

数字摄影测量及 无人机数据处理技术

丁华 李如仁 徐启程 著



中国建材工业出版社

数字摄影测量及无人机数据处理技术

丁华 李如仁 徐启程 著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字摄影测量及无人机数据处理技术/丁华, 李如仁, 徐启程著. --北京: 中国建材工业出版社, 2018.12

ISBN 978-7-5160-2477-5

I. ①数… II. ①丁…②李…③徐… III. ①无人驾驶飞机—航空摄影测量—数字摄影测量 IV. ①P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 281494 号

内 容 简 介

本书紧密结合数字摄影测量及无人机数据处理的工程实践, 全面、系统地论述了数字摄影测量及无人机数据处理技术的原理、关键技术、精度分析等方面内容。本书共分 7 章, 第 1 章~第 3 章分别介绍了摄影测量中的重要概念和公式、空中三角测量基础、无人机技术概述等内容; 第 4 章重点介绍了数字摄影测量数据处理的总体流程、关键技术、主要精度指标等重要内容; 第 5 章对无人机数据处理技术进行了论述, 包括影像 POS 数据读取、空三加密、数据处理质量报告等关键内容; 第 6 章对数字摄影测量平台和无人机数据处理软件进行了全面的对比分析; 第 7 章对数字摄影测量及无人机技术进行了总结和展望。

本书是数字摄影测量及无人机数据处理技术实践成果与经验的总结, 对从事数字摄影测量及无人机技术研究和设计的科技人员有重要的参考价值, 亦可作为数字摄影测量及相关专业的教学参考书。

数字摄影测量及无人机数据处理技术

丁 华 李如仁 徐启程 著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 7.25

字 数: 170 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版

印 次: 2018 年 12 月第 1 次

定 价: 45.00 元

本社网址: www.jcbs.com, 微信公众号: [zgjcgyCBS](https://www.jcbs.com)

请选用正版图书, 采购、销售盗版图书属违法行为

版权专有, 盗版必究。本社法律顾问: 北京天驰君泰律师事务所, 张杰律师

举报信箱: zhangjie@tiantailaw.com 举报电话: (010) 68343948

本书如有印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换, 联系电话: (010) 88386906

前 言

摄影测量学的发展经历了模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三个阶段，目前已经进入数字摄影测量时期。而近十年来开始崛起的无人机技术解决了数字摄影测量技术发展的瓶颈问题——数据不易获取，并且以方便、快捷和灵敏的特点，成为低空数字摄影测量发展的一个重要方向。数字摄影测量及无人机技术作为一门新兴的技术，在建筑、测绘、环境监测等方面将发挥越来越重要的作用。数字摄影测量及无人机数据处理技术能快速生成大比例尺地形图、构建3D模型，与建筑信息模型(BIM)相结合还可以生成室内外一体化、微观与宏观相结合的3D景观图。因此，对数字摄影测量和无人机数据处理技术进行从理论到实践的详细分析和研究是十分必要的。

本书全面、系统地论述了数字摄影测量及无人机数据处理技术的原理、关键技术及精度分析等方面内容。全书共7章：第1章对摄影测量及无人机技术的发展进行了概述，并介绍了本书主要的研究内容；第2章和第3章为摄影测量、数字摄影测量及无人机基础介绍；第4章除了介绍数字摄影测量中影像定向技术及DEM、DOM和DLG制作的关键技术，还对基于MapMatrix平台的无人机小数码影像完整解决方案进行了详细的介绍和分析；第5章利用Pix4Dmapper平台对无人机数据生产一体化流程进行介绍，分析数据处理的关键技术并对结果进行了精度分析；第6章对无人机数据处理软件与数字摄影测量平台的数据处理技术进行对比，分析其优缺点，为选择合理的无人机数据处理方案提供技术支持；第7章则对数字摄影测量及无人机技术进行了总结和展望。全书图、表、文、实例兼顾并举，对从事数字摄影测量及无人机数据处理技术研究和设计的科技人员有重要的参考价值，亦可作为数字摄影测量及相关专业的教学参考书。

本书在编写过程中还邀请了李如仁、徐启程、刘玉梅、王欣、杨大勇及张丹华等老师参与，在此表示感谢！此外，本书在编写过程中参考了国内外许多同行的著作，在此向各位作者表示感谢！由于作者水平有限，书中难免有欠缺之处，也请读者朋友多提宝贵意见。

