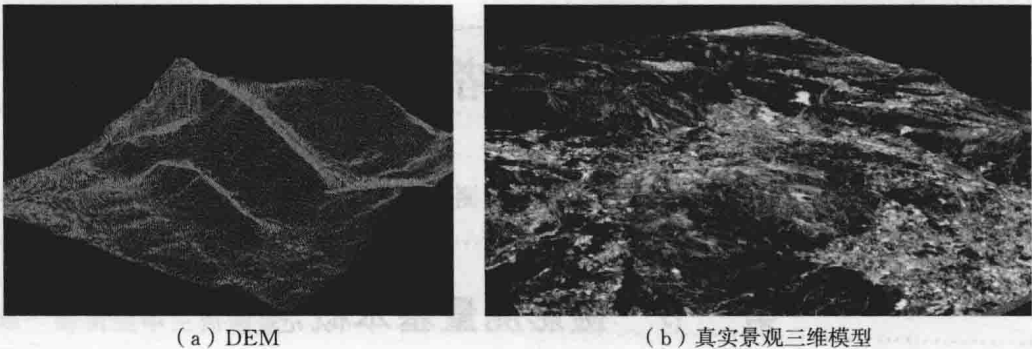


图 1-1-2 摄影测量产品

目前国际上普遍采用的摄影测量与遥感的定义是 1988 年在日本京都召开的国际摄影测量与遥感学会(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS)第 16 届大会上确定的:Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science and technology of obtaining reliable information from noncontact imaging and other sensor about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation。翻译成中文为:摄影测量与遥感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。

图 1-1-3 为图示化表达上述定义。首先通过不同高度平台上搭载的各种类型的传感器,如飞机上的航空摄影机、卫星上的推扫式扫描仪、地面三脚架上的相机、移动测量车上的电荷耦合器件(CCD)相机等,获取研究对象、被摄物体的影像。摄影测量与遥感是通过影像实现对目标的研究和信息提取的,是一种基于影像的方法。通过对影像的量测和解译,从而获得被研究物体的信息或产品,如测绘中的 4D 产品(DEM、DOM、DLG、DRG)。

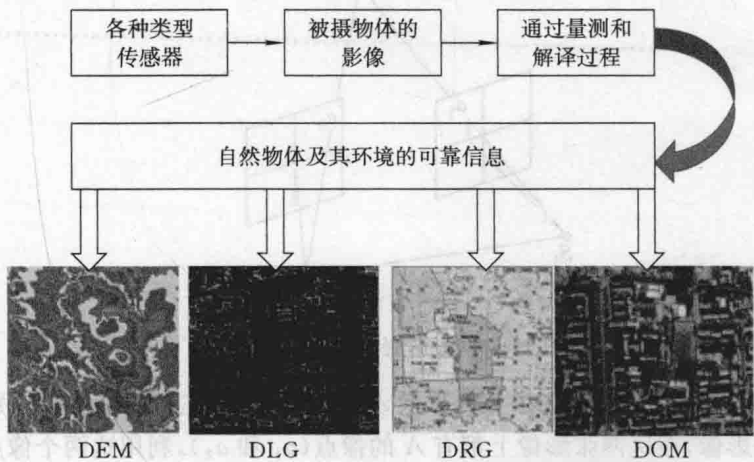


图 1-1-3 摄影测量定义的图示说明

二、分 类

摄影测量作为测绘科学与技术一级学科下的二级学科,有许多分支学科。摄影测量的分类方法有多种。

(一)按照承载传感器平台的高度分类

按承载传感器平台的高度由高到低可分为以下几类:

航天摄影测量(spatial photogrammetry):航天摄影测量是指通过航天飞行器所载传感器进行摄影,在获取的影像上进行量测与判译的科学与技术。

航空摄影测量(aerial photogrammetry):航空摄影测量是指在飞机上用航摄仪器对地面连续摄取像片,结合地面控制点测量、调绘和立体测绘等步骤,获得相应产品。

地面摄影测量(terrestrial photogrammetry):地面摄影测量是指利用安置在地面上基线两端点处的摄影机向目标拍摄立体像对,对所摄目标进行测绘的技术。此技术用于险阻高山区、小范围山区和丘陵地区测图,还用于地质、冶金、采矿、水利、铁道等方面的勘察。

