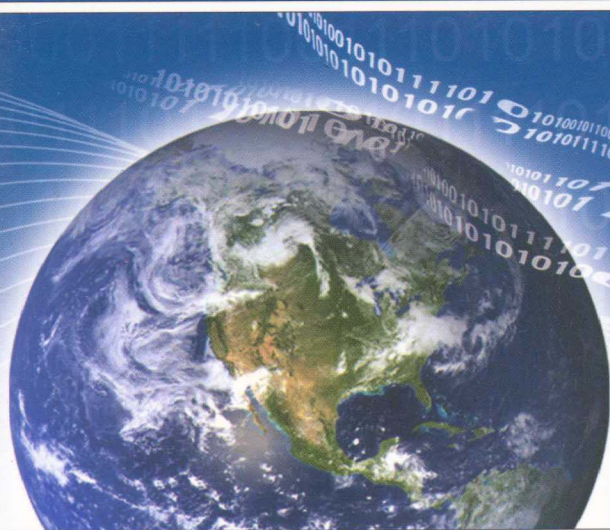


GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

摄影测量实验教程

邓非 闫利 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

摄影测量实验教程

邓非 闫利 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量实验教程/邓非, 闫利编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2012. 5

高等学校测绘工程系列教材

ISBN 978-7-307-09651-6

I. 摄… II. ①邓… ②闫… III. 摄影测量—实验—高等学校—教材
IV. P23-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 047502 号

责任编辑: 王金龙 责任校对: 黄添生 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: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北鄂东印务有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 15.5 字数: 379 千字

版次: 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-09651-6/P · 198 定价: 26.00 元

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

前言

摄影测量学发展至今,经历了主要的三个发展阶段:模拟摄影测量、解析摄影测量、数字摄影测量。数字式计算机的诞生与发展,使得摄影测量由模拟摄影测量进入解析摄影测量,也伴随着产生了“4D”数字产品。随着计算机技术的进一步发展和数字图像处理、模拟识别等技术在摄影测量领域的应用,用影像匹配技术代替人眼观测,采用数字方式实现摄影测量自动化,促使摄影测量开始进入数字摄影测量阶段。

全数字摄影测量时代,随着成像模型理论的发展、新型传感器的研制成功、空天对地观测技术的不断成熟,无论是在数据获取、数据处理还是数据的应用方面,摄影测量的硬件和软件、理论和技术方面都取得了巨大进展:携带有高精度 POS 系统的数字航摄影仪及全数字摄影测量系统的应运而生,大大提高了摄影测量内外业作业效率;低空无人摄影平台日趋成熟,以其机动灵活、设备和维护成本低、可获得厘米级分辨率影像数据等特点,填补了空天摄影测量对局部地区高精度数据获取能力不足的空白;卫星测绘成为具有广泛应用价值的测图技术手段,改变了传统的大规模地形测图方式,呈现出卫星影像和航空影像并存的局面。

目前,关于摄影测量原理的书籍和教材众多,但尚无指导实践的摄影测量实习教程,本书在讲述摄影测量基本原理与方法的基础上,对摄影测量的作业流程作了全面系统阐述,并针对每一具体环节安排相应实验内容,旨在通过实践让学生掌握摄影测量 4D 产品的制作流程,更好地理解摄影测量的原理与方法。此外,本书在介绍摄影测量技术流程的基础之上,针对近年来兴起的机载线阵摄影测量及卫星摄影测量技术,对其成像原理和数据处理方法进行了简要阐述和实验介绍。

本书编写的目的是指导学生通过实践理解摄影测量技术的基本原理和方法,掌握框幅式光学航空影像的 4D 产品制作,并了解新型航天航空线阵传感器的数据处理方法。

全书分为 13 章,第 1 章简述了摄影测量学的发展现状;第 2 章介绍了数字摄影测量系统的构成及主流产品;第 3 章到第 11 章分别对摄影测量作业流程的各个具体环节作了单独阐述并加以实验讲解,包括航空摄影、像片调绘、空三加密、模型定向和核线重采样、影像匹配、立体测图、DEM 生成、DOM 制作;第 12 章介绍了机载线阵影像的数据处理流程;第 13 章介绍了卫星测图原理及利用卫星影像生成 4D 产品的具体流程;