丁 华
2018年10月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 摄影测量发展概述	2
1.3 无人机技术发展概述	4
1.4 本书研究内容	6
1.5 小结	7
第 2 章 数字摄影测量理论体系	8
2.1 摄影测量学	9
2.1.1 摄影测量的重要概念及公式	9
2.1.2 空中三角测量概述	17
2.2 数字摄影测量	23
2.2.1 数字摄影测量概述	23
2.2.2 数字摄影测量工作站	25
第 3 章 无人机技术	31
3.1 无人机技术概述	31
3.2 无人机数据介绍	39
3.3 无人机数据处理软件	44
第 4 章 数字摄影测量数据处理关键技术	50
4.1 研究区数据	50
4.2 影像定向	52
4.3 DEM 和数字正射影像的制作	57
4.3.1 从立体像对中获取 DEM	57
4.3.2 从立体像对中获取正射影像	62
4.4 数字立体测图	63
4.5 基于 DatMatrix 和 MapMatrix 系统的无人机数据处理	69
4.5.1 外业数据获取	69
4.5.2 空中三角测量主要流程	72
4.5.3 数据产品制作流程	79
第 5 章 基于 Pix4Dmapper 的无人机数据处理关键技术	81
5.1 测区数据	81
5.2 数据主要处理流程	83
5.3 质量报告及成果输出	95
5.3.1 质量分析报告	95
5.3.2 成果输出	97

第 6 章 无人机数据处理软件与数字摄影测量软件数据处理技术对比分析	100
6.1 数据类型	100
6.2 数据处理流程	100
6.3 精度分析及成果	103
第 7 章 总结与展望	105
7.1 总结	105
7.2 展望	106
参考文献	108

第1章 绪论

1.1 引言

摄影测量发展到今天,已经进入了它的第三个阶段——数字摄影测量阶段,数字摄影测量的许多概念,以及它对整个地理信息产业的影响,都远远超过模拟摄影测量到解析摄影测量的变革。数字摄影测量是指基于摄影测量的基本原理,应用计算机技术提取所摄对象,并用数字方式表达其几何与物理信息的测量方法。数字摄影测量利用一台计算机,加上专业的摄影测量软件,就代替了过去传统的、所有的摄影测量的仪器,其中包括纠正仪、正射投影仪、立体坐标仪、转点仪、各种类型的模拟测量仪以及解析测量仪。数字摄影测量的发展使计算机不仅可以代替人工进行大量的计算,而且已经完全可能代替人眼来识别同名点,从而为摄影测量开辟了真正的自动化道路。数字摄影测量因其对现代测绘产生的深远的影响,成为国际公认的地球空间数据获取的重要手段,为地理信息系统(GIS)数据的获取注入了新的活力,也是三维建模重要的数据源。

传统的航空摄影测量对外界条件的依赖性较大,相关工作的开展也很繁琐,难以满足人们对影像数据的实时性和时效性要求,因此基于无人机的摄影测量技术得以广泛应用。无人机摄影测量系统是指采用无人飞行器作为遥感平台进行低空监测和摄影测量的系统,早期由于受控制、导航和通信等关键技术的制约,以及成本造价、领空安全等问题的影响,无人机的发展一直较为缓慢。近年来,随着计算机技术的发展以及各种新型传感器不断面世,无人机本身性能不断提高,无人机技术得到迅速的发展。无人机航空摄影测量技术作为一种新型的摄影测量技术,融合了航空摄影技术、移动测量技术、数字通信技术等一系列新兴技术,具有时效高、分辨率好以及较低的成本和风险、可重复性等传统数字摄影测量所无法比拟的优势。目前无人机航空摄影测量技术已成为现今获取地理数据常用的技术手段,并广泛应用于国防、城市规划、灾害监测、道路安全控制等方面。

数字摄影测量数据处理一直是数字摄影测量学习的难点和重点,而新兴的无人机数据处理技术刚刚起步,虽然两者有很多相似之处,但是由于传统的航摄像片和数码无人机影像还是有很大的区别,因此它们在数据处理上还存在一些差异。为了推广数字摄影测量和无人机技术,提高航摄数据使用的广泛性,本书系统地介绍了数字摄影测量基本原理及方法、无人机技术基础,并结合部分工程实例对数字摄影测量数据和无人机数据处理的关键技术进行了详细的阐述,并对比分析了两者的不同之处。