近景摄影测量(close-range photogrammetry):近景摄影测量是指对物距不大于300 m(也有文献定义为100 m以内)的近距离目标摄取立体像对,经过加工处理,确定其大小、形状和几何位置的技术。

显微摄影测量(microphotogrammetry):显微摄影测量是指通过显微装置获取微小物体图像进行相应处理的一种摄影测量方法。

(二)按照产品用途分类

按照产品用途可分为以下几类:

地形摄影测量:以测绘地形图及各种测绘产品为目的的摄影测量称为地形摄影测量。

非地形摄影测量:非地形摄影测量是摄影测量的一个分支,不以测制地形图为目的,而是主要研究物体的形状和大小的理论和技术,可以直接运用航空摄影测量与地面摄影测量的理论,或稍加改变。非地形摄影测量广泛应用于科学技术的各个领域和国民经济的各个部门,其中以近景摄影测量使用最普遍。近景摄影测量在建筑、生物医学、工业等方面的应用最为成熟,从而形成了建筑摄影测量、生物医学与生物工程摄影测量、工程和工业摄影测量等新的分支。

三、摄影测量技术的特点

摄影测量技术通过影像研究被摄物体,与传统测绘手段相比具有如下的特点。

1. 无须接触物体本身获得被摄物体信息

摄影测量技术通过平台上搭载的传感器获取被摄物体的影像,采用非接触的方式,可以克服传统测绘“以脚丈量”中地理条件、天气条件、通视条件的限制,更为高效、经济,还可以实现困难地区及对有毒、有害、高温、高压等环境下物体的测量工作。

2. 由二维影像重建三维目标

影像为二维平面。利用二维影像重建目标的三维信息,获取目标物点的 X 、 Y 、 Z 坐标是摄影测量要解决的主要问题之一。单张影像上的目标像点只能提供像点的 x 、 y 像片坐标观测值,要获得目标点的 X 、 Y 、 Z 坐标则缺少条件,无法求解。立体摄影测量利用从不同位置获取的至少两张像片来重建目标点的三维,即通过两条光线的交会确定点的三维坐标。

3. 面采集数据方式

数据的获取以“面”方式获取,工作效率显然高于传统测绘手段的“点”获取模式。传统测绘的全站仪、全球定位系统(global positioning system, GPS)测量坐标都采用“点”方式,一次采集只能获取一个点的坐标。各种影像获取平台如地面测量车、无人机、有人机、卫星等造就

了在数据获取上对地面从区域到细部各种尺度的覆盖,可以说在数据获取方式上有优势。

4. 同时提取物体的几何与物理特性

影像不仅包含几何信息,还可以提供丰富的物理信息,信息量大,是被摄目标的真实反映,如道路的路面材料、树木的冠层类型、森林郁闭程度、草场的长势、屋顶信息等专题信息。

四、应 用

摄影测量应用可分为地形测量领域和非地形测量领域。

1. 地形测量领域

在地形领域,摄影测量是目前各种比例尺的地形图、专题图生产以及正射影像图、景观图制作的主要手段;还可用于建立各种数据库,提供地理信息系统和土地信息系统所需要的基础数据。

2. 非地形测量领域

除了测绘数据生产外,在生物医学、公安侦破、古文物、古建筑保护、建筑物变形监测等领域,也可以应用摄影测量技术实现非地形目标的三维重建,获得各种图件和数据产品。

第二节 摄影测量的发展历程

摄影测量技术在发展历程中,一次次地结合、利用世界上最新的技术手段,不断地前进、发展、演变,目前处于飞速发展的阶段。

摄影测量起源于19世纪照相机的发明。数学家勃兰特早在18世纪就论述了摄影测量学的基础——透视几何理论。1837年,法国人达盖尔发明了摄影术,为摄影测量提供了基本手段。19世纪中叶,法国陆军上校劳塞达利用所谓“明箱”装置测制了万森城堡图,这位上校被公认为“摄影测量之父”。航空摄影起源于1858年,法国摄影师纳达尔乘坐气球在巴黎郊外80 m上空拍摄了世界上第一张航空影像。1860年,美国人布莱克利用湿板拍摄了波士顿的航空像片。1885年,法国人乘坐气球从2 000英尺(约610 m)高空拍摄了巴黎的航空像片。1903年,莱特兄弟发明了飞机,使航空摄影和航空摄影测量成为可能。第一次世界大战期间,首台航摄仪的问世、立体坐标量测仪和立体测图仪的发明,使摄影测量学用于大规模测绘产品生产成为可能。