本书主要章节由邓非和闫利完成。武汉大学测绘学院教师朱惠萍、徐芳、詹总谦以及研究生徐国杰、杨茜、胡琪等参加了部分编写工作。感谢武汉航天远景公司的聂丹和杜子云先生为本书提供的大力帮助。

本书可作为测绘工程专业本科生实习教材,也可供从事测绘行业的工程技术人员学习和参考。

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，敬请读者指出。

编者

2012 年 3 月于武汉大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 摄影测量发展现状	1
1.1.1 摄影测量发展历程	1
1.1.2 数字摄影测量的新发展	2
1.1.3 数字摄影测量的产品	5
1.2 摄影测量作业流程	6
1.3 实验安排	6
第2章 数字摄影测量系统	8
2.1 数字摄影测量系统构成	8
2.1.1 硬件组成	8
2.1.2 软件组成及主要功能	8
2.2 数字摄影测量工作站	9
2.2.1 VirtuoZo 数字摄影测量工作站	9
2.2.2 JX4	12
2.2.3 MapMatrix	14
2.2.4 Inpho 摄影测量系统	16
2.2.5 Imagestation SSK 数字摄影测量工作站	18
2.2.6 LPS 数字摄影测量系统	19
2.3 新一代数字摄影测量系统	20
2.3.1 像素工厂 (Pixel Factory)	20
2.3.2 数字摄影测量网格 (DPGrid)	21
第3章 航空摄影	23
3.1 实习内容和要求	23
3.2 航摄仪及其他辅助仪器	23
3.2.1 航摄仪	23
3.2.2 航摄仪辅助设备	27
3.3 航摄设计编写	28
3.3.1 航摄设计的技术要求	28
3.3.2 航摄设计书的编制	30
3.4 航摄任务实施	31
3.4.1 飞行质量要求	32

3.4.2 摄影质量要求	33
3.5 航摄质量检查	34
3.5.1 飞行质量检查	34
3.5.2 摄影质量检查	35
3.6 习题	36
第4章 像片调绘	37
4.1 实习内容和要求	37
4.2 判读标志	37
4.3 影像判读方法	38
4.3.1 调绘像片的准备	38
4.3.2 全野外调绘法	38
4.3.3 综合判读调绘法	39
4.4 像片调绘原则	40
4.5 调绘片整饰	42
4.6 像片调绘实验	42
4.6.1 实验目的	42
4.6.2 实验要求	42
4.6.3 实验仪器设备	42
4.6.4 实验步骤	43
4.6.5 实验成果	43
4.7 习题	43
第5章 立体观察	44
5.1 实习内容和要求	44
5.2 立体视觉和人造立体视觉	44
5.2.1 人眼的立体视觉	44
5.2.2 人造立体视觉	45
5.3 立体观察方法和设备	46
5.3.1 模拟法测图立体观察方法	46
5.3.2 数字时代的立体显示系统	47
5.4 立体显示实验	48
5.5 习题	49
第6章 空三加密	50
6.1 实习内容和要求	50
6.2 AATMatrix 空三加密	50
6.2.1 原理和操作流程概述	50
6.2.2 光束法区域网平差实验	52
6.3 GPS 辅助空三	69