1.2 摄影测量发展概述

摄影测量的发展经历了以仪器为主的模拟摄影测量，理论与仪器并重的解析摄影测量及基于计算机技术的数字摄影测量三个阶段。每个发展阶段都受时代和当时技术水平的影响，具有各自的特点。下面对摄影测量的三个发展阶段进行介绍。

1. 模拟摄影测量

从 1839 年科学家发明摄影术算起，摄影测量已经有一百五十多年的历史，但将摄影学真正用于测量的是法国陆军上校劳赛达特，他在 1851—1859 年提出和进行了交会摄影测量。空中拍摄地面的照片，最早是 1858 年纳达在气球上获得的，而 1903 年莱特兄弟发明飞机后，才使航空摄影测量成为可能。第一次世界大战中，第一台航空摄影机问世后，航空摄影测量成为 20 世纪以后大面积测制地形图最有效的快速方法。我国航空摄影测量始于 1930 年，但进入兴旺发达时期则是 1949 年新中国诞生以后的事。

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测量过程，恢复摄影时像片的空间位置、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。模拟摄影测量所得结果，通过机械或齿轮传动方式直接在绘图桌上绘出各种地形图与专题图，模拟摄影测量的成果大多是纸质的线划地图。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。在这一时期，摄影测量工作者们都发自内心地拥护 30 年代德国摄影测量大师 Gruber 的一句名言，那就是：“摄影测量就是能够避免繁琐计算的一种技术。”这句话的含义就是利用光学-机械模拟装置，实现复杂的摄影测量解算。这一时期摄影测量的发展主要围绕昂贵的摄影测量仪器（图 1-1），但模拟测图仪体积庞大，设备十分昂贵，除此之外模拟摄影测量还有成图慢、效率低、操作繁琐、对操作人员要求高等缺点，导致摄影测量难以普及，很大程度上限制了摄影测量学的发展。模拟摄影测量直到 20 世纪 70 年代，一直占据摄影测量的主要市场。

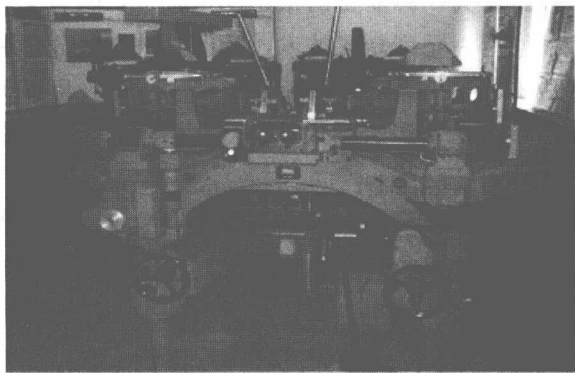


图 1-1 模拟立体测图仪

2. 解析摄影测量

在模拟摄影测量仪器大量研制的时期，丘尔奇在 20 世纪 30 年代就开始研究解析法空间前方交会、后方交会和双点交会，但由于当时是用手摇计算机迭代计算，速度与效益均达不到实际的应用。随着计算机技术的飞速发展，解析摄影测量进入全盛时期，20 世纪 50 年代发展了解析空中三角测量，我国 20 世纪 60 年代初期也开始了此项工作的起步。1957 年，海拉瓦博士提出利用电子计算机进行解析测图的思想，随着计算机的发展，经历了 20 年的研究和试用，到 20 世纪 70 年代中期解析测图仪才进入实用阶段。1976 年德国欧波同厂首次推出 Planicom C100 解析测图仪，1980 年瑞士威尔特和克恩厂也相继推出各自生产的解析测图仪。解析测图仪逐渐取代模拟测图仪，成为 20 世纪 80 年代摄影测量发展的主流。

解析测图仪相比模拟测图仪体积和重量都减小了，同时配有一台计算机（图 1-2）。解析测图仪与模拟测图仪的主要区别在于：前者使用的是数字投影方式，后者使用的是模拟的物理投影方式，由此导致仪器设计和结构上的不同；前者是由计算机控制的坐标量测系统，后者是使用纯光学、机械型的模拟测图装置；此外，两者的操作方式也不同，前者是计算机辅助的人工操作，后者是完全的手工操作。解析摄影测量未能完全摆脱模拟摄影测量技术，计算机必须与一台小型模拟摄影测量仪相连接，共同完成一项摄影测量任务，但解析摄影测量的效率大大提高了，同时也能生产简单的数字产品。