摄影测量学的发展经历了模拟摄影测量、解析摄影测量、数字摄影测量三个阶段。

(一)模拟摄影测量

模拟摄影测量是利用光学或机械投影方法实现摄影过程的反转,用两个或多个投影器模拟摄影机摄影时的位置和姿态,构成与实际地形表面成比例的几何模型,通过对该模型的量测得到地形图和各种专题图。

19世纪中叶,劳塞达利用摄影像片和所谓的“明箱”装置,测制万森城堡图,标志着摄影测量的诞生。当时劳塞达采用的是图解法逐点测绘。直到20世纪初,维也纳军事地理研究所按奥雷尔的思想制成了“立体测图仪”,后来由德国卡尔蔡司厂进一步发展,成功地制造出实用的“立体测图仪”。这些仪器均采用光学投影器或机械投影器或是光学—机械投影器“模拟”摄影过程,用它们交会被摄物体的空间位置,所以称为“模拟摄影测量仪器”。因此,这一发展时期也被称为“模拟摄影测量时代”。在这个时期,摄影测量技术的发展基本上是围绕开发十分昂

贵的立体测图仪来进行的。到了 20 世纪六七十年代,这种类型的仪器发展到了顶峰。图 1-2-1 为 B8S 立体测图仪的外观。

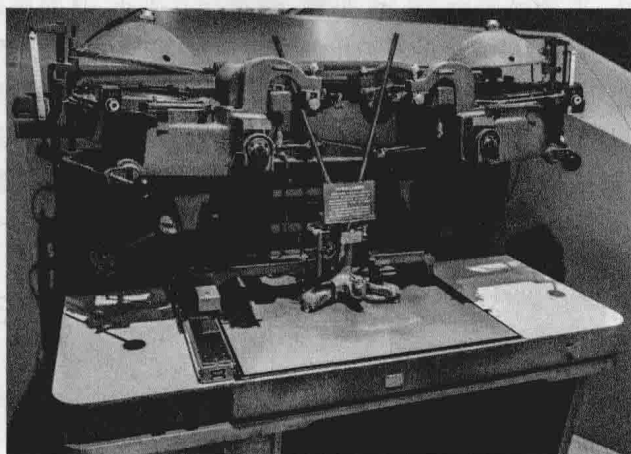


图 1-2-1 B8S 精密立体测图仪

(二)解析摄影测量

解析摄影测量是以电子计算机为主要手段,通过对摄影像片的量测和解析计算方法的交会方式来研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质及其相互关系,并提供各种摄影测量产品的一门科学。

1954 年,第一台电子计算机问世。电子计算机的出现和自动控制技术、模拟转换技术的实用化,为摄影测量立体测图仪的发展提供了新的技术条件。海拉瓦于 1957 年提出了摄影测量的一个新概念,就是用“数字投影”代替“物理投影”。所谓“物理投影”就是指“光学的、机械的,或光学—机械的”模拟投影。“数字投影”就是利用电子计算机实时地进行共线方程、共面方程等数学模型的计算,从而交会被摄物体的空间位置。解析摄影测量是依据像点与相应的地面点间的数学关系,用电子计算机解算像点相应地面点的坐标并进行测图解算的技术。在解析摄影测量中,利用少量的野外控制点,加密测图用的控制点或其他用途的更加密集的控制点的工作,叫作解析空中三角测量,也称为电算加密。电算加密和解析测图仪的出现标志着摄影测量进入解析摄影测量的时代。

解析测图仪与模拟测图仪的主要区别有三点:①前者使用数字投影方式,后者使用模拟的物理投影方式;②在仪器设计和结构上前者为由计算机控制的坐标量测系统,后者为使用纯光学、机械型的模拟测图装置;③在操作方式上前者是计算机辅助的人工操作,后者是完全手工操作。图 1-2-2 所示为 JX-3 解析测图仪的外观。