6.3.1	GPS/IMU 数据处理	70
6.3.2	GPS/IMU 联合平差	70
6.4	LPS 空三加密	75
6.5	习题	93
第 7 章	模型定向和核线重采样	94
7.1	实习内容和要求	94
7.2	单像空间后方交会	95
7.3	模型定向	96
7.3.1	数据准备	96
7.3.2	内定向	101
7.3.3	相对定向	103
7.3.4	绝对定向	104
7.4	核线影像生成	107
7.5	习题	109
第 8 章	数字立体测图	110
8.1	实习内容和要求	110
8.2	数字立体测图流程	110
8.2.1	主作业流程	110
8.2.2	地物信息采集	111
8.2.3	等高线采集	112
8.3	数字立体测图综合实验	112
8.3.1	测图数据准备	112
8.3.2	测图主要作业流程	113
8.3.3	调用测图模块	113
8.3.4	测图设置	116
8.3.5	地物量测	128
8.3.6	量测方式的选择	130
8.3.7	地物编辑	137
8.3.8	文字注记	138
8.4	习题	139
第 9 章	影像匹配	140
9.1	实习内容和要求	140
9.1.1	目的与要求	140
9.1.2	实习说明	140
9.2	影像匹配实验	140
9.2.1	匹配预处理	140
9.2.2	自动影像匹配	142

9.2.3 匹配结果的编辑	142
9.3 习题	146
第 10 章 DEM 生成和拼接	147
10.1 实习内容和要求	147
10.2 DEM 制作	147
10.2.1 DEM 创建	147
10.2.2 DEM 生成方法	148
10.2.3 DEM 的生成	149
10.2.4 DEM 的编辑	151
10.2.5 多模型 DEM 的拼接	167
10.2.6 DEM 质量检查	171
10.3 习题	172
第 11 章 数字正射影像	173
11.1 实习内容和要求	173
11.2 DOM 制作方法与流程	173
11.2.1 DOM 的制作方法	173
11.2.2 DOM 制作流程	174
11.3 DOM 制作实验	175
11.3.1 正射影像图制作	175
11.3.2 正射影像修补	175
11.3.3 影像匀光	178
11.3.4 影像镶嵌	179
11.3.5 图幅裁切生产成果	186
11.4 DOM 质量检查	191
11.4.1 DOM 产品技术指标	191
11.4.2 DOM 质量检查	192
11.5 习题	193
第 12 章 机载线阵影像数据处理	194
12.1 实习内容和要求	194
12.2 三线阵 CCD 传感器成像原理	194
12.3 ADS40 数据处理	195
12.3.1 预处理	195
12.3.2 生成 4D 产品	196
12.3.3 生成 DEM 和 DOM 产品	209
12.4 习题	210

第 13 章 卫星测图 211

13.1 实习内容和要求 211

13.2 卫星影像成像原理 211

13.2.1 线阵 CCD 成像原理 211

13.2.2 线阵 CCD 传感器严格成像模型 212

13.2.3 线阵 CCD 传感器有理函数模型 215

13.3 LPS 卫星影像数据处理 216

13.3.1 RPC 实验 216

13.3.2 严格成像模型实验 227

13.4 MapMatrix 卫星影像数据处理 228

13.4.1 数据准备 228

13.4.2 实验流程 229

13.4.3 生成 4D 产品 235

13.5 习题 236

分辨率高达 0.3 米的卫星，建成覆盖可见光、红外、多光谱、超光谱、微波、激光等观测波段的中低轨道结合的具有全天候、全天时、全球观测能力的大气、陆地、海洋先进观测体系。

当前，作为航空摄影数字信息技术发展时期的重要代表，各种规格、不同型号的数字航摄仪相继推出，其中具有代表性的数字航摄仪包括 Leica 公司的线阵航空数字传感器 ADS40/80，美国 3M 公司 Imaging 研究开发的数字航测相机 DMC，Microsoft (Veritas) 公司生产的 Microcam-D (UCD、UCX) 等数字传感器。国内方面，由刘先林院士领衔研制的有我国自主知识产权的 SWDC-4 (Si Wei Digital Camera)，也已经由四维远见公司成功推出。