图 1-2 解析测图仪

3. 数字摄影测量

摄影测量发展的第三个阶段就是数字摄影测量。数字摄影测量是指从摄影测量与遥感所获取的数据中，采用数字摄影影像或数字化影像，在计算机中进行各种数值、图形和影像处理，以研究目标的几何和物理特性，从而获得各种形式的数字化产品和目视化产品。数字化产品包括数字地图、数字高程模型（DEM）、数字正射影像（DOM）、测量数据库等。目视化产品包括地形图、专题图、剖面图、透视图、正射影像图、电子地图、动画地图等。

数字摄影测量的发展源于摄影测量自动化的实践，即利用相关技术，实现真正的自动化测图。摄影测量自动化是摄影测量工作者多年来所追求的理想，最早涉及摄影测量自动化的研究可追溯到 1930 年，但并未付诸实施。直到 1950 年，由美国工程兵研究发展实验室与 Bausch and Lomb 光学仪器公司合作研制了第一台自动化摄影测量测图仪。这一时期，摄影测量工作者也试图将由影像灰度转换成的电信号再转变成数字信号（即数字影像），然后由电子计算机来实现摄影测量的自动化过程，美国于 20 世纪 60 年代初研制成功的 DAMC 系统就是属于这种全数字的自动化测图系统。武汉测绘科技大学王之卓教授于 1978 年提出了发展全数字自动化测图系统的设想方案，并

于1985年完成了全数字自动化测图软件系统 WuDAMS。国内典型的数字摄影测量系统是航天远景公司开发的 MapMatrix 平台(图 1-3), 航天远景公司是 2004 年成立的一家从事摄影测量专业软件研发、提供空间信息数字化解决方案、提供数字城市综合解决方案以及 4D 产品制作的公司, 也是国内研发数字摄影测量平台的最主要公司之一。

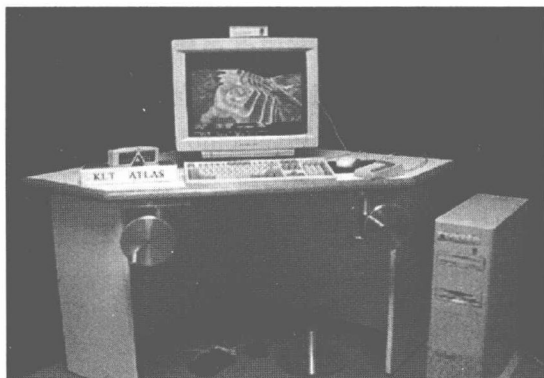


图 1-3 数字摄影测量工作站

随着计算机技术及其软件的发展以及数字图像处理、模式识别、人工智能、专家系统以及计算机视觉等学科的不断发 展, 数字摄影测量的内涵已远远超过了摄影测量的范围。数字摄影测量与模拟摄影测量、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像片, 更主要的是数字影像(如 Spot 影像)或数字化影像; 它最终是以计算机视觉取代人眼的立体观测, 因而它使用的仪器最终只能是计算机及其相应外部设备; 数字摄影测量的产品更加丰富, 它可以生产 4D 产品, 即 DEM(数字高程模型)、DOM(数字正射影像)、DLG(数字线划产品)和 DRG(数字栅格产品)。数字摄影测量由于不需要笨重的模拟测图仪, 其设备的体积和价格也大幅下降, 但成图的精度和速度却大大提高了。数字摄影测量更多地依赖软件系统(数字摄影测量系统), 而不是计算机硬件, 目前数字摄影测量已经完全取代模拟摄影测量和解析摄影测量, 成为摄影测量发展的主流。

1.3 无人机技术发展概述

无人机技术的发展经历了萌芽期、发展期和蓬勃期三个阶段, 目前无人机技术已经成为摄影测量发展的一个重要方向, 也是空间数据快速采集的主要方法之一。

1. 萌芽期

1917 年, 皮特·库柏(Peter Cooper)和埃尔默·A·斯佩里(Elmer A. Sperry)发明了第一台自动陀螺稳定器, 这种装置使得飞机能够保持平衡地向前飞行, 无人飞行器自此诞生。这项技术成果将美国海军寇蒂斯 N-9 型教练机成功改造为首架无线电控制的不载人飞行器(Unmanned Aerial Vehicle, 简称 UAV)。1935 年之前的空中飞