(三)数字摄影测量

数字摄影测量是基于摄影测量的基本原理,通过对所获取的数字/数字化影像进行处理,自动或半自动提取被摄对象用数字方式表达的几何与物理信息,从而获得各种形式的数字产品和目视化产品。

数字摄影测量就是以数字影像为基础,用电子计算机进行分析和处理,确定被摄物体的形状、大小、空间位置及其性质的技术。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再是光学像片,而是数字影像(如 CCD 影像)或数字化影像,这最终是以计算机视觉代替人眼的主体观测,因而它所使用的仪器只能是通用计算机及其相应外部设备。

20 世纪 80 年代前后开始了数字摄影测量的发展。到 20 世纪 90 年代真正推出可用于生产的商用数字摄影测量系统。图 1-2-3 所示是 JX-4 数字摄影测量工作站的外观。



图 1-2-2 JX-3 解析测图仪

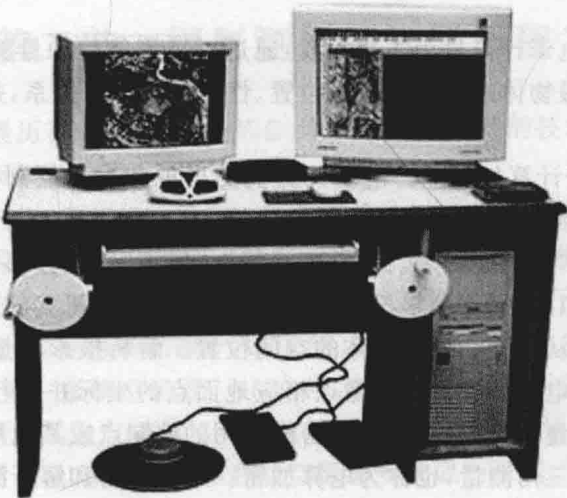


图 1-2-3 JX-4 数字摄影测量工作站

表 1-2-1 是三个发展阶段的特点对比。

表 1-2-1 三个阶段对比

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	手工操作	模拟产品
解析摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助 业务员操作	模拟产品、 数字产品
数字摄影测量	数字化影像、 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作+ 业务员干预	数字产品、 模拟产品

数字摄影测量软件系统经历了 20 多年的发展。它大致可分为 3 个发展时期：从 1992 年到 2000 年的阿姆斯特丹大会，可谓数字摄影测量的初期，它以航空摄影照片的“数字化器”为标志；21 世纪的前 10 年，数字摄影测量发展出了各种各样的传感器，进入数字测量的传感器

时代;目前,新型的传感器不多,而摄影测量的网格系统开始替代原来的摄影测量工作站,摄影测量进入了信息化时代。摄影测量进入全数字化时代,计算机的任何进展都会影响摄影测量的发展。同时必须指出的是,由于三维重建、游戏、电视、电影的需要,在此期间,计算机(计算机视觉、计算机图形学)的直接参与使摄影测量得到快速发展。

摄影测量的发展不仅要提高其自动化程度,还要向智能化发展。信息时代的摄影测量系统逐渐向一体化发展,摄影测量的功能集成在一体机中,用户可以通过一键式操作,根据输入的影像路径得到需要的结果。摄影测量的智能化(即傻瓜化)将是摄影测量系统发展的大趋势。

第三节 摄影测量基础与其他课程的关系

本书作为遥感科学与技术、测绘工程、地理信息科学等专业的教材,在课程的安排上需要有一定的衔接关系。摄影测量基础课程在课程体系中起到重要的承上启下的作用。要求在学习摄影测量基础课程之前,已经学习过测量学、测量平差基础、航空航天数据获取三门课程。而摄影测量基础又是后续多门课程的先修课。课程的逻辑关系见图 1-3-1。



图 1-3-1 课程衔接关系

测量学的知识帮助建立测绘的基本概念,认识地球的形状和大小,了解确定点位的基本方法,了解误差的基本概念。测量学是学习摄影测量基础的重要基石。建立基本的测量概念,理解一些基本的测量术语,才能理解摄影测量的基本任务和目的。