在摄影测量的硬件方面向数据采样的全面数字化方向发展的同时，软件方面的数据处理也已经开始步入全数字摄影测量时代。新一代全数字摄影测量系统的出现和应用极大地提高了摄影测量的作业效率，并向智能化方向发展。具有代表性的是法国 INFOTERRA 公司研制开发的像素工厂 (Pixel Factory, PF) 和由武汉大学的张光弼院士领衔研制的数字摄影测量网络系统 (DPGrid)。

1.1.1 摄影测量发展历程

摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量，现在发展到了数字摄影测量阶段。从测绘的角度看，数字摄影测量还是利用影像来进行测绘的科学与技术，而从信息科学和计算机视觉科学的角度来看，它是利用影像来重建三维表面模型的科学与技术，也就是在“室内”重建地形的三维表面模型，然后在模型上进行测绘。因此，从本质上来说，它与原来的摄影测量没有区别。因而，在数字摄影测量系统中，整个生产流程与作业方式，与传统的摄影测量差别似乎不大，但是它给传统的摄影测量带来了巨大的变革。

在 20 世纪 30 年代，针对当时的模拟摄影测量仪器，德国著名摄影测量专家 V. Cramér 给摄影测量下了这样的定义：“摄影测量是一种技术，它可以避免计算。”这是因为，模拟摄影测量仪器解决了传统野外测量中间方交会、后方交会的计算问题。实质上，当时的模拟摄影测量仪器本身就是一台精密的、机械的、模拟计算机，该“计算机”

第1章 绪 论

1.1 摄影测量发展现状

随着测绘科学技术的不断发展,航空摄影测量由传统的光学航片进入了数码航片时代,数码航空摄影测量已成为了当今测绘的发展趋势。同时卫星平台搭载的传感器使航天摄影测量也得到了空前发展,《2005—2020 年国家中长期科技发展规划纲要》指出:发展基于卫星、飞机和平流层飞艇的高分辨率(dm 级)先进对地观测系统,发射一系列的高分辨率遥感对地观测卫星,建成覆盖可见光、红外、多光谱、超光谱、微波、激光等观测谱段的高中低轨道结合的具有全天时、全天候、全球观测能力的大气、陆地、海洋先进观测体系。

当前,作为航空摄影数字信息技术发展时期的重要代表,各种规格、不同型号的数字航摄仪相继推出,其中具有代表性的数字航摄仪包括 Leica 公司的线阵航空数字传感器 ADS40/80、美国 Z/I 公司 Imaging 研究开发的数字航测相机 DMC、Microsoft (Vexcel) 公司生产的 Ultracam-D (UCD、UCX) 等多面阵数字传感器。国内方面,由刘先林院士领衔研制的有我国自主知识产权的 SWDC-4 (Si Wei Digital Camera) 也已经由四维远见公司成功推出。

在摄影测量的硬件方面向数据采集的全面数字化方向发展的同时,软件方面的数据处理也已经开始步入全数字摄影测量时代:新一代全数字摄影测量系统的出现和应用极大地提高了摄影测量的作业效率,并向集群化方向发展,具有代表性的是法国 INFOTERRA 公司研制开发的像素工厂 (Pixel Factory, PF) 和由武汉大学的张祖勋院士领衔研制的数字摄影测量网格系统 (DPGrid)。

1.1.1 摄影测量发展历程

摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量,现在发展到了数字摄影测量阶段。从测绘的角度看,数字摄影测量还是利用影像来进行测绘的科学与技术;而从信息科学和计算机视觉科学的角度来看,它是利用影像来重建三维表面模型的科学与技术,也就是在“室内”重建地形的三维表面模型,然后在模型上进行测绘。因此,从本质上来说,它与原来的摄影测量没有区别。因而,在数字摄影测量系统中,整个生产流程与作业方式,与传统的摄影测量差别似乎不大,但是它给传统的摄影测量带来了巨大的变革。