行器飞不回起飞点，因此也就无法重复使用。“蜂王”号无人机（图 1-4）的发明，保证无人机能够回到起飞点，使得这项技术更具有实际价值。“蜂王”号无人机的最高飞行高度为 17000 英尺（约合 5182m），最高航速为每小时 100 英里（约合 160km），在英国皇家空军服役到 1947 年。“蜂王”号无人机的问世才是无人机真正开始的时期，它可以说是近现代无人机历史上的“开山鼻祖”。随后无人机被运用于各大战场，执行侦察任务，然而由于当时的科技比较落后，无法出色完成任务，所以无人机逐步受到冷落，甚至被军方弃用。

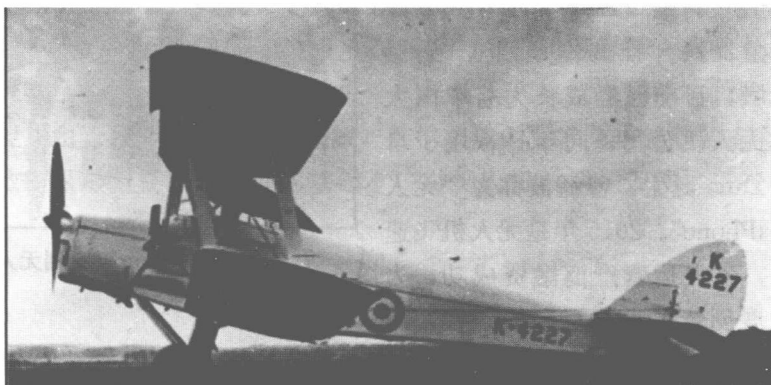


图 1-4 “蜂王”号无人机

2. 发展期

1986 年 12 月首飞的“先锋”系列无人机（图 1-5），为战术指挥官提供了特定目标以及战场的实时画面，执行了美国海军“侦察、监视并获取目标”等各种任务。这套无人定位系统的花销很小，满足了 20 世纪 80 年代美国在黎巴嫩、格林纳达以及利比亚以低代价开展无人获取目标的要求，并首次投入实战。“先锋”系列无人机现在仍在服役，通过火箭助力起飞，起飞重量为 416 磅（约合 189kg），航速为每小时 109 英里（约合 174km），飞机能够漂浮在水面，并且通过海面降落进行回收。这个时期美国也研发了“幻影”系列无人机（图 1-6），RQ-7B 幻影是无人机家族中最小的一个，被美国陆军和海军陆战队用于伊拉克和阿富汗战场，这个系统能够定位并识别战术指挥中心 125km 之外的目标，让指挥官的观察、指挥及行动都更加敏捷。

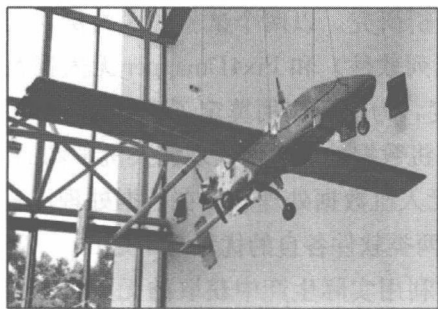


图 1-5 “先锋”系列无人机



图 1-6 “幻影”系列无人机

3. 蓬勃期

21 世纪初, 由于原来的无人机个头较大, 目标明显且不易于携带, 所以研制出了“迷你”无人机, 机型更加小巧、性能更加稳定, 用一个背包就可装下。同时无人机更加优秀的技能, 催发了民用无人机的诞生。2006 年影响世界民用无人机格局的大疆无人机公司成立, 先后推出的 phantom 系列无人机 (图 1-7), 在世界范围内产生了深远影响。2009 年, 美国加州 3DRobotics 无人机公司成立, 这是一家最初主要制造和销售 DIY 类遥控飞行器 (UAV) 的相关零部件的公司, 在 2014 年推出 X8+ 四轴飞行器后而名声大噪, 目前已经成长为与中国大疆相媲美的无人机公司, 同年一款用于自拍的无人机 Zano 诞生, 曾经被称为“无人机市场上的 iPhone”。2015 年是无人机飞速发展的一年, 各大运营产商融资成功, 为无人机的发展创造了十分有利的条件, 还上线了第一个无人机在线社区——“飞兽社区”, 同年美国 Qualcomm 公司相继推出自己的无人机开发平台, 作为该公司布局 IOT (物联网) 生态圈的重要一环。



图 1-7 phantom 系列无人机

1.4 本书研究内容

本书旨在探讨研究数字摄影测量及无人机数据处理的关键技术, 分析无人机影像数据处理的自动化、可靠性、精确性及效率等问题。针对航摄数据处理的特点, 本书主要从以下几方面进行了研究:

1. 针对目前实际工程对数字摄影测量系统的要求, 深入研究了数字摄影测量的基本理论和关键技术, 介绍了数字摄影测量中的影像定向、DEM 生成和 DOM 制作等数据处理流程及理论依据, 并对数据精度进行分析。

2. 本书围绕数字摄影测量及无人机技术的特点等, 对无人机数据空三加密, 制作 DLG、DOM 数字产品的关键技术进行了分析研究。以两个试验区为例, 实证研究和分析了数字摄影测量软件 (MapMatrix 系列软件) 和 Pix4Dmapper 无人机数据处理平台进行无人机数据处理的关键技术和精度, 为实际应用奠定了理论和实践基础。

3. 对比分析数字摄影测量软件和专业无人机数据处理软件处理无人机影像的差异。对 MapMatrix 数字摄影软件和 Pix4Dmapper 无人机数据处理软件在数据处理流程、处理精度以及成果等方面进行对比与分析, 了解两类软件各自的优势与不足。

本书针对上述研究内容逐一进行分析, 并利用实际生产中获取的无人机影像数据进行实验, 以期提高无人机数据处理的可靠性及精度。

1.5 小 结

数字摄影测量技术是目前摄影测量发展的主要方向,经历了近百年的发展,其理论、方法和处理手段都很完善。模拟摄影测量和解析摄影测量阶段,摄影测量数据处理受到昂贵仪器和专业化操作的约束,限制了其大规模的发展。而数字摄影测量仅仅用一台电脑加相应的辅助软件、硬件就能完成所有的摄影测量数据处理工作,使摄影测量技术得到极大的发展和推广。近年来,基于数字摄影测量的无人机技术崛起,它具有很多常规数字摄影测量所不具备的优势。虽然无人机技术的基本理论与数字摄影测量相同,但是由于其涉及了更多的领域,数据获取的要求与传统航摄有很大的区别,因此在介绍数字摄影测量数据处理的基础上,对无人机数据处理技术进行介绍是很有必要的。

第 2 章 数字摄影测量理论体系

摄影测量学经过一百多年的发展,已经从模拟摄影测量阶段发展到数字摄影测量阶段。计算机、航空及航天技术的快速发展,使摄影测量的功能更加强大,应用领域也更加广泛。尤其是近十多年来,无人机技术的崛起,使数字摄影测量在测绘、考古、建筑、灾害监测等行业发挥越来越大的作用。虽然摄影测量新技术在不断地发展,但仍然有规律可循,其摄影测量的基本原理没有发生改变,改变的只是将计算机模式识别技术、高分辨率遥感影像解译技术和数字影像处理等技术引入传统摄影测量体系中,生成更为强大的集成摄影测量系统。为了更好地学习和掌握这些新技术,我们必须先学习摄影测量学的基础知识。

摄影测量学(Photogrammetry)是对非接触传感器系统获取的影像与数字表达的记录进行量测和解译,从而获得自然物体和环境可靠信息的一门工艺、科学和技术。换言之,摄影测量学是对研究的对象进行摄影,根据所获得的构像信息,从几何和物理方面加以分析、研究,最终对所摄对象的本质提供各种资料的一门学科。从现代计算机视觉角度,摄影测量学则是运用三维场景的二维影像重建可靠而精确的原始场景三维模型的集几何学、数学与物理学于一体的综合学科。

摄影测量学的最主要特点是对影像进行量测与解译等处理,无需接触物体本身,因而较少受到周围环境与条件的限制。影像是客观物体或目标的真实反映,信息丰富、逼真,人们可从中获得所研究物体的大量的几何信息和物理信息,因此摄影测量可广泛应用于各个方面。例如,利用摄影测量技术研究火山口的熔岩情况,从而监控火山的活动(图 2-1);观察海啸中心的水体变化,减少灾害损失;拍摄滑坡山体的影像,然后解译获得的影像,进行灾害监测(图 2-2),这些是传统技术很难实现的。

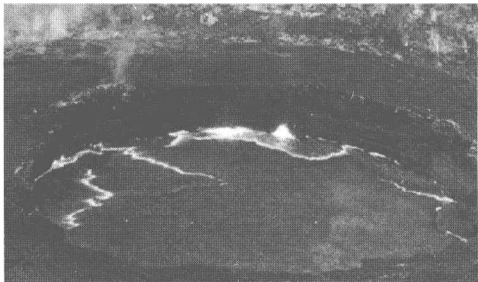


图 2-1 航拍火山口



图 2-2 航拍山体滑坡

摄影测量学可以从不同角度进行分类(图 2-3)。按摄影距离(平台距离)分,有航天摄影测量、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,其中航