测量平差是用最小二乘法原理处理各种观测结果的理论和计算方法。测量平差的目的在于消除各观测值间的矛盾,以求得最可靠的结果并评定测量结果的精度。任何测量,只要有多余观测,就有平差的问题。摄影测量是通过在影像上量测像点坐标,作为直接的观测值,或通过构成虚拟的观测值,建立过程机理的数学模型,即列误差方程式,一般方程的个数多于未知数的个数,在此基础上通过最小二乘平差来求得未知数的解。过程的机理模型一般是通过空间几何关系推导的,如三点共线、三个矢量共面、两条直线相交等。所以摄影测量解决问题之

道可以称为:空间解析几何+最小二乘平差。可见测量平差在摄影测量中的重要性。摄影测量中的空间后方交会、前方交会、解析相对定向、绝对定向、航带法区域网空中三角测量、光束法区域网空中三角测量等都是通过平差的方式解决问题的。

此外,摄影测量基础课程是在学习了航空航天摄影的基础上进行的。航空航天数据获取是以摄影为基础,介绍航摄仪的基本结构、光学特性及航摄仪检校等内容,掌握获取航空航天摄影原始数据的基本过程、技术设计方法和影像质量评定等基础知识,为摄影测量的学习打下理论基础。所以在本书中不再介绍摄影的基础知识、照相机的结构和术语、航摄仪的基本结构、航空摄影的技术过程及航空摄影参数的计算。这些知识无疑是学习摄影测量基础的重要支柱。

另一方面,在学习完本书内容的基础上,后续课程包括数字摄影测量、近景摄影测量、现代摄影测量、激光雷达测量技术、移动道路测量技术等多门专业课程。这些课程都是在本书介绍的知识体系、基本理论基础上逐步构建的。

数字摄影测量是通过同名像点自动提取技术代替人眼识别,结合数字图像处理技术,将摄影测量生产过程中传统的手工操作转化为自动化或半自动化处理,用以生产数字高程模型、数字正射影像、立体正射影像对与真正射影像、数字线划图和实景三维模型等产品。

凡可摄取其影像的目标,均可作为摄影测量的研究对象,以获得目标上点群的三维空间坐标,以及基于这些三维空间坐标的长度、面积、体积、等值线(剖面线)等。近景摄影测量直接利用本书中介绍的摄影测量基础理论知识和数学模型,主要应用于古建筑古文物摄影测量、生物医学摄影测量和工业摄影测量方面,研究这些非地形目标的影像获取、控制测量、内业处理原理和相机检校方法等内容。其中的解析处理方法是摄影测量基础中的后方交会、前方交会、光束法平差的基础上,结合近景摄影的特点而发展演化得到的。

现代摄影测量主要介绍摄影测量新技术进展,包括航空航天线阵列摄影测量、无人机(飞艇)摄影测量(UMV)、移动道路测量、工业实时摄影测量、机载激光雷达(LiDAR)测量、合成孔径雷达(InSAR)测量、数字光栅三维测量、数字全息测量、三维城市与建筑重建技术和方法。现代摄影测量使学生了解现代摄影测量传感器平台进展,基于传感器平台技术的空间信息测量技术,以及相关数据处理方法。

这样的课程体系,可以为遥感科学与技术、测绘工程、地理信息科学等专业学生将来的摄影测量及相关领域的研究和生产工作奠定扎实的测绘、摄影测量基础。

思考与练习

1. 按照用途不同,摄影测量可分为哪几种类型?
2. 利用摄影测量方法生产地形图经历了哪几个阶段?
3. 摄影测量的外业工作包括哪些?
4. 摄影测量与遥感技术有哪些特点?

第二章 单张像片解析

单张像片几何解析的基本知识,包括常用坐标系,像片上重要的点、线、面,像片内、外方位元素,共线条件方程等,是摄影测量的基础理论知识,是基于影像三维重建的根基。

第一节 摄影与航空摄影回顾

一、航空摄影机

安装在飞机上对地面自动地进行连续摄影的摄影机称为航摄仪。光学航摄仪物镜筒和暗箱的衔接处有一个金属的贴附框架,框架的每一边中点各设有一个框标标记,称为机械框标;也有将框标标记设在框架的角隅上的,称为光学框标。两框标连线交点为像片几何中心,在设计上其与航摄仪物镜主光轴在像片上的垂足点应为同一点,但由于安装上的误差,两者常常有偏差。