在 20 世纪 30 年代,针对当时的模拟摄影测量仪器,德国著名的摄影测量专家 V. Gruber 给摄影测量下了这样的定义:“摄影测量是一种技术,它可以避免计算。”这是因为,模拟摄影测量仪器解决了传统野外测量中前方交会、后方交会的计算问题。实质上,当时的模拟摄影测量仪器本身就是一台精密的、机械的、模拟计算器。该“计算器”

用两根精密的空间导杆模拟前方交会，从像点坐标直接解算，给出其模型坐标。因此，当时的模拟测量仪器，多称为自动测图仪（Autograph）。所谓自动，就是可以避免人工的计算。从这个角度来说，摄影测量当时就与计算联系在一起，而不是真正的不需要计算。但是所谓自动，它并不是可以离开作业员的观测进行自动测图，而只是避免了人工的计算，不需要人工用“对数表”或机械的手摇计算机，进行前方交会和后方交会计算。由于当时的摄影测量与各种各样的模拟摄影测量仪器紧密地联系在一起，因此，当时的教学和研究的内容多数是围绕着模拟摄影测量仪器展开的。

到了解析摄影测量的时代，精密的机械导杆被共线方程——又称为“数字导杆”所代替，简化了仪器的结构，形了解析测图仪。然而利用六个标准点位进行相对定向仍然没有变化，人们只需观测六个标准点位的上下视差，计算机就能自动解算相对定向的元素。计算的过程虽然还是迭代的过程，但是，作业员的作业中避免了迭代过程，从而加快了定向速度。在解析摄影测量时代，由于数字电子计算机的发展与引入，摄影测量的严密解算成为可能。从而，空中三角测量的严密解算、各种区域网平差模型、粗差检测、可靠性的理论等，成为解析摄影测量时代的热点与重点。与模拟摄影测量时代相比，解析摄影测量的教学、科研的内容要宽得多，而且研究已经不再仅仅围绕测量的仪器展开。这时，摄影测量不仅需要利用计算机进行大量的计算，而计算机的发展与应用，引起了测量一次深刻的变革。但是，无论是模拟摄影测量或者是解析摄影测量，都离不开人的双眼分别照准左、右影像上的同名点，因此，它们都不可能实现真正意义上的“自动化”。

今天，由于数字摄影测量的发展，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。它不仅大大提高了生产效率，而且在某些领域，在传统的摄影测量观念认为是一些最基本的内容上，正在发生观念性的变革。

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。这些仪器设备曾经被认为是摄影测量界的骄傲，但是，目前除解析测图仪还有少量的生产外，其他所有的摄影测量光机仪器已经完全停止生产。这种发展已经引起了产业界的变革，即精密的光学、机械制造业转为信息产业。

1.1.2 数字摄影测量的新发展

2000年ISPRS阿姆斯特丹大会上第一个商用数字航摄仪的推出，标志着摄影测量步入包括影像获取的数字化在内的全数字摄影测量时代，其后，无论是在数据获取、数据处理还是数据的应用方面，摄影测量的硬件和软件、理论和技术方面都取得了巨大的发展，而且这种发展还将持续下去。数字摄影测量的新发展主要体现在以下几个方面：

1. 数字航摄仪的普及应用

随着ADS40、DMC、UltraCAM和SWDC等数字航摄仪的推出和普及，航空数码相机的技术日益成熟，大有取代传统模拟航摄仪之势。数字航摄仪具有体积小、重量轻、高分辨率、高几何精度等优点，而且对天气条件要求不再苛刻，能够在阴云天气下进行摄影。数字航摄仪的技术优势在于不增加飞行成本的条件下，获取大重叠度的影像数据，多视影像中相邻影像间的变形较小。如果采取多基线摄影测量的方法，将多幅相邻影像同时处理，则可以大大增加交会角，提高影像匹配、立体测图和三维重建的精度和可靠性。另