天摄影测量多指位于160km高空以上的高清晰卫星影像测量；按处理技术分，有模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量，其中数字摄影测量是目前摄影测量发展的主要方向，具有很大的发展前景，模拟摄影测量的成果为各种图件（地形图、专题图等），解析摄影测量和数字摄影测量除可提供各种图件外，还可以直接为各种数据库和地理信息系统提供数字化产品；按用途分，有地形摄影测量与非地形摄影测量两类，其中地形摄影测量的主要目的是测制各种比例尺地形图，这也是摄影测量的主要目的之一，而非地形摄影测量用于解决工业、建筑、考古、地质工程、生物医学等方面的科学技术问题。

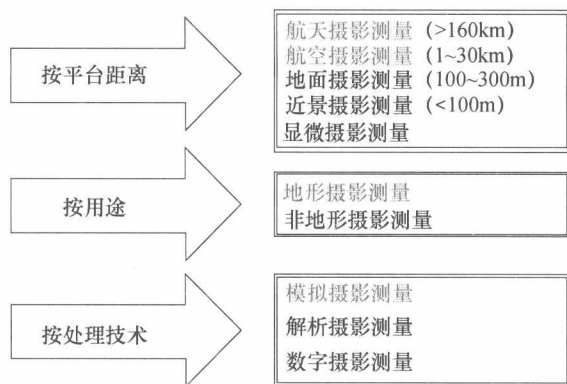


图 2-3 摄影测量学的分类

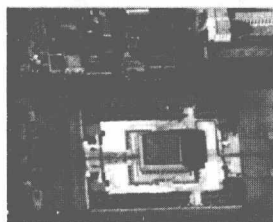
2.1 摄影测量学

2.1.1 摄影测量的重要概念及公式

摄影测量学的主要概念包括：中心投影，内、外方位元素，像片重叠度等。本书涉及的公式主要是共线条件方程式，共线条件方程式在摄影测量中占有重要地位，是摄影测量学的基础公式之一。

1. 中心投影

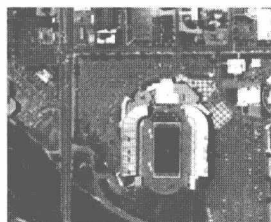
传统的光学像片、数字航摄影像及无人机拍摄的数码影像都是以中心投影的方式投影到成像平面的（图 2-4）。



(a) 光学航摄像片



(b) 数字航摄像片



(c) ebee 无人机影像

图 2-4 航摄像片

(1) 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，其投影线称为投影射线，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。投影有中心投影与平行投影两种。当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。平行投影中又有倾斜投影与正射投影之分，投影射线与投影平面成斜交的投影称为倾斜投影；投影射线与投影平面成正交的投影称为正射投影（图 2-5）。当投影射线会聚于一点时，称为中心投影。中心投影中投影射线的会聚点 S 称为投影中心（图 2-6）。

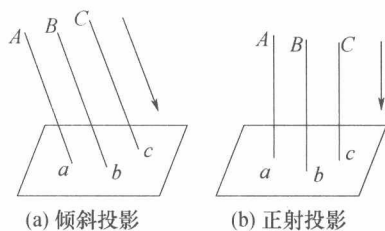


图 2-5 平行投影

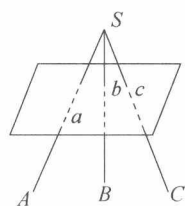


图 2-6 中心投影

(2) 航摄像片是摄区地面的中心投影

我们认为拍摄的航摄像片就是中心投影，航摄中获取的正射影像就是中心投影像片经过纠正之后获得的（图 2-7）。在航空摄影中像片平面是投影平面，所有的投影射线都汇聚到投影中心 S 上，投影中心 S 是航摄摄影机物镜的中心位置，此时像片平面上的影像就是摄区地面点的中心投影（图 2-8）。如何将中心投影的航摄像片转化为正射投影的地形图，就成为了航空摄影测量学的主要任务之一。图 2-8 中 P 为摄像机像片平面， E 为摄区地面， E 上面的点 A 、 B 、 C 经过中心投影后，在像片平面上对应的像点分别为 a 、 b 、 c 。航空摄影机物镜中心 S 至像片平面的距离被为摄影机主距 f 。当取摄区内的平均高程面作为摄影基准面时，摄影机的物镜中心至该面的距离称为航高，一般用 H 表示。该测区的航摄比例尺 m 为：