组成物镜的各个透镜的光学中心位于同一条直线上,这条直线称为主光轴,用 LL 表示,如图 2-1-1 所示。若以平面 H_1 、 H_2 来等价物镜组,则平面 H_1 、 H_2 将空间分为两个部分,物体所处的空间称为物方空间,构像所处的空间称为像方空间,因此平面 H_1 、 H_2 也被称为物方主平面和像方主平面。平面 H_1 、 H_2 与光轴的交点 s_1 、 s_2 相应地称为物方主点和像方主点。

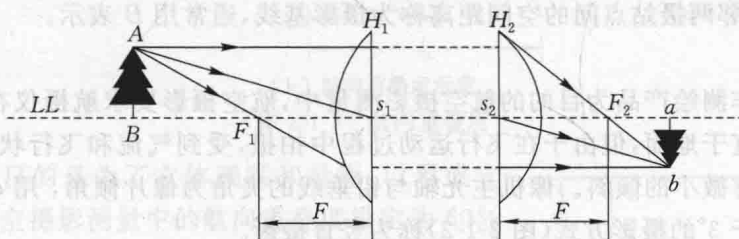


图 2-1-1 摄影机成像原理

- 平行于主光轴的投射光线通过物镜折射后与光轴交于 F_2 , 称为像方焦点;
- 若斜交于光轴 F_1 的投射光线经物镜折射后与光轴平行, 称 F_1 为物方焦点;
- 过焦点垂直于光轴的平面称为焦平面;
- 折射光线与投射光线方向一致的一对共轭光线与光轴的交点分别称为物镜前(物方)节点和物镜后(像方)节点;
- 若物方空间与像方空间同介质, 一对节点恰好与一对主点重合, 即 s_1 、 s_2 既是一对主点, 又是一对节点;
- 节点到焦点的距离称为焦距, 用 F 表示, $F = s_1 F_1 = s_2 F_2$;
- 两节点间的距离很小, 通常把两个节点看作一个点, 称为物镜中心 s ;
- 航摄仪物镜中心至底片面的距离, 称为摄影机的主距, 也叫像片主距, 用 f 表示;
- 光线通过物镜后, 焦平面上照度不均匀的光亮圆称为镜头的视场;

- 摄影时,视场内影像清晰的一部分光亮圆称为像场;
- 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;
- 由物镜后节点向像场边缘射出的光线所张开的角称为像场角;
- 像场内,圆内接正方形或矩形称为最大像幅。

摄影机按焦距和像场角分类如表 2-1-1 和表 2-1-2 所示。

表 2-1-1 摄影机按焦距分类

摄影机分类	焦距/mm
短焦距摄影机	<100
中焦距摄影机	100~200
长焦距摄影机	>200

表 2-1-2 摄影机按像场角分类

摄影机分类	像场角
短焦距摄影机	>100°(特宽角)
中焦距摄影机	75°~100°(宽角)
长焦距摄影机	<75°(常角)

二、航空摄影

航空摄影是指利用安装在航摄飞机上的航摄仪从空中一定角度对地面进行摄影。飞机进入摄影区域后,按照设计的航高、航向飞行并基本保持各航线间的相互平行,按一片接一片、一条航线接一条航线顺序进行摄影。在摄影的曝光时刻,摄影机物镜所在的空间位置称为摄站点 S,航线方向相邻两摄站点间的空间距离称为摄影基线,通常用 B 表示。

1. 像片倾角

在传统以制作测绘产品为目的的航空摄影测量中,航空摄影要求航摄仪在曝光的瞬间物镜主光轴保持垂直于地面,但由于在飞行运动过程中拍摄,受到气流和飞行状态的限制,主光轴在曝光时总会有微小的倾斜。像机主光轴与铅垂线的夹角为像片倾角,用 α 表示。偏离铅垂线的夹角 α 小于 3° 的摄影方式(图 2-1-2)称为竖直摄影。