外,数字航摄仪可以同时携带多个镜头,同时获取测区的全色、彩色、近红外和多光谱影像,这也是模拟航摄仪所不及的。

数字航摄仪可携带有高精度的 POS 系统,摄影的同时可以获得较高精度的外方位元素,减少传统航摄对控制点数量的要求,甚至可以直接利用获取的外方位元素进行定向。所以数字航摄仪和 POS 系统的结合极大地减少了摄影测量的外业工作,提高了整个作业的效率。

数字航摄仪直接获取的数字影像,只需要很少的处理便可以用于数据生产,使内业处理流程大大简化,产品的形式多种多样。数字航摄仪可以在很短的时间内获取测区的多种形式的海量数据,极大地丰富了数据和产品的形式,但是也对内业处理提出了很高的要求。以前在每台计算机相互独立的完成内业处理的整个流程的作业方式,已经不能满足海量数据快速处理的要求。这时,全数字摄影测量系统应运而生。

2. 新一代全数字摄影测量系统 (DPS)

虽然数字摄影测量工作站 (DPW) 利用许多数字图像处理、模式识别、影像匹配技术为摄影测量赋予了许多自动化技术,但从本质上而言,DPW 还仅仅是用计算机模拟传统的摄影测量,没有深层次的变化。同时它的出现不可能脱离当时的计算机发展水平。

DPW 按单“台、件”的作业方式,再也不能满足高分辨率卫星影像、线阵与面阵航空数码相机、LiDAR、POS 等新一代传感器系统带来的海量数据快速处理的需求。考虑当前计算机网络、集群处理技术的迅速发展,将网络与计算机集群处理技术充分地应用于新一代的数字摄影测量系统 (是系统而不再是工作站),使数字摄影测量发展到一个新的台阶。

新一代的数字摄影测量系统 (DPS) 已经开始应用于国家基础测绘、城市基础地理信息动态更新、国土资源调查等特大型工程项目中,彰显了 DPW 无法比拟的优越性。比如国际一流的遥感影像自动化处理系统像素工厂,它集自动化、并行处理、多种影像兼容性、远程管理等特点于一身,通过机柜系统解决海量数据问题,大大缩短了数码相机影像处理的周期。还有国内的 DPGrid,它引入了摄影测量的最新的理论研究成果;实现了基于网络与集群计算机进行数字摄影测量的并行处理,将自动化处理与人机协同处理完全分开,合理组织,建立人机协同的网络全无缝测图系统,极大地提高了数字摄影测量作业的效率。

新一代全数字摄影测量系统的出现是摄影测量界从 DPW 到 DPS 的一次变革,代表了摄影测量数据处理的新方向。

3. 低空无人机摄影测量

虽然目前空天遥感数据的获取手段丰富多样,但是各种不同的获取方式也存在各自的限制:卫星遥感平台受轨道的限制,每天过顶的时间固定,无法实现应急观测;航空遥感在恶劣的天气条件下,出于安全考虑,载人飞机往往无法升空作业,微波遥感等手段虽然不受云和天气的影响,但由于探测原理的差异,并不能替代可见光和红外遥感在实际应用中的地位;机载 LiDAR 由于硬件设备成本太高,在国内还没有普及应用。此外,传统航空航天遥感获取影像资料的成本也较高,不利于遥感在各应用领域更广泛的发展。低空无人机摄影测量系统以其机动灵活、设备和维护成本很低、可获得厘米级分辨率影像数据等特点,填补了空天摄影测量对局部地区高精度数据获取能力不足的空白。

无人机摄影测量系统是具有 GPS 导航、自动测姿测速、远程数控及监测的无人机低

空定时摄影系统,系统以无人驾驶飞行器为飞行平台,以高分辨率数字遥感设备为机载传感器,以获取低空高分辨率遥感数据为应用目标,主要用于地理数据的快速获取和处理。该系统利用单反数码相机、GPS、自动测姿测速设备、数传电台获取“数字城市”必需的影像数据、摄站坐标、摄影姿态;利用相关设备和程序实现影像纠正参数的初始标准化;利用数字摄影测量软硬件进行影像纠正拼接。从而为制作正射影像、地面模型或基于影像的城市测绘提供最简捷、最可靠、最直观的应用数据。