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (2-1)$$

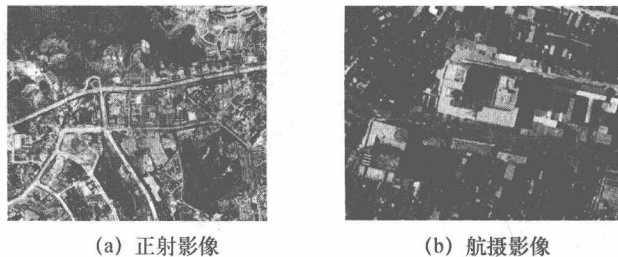


图 2-7 航摄像片与正射影像对比

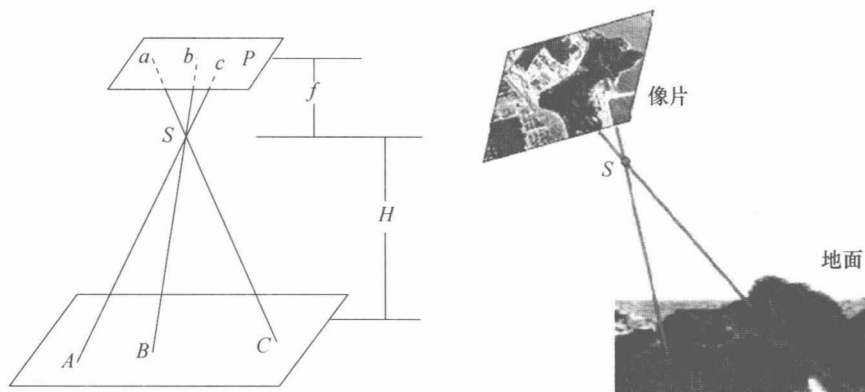


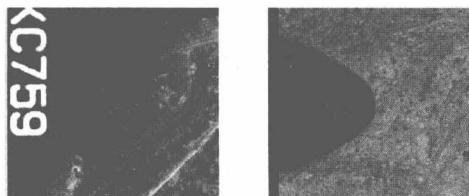
图 2-8 航摄影像的中心投影

公式(2-1)给出了摄区航摄比例尺的计算公式,摄影比例尺越大,像片地面分辨率越高,有利于影像的解译与提高成图精度,但摄影比例尺过大,将增加工作量及费用,所以摄影比例尺要根据测绘地形图的精度要求与获取地面信息的需要来确定。当选定了摄影机和摄影比例尺后,即 f 和 m 为已知,航空摄影时就要求按计算的航高 H 飞行摄影,以获得符合生产要求的摄影像片。如何将中心投影的航摄像片转化为垂直投影的地形图,就成为了航空摄影测量学的主要任务之一。

2. 航空摄影中常用的坐标系

(1) 框标坐标系 ($p-xy$) 及像平面坐标系 ($o-xy$)

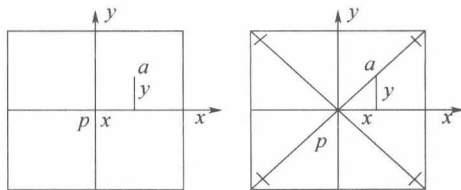
航摄像片与普通照相机拍摄的像片最主要的区别之一就是框标标志,一般的航摄像片都有角框标(四个角点)和四个边框标(图2-9),框标标志除了可以用来进行像片的内定向外,还可以直接建立框标坐标系。框标坐标系有两种:根据角框标建立的框标坐标系是分别将角框标对角相连,连线交点 P 为坐标原点,连线的角平分线构成 x 轴和 y 轴,如图2-10(b)所示;根据边框标建立的框标坐标系是将边框标对边相连,连线的交点 P 为坐标原点,与航线方向一致的连线作为 x 轴,另一条连线作为 y 轴,如图2-10(a)所示。



(a) 角框标

(b) 边框标

图 2-9 像片框标标志



(a) 边框标

(b) 角框标

图 2-10 框标坐标系

像平面坐标系 ($o-xy$) 以摄影机物镜中心 S 在像片平面上的投影——像主点 o 为原点,其 x 轴和 y 轴分别平行于框标坐标系的 x 轴和 y 轴。像主点 o 一般不与框标坐