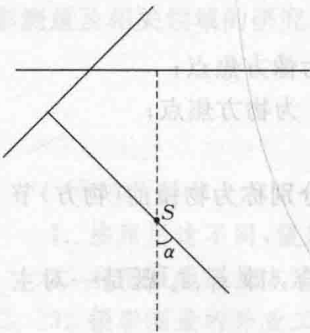


图 2-1-2 像片倾角

2. 像片重叠度

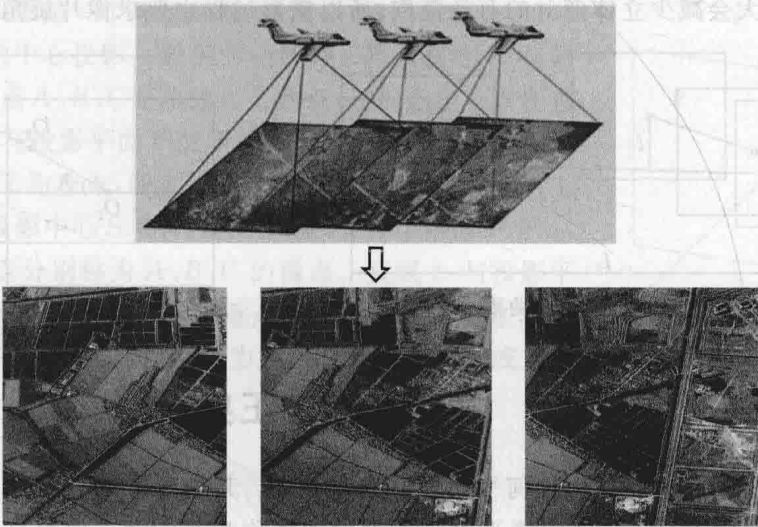
同一条航线内相邻像片之间按地物景象计算的影像重叠称为航向重叠,重叠部分与整个像幅长度之比称为航向重叠度,一般要求在 60% 左右。图 2-1-3 所示为一条航带上连续的三张航空影像,相邻的两张影像都具有大致相同的航向重叠度。两相邻航带像片之间的影像重叠称为旁向重叠度,如图 2-1-4 所示,要求在 30% 左右。航向重叠度 P_x 和旁向重叠度 P_y 的计算公式如下,符号含义见图 2-1-3 和图 2-1-4。

航向重叠度计算公式为

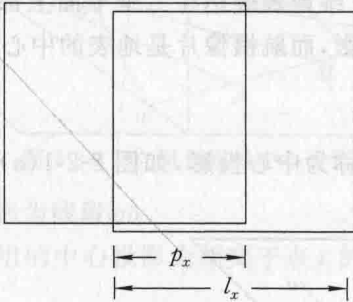
$$P_x = \frac{p_x}{l_x} \times 100\% \tag{2-1-1}$$

旁向重叠度计算公式为

$$P_y = \frac{p_y}{l_y} \times 100\% \tag{2-1-2}$$



(a) 连续三张航空摄影像片



(b) 航向重叠示意

图 2-1-3 航向重叠度

航向重叠的目的是为了立体观察和量测，以形成立体模型。传统航空摄影测量中的航向重叠度设定为 60% 左右的目的是使得第 1 张航摄像片与第 3 张航摄像片(即隔片)有 20% 左右的重叠度,这样就可以将第 1、2 张像片构成的第 1 个立体模型,与第 2、3 张像片构成的第 2 个立体模型,利用这公共的 20% 左右的重叠区连接起来,构成统一模型。

旁向重叠主要是为了完整地将测区覆盖下来。此外,还利用各航带之间的公共重叠部分,将各航带模型连接构成多航带统一测区模型。

3. 航线弯曲

把一条航线的航摄像片根据地物影像拼接起来,各张像片的主点连线不在一条直线上,而呈现为弯弯曲曲的折线,称航线弯曲。航线弯曲度是指航线最大弯曲矢量 l 与航线长度 L 之比的百分数,如图 2-1-5 所示,要求航线弯曲度不超过 3%。

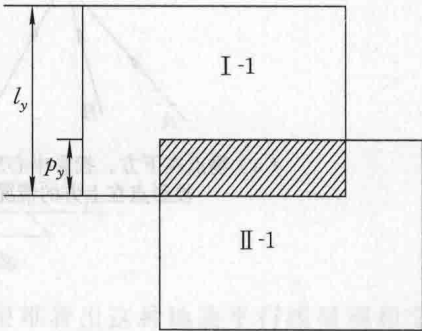


图 2-1-4 旁向重叠度