无人机航摄系统是传统航空摄影测量手段的有力补充,具有机动灵活、高效快速、精细准确、作业成本低、升空准备时间短、操作控制容易、可使用普通数码相机作为传感器等特点,在小区域和飞行困难地区高分辨率影像快速获取方面具有明显优势,可广泛应用于国家重大工程建设、灾害应急处理、国土监察、资源开发、新农村和小城镇建设等方面的测绘业务。

4. 机载/地面激光雷达

激光雷达(Light Detection And Ranging, LiDAR)测量技术是从20世纪后期逐步发展起来的一门高端技术,上世纪90年代后期和2000年后才在国内外进入商业应用领域。

机载激光雷达测量技术的发展为我们获取高时空分辨率的地球空间信息提供了一种全新的技术手段,使我们从传统的人工单点数据获取变为连续自动数据获取,不仅提高了观测的精度和速度,而且使数据的获取和处理朝着智能化和自动化的方向发展。

机载激光雷达(Airborne Laser Scanning, ALS)能够获取高精度、高空间分辨率的数字地面模型,进而获取地表物体的垂直结构形态,同时配合地物的视频、彩色或红外成像,更加增强了对地物的认知和识别能力,在三维地理信息空间的数据采集方面有广阔的发展前景;能部分地穿透树林遮挡,直接获取真实地面的高精度三维地形信息,在这个方面具有传统航测手段没有的优势;能不受日照和天气条件的限制,全天候地进行观测,这能够使它在很多场合作为其他传感器的一种有效补充。机载激光雷达既可以作为数据采集的一种技术手段,又可以同其他的技术集成使用,如集成传统的航空摄影机、CCD相机及红外遥感器等,组成一套新的功能强大的遥感系统,为地球空间信息智能化的处理提供新的融合数据源。

地面激光雷达(Terrestrial Laser Scanning, TLS)是随空间点阵扫描技术和激光无反射棱镜长距离快速测距技术的发展而产生的一种新的测绘技术。地面激光雷达摒弃了传统地形测绘的单点数据采集方式,而采用密集、连续的高精度扫描测量,进而得到完整的、全面的、连续的、关联的全景点的三维坐标。具有点位测量精度高、采集空间点的密度大、速度快、不需要建立控制点等特点,而且融合了激光反射强度和物体色彩信息,可以真实描述目标的整体结构、形态特征和光谱特征,为测量目标的识别分析提供了更为丰富的研究内容。

地面激光雷达有着极高的工作效率,可以大大增加工程的进度,检测并获得可靠的精度。由于其获取空间数据的方式和数据处理的特点,满足了空间信息获取和表达的需要,因而很快得到了测绘领域的广泛关注,在土木工程、工业设计、地面模型、路桥设计、船舶建造、地理数据采集、现场保护、露天煤矿、建筑检测等很多领域获得了成功的应用,成为地面近景摄影测量的一项新的方向。

5. 航天/卫星摄影测量

对航天摄影测量的研究始于20世纪60年代,70年代随着空间技术和测绘仪器的发展

展而进步，80 年代趋于实用，90 年代随着高分辨率遥感卫星的发射进入发展的新阶段，到了 21 世纪，航天摄影测量才呈现出空前的大发展姿态。

进入 21 世纪，随着成像模型理论的发展、新型卫星传感器的研制成功、星载对地观测技术的不断成熟，一批高分辨率遥感卫星相继发射。具有立体成像能力的遥感卫星的地面分辨率从 10m 级发展到了现在的 0.4m，甚至向更高分辨率发展，已经达到了航空摄影影像分辨率的水平，出现了立体卫星影像和立体航空影像并存的局面，卫星测绘成为一种具有广泛应用价值的测图技术手段，改变了传统的大规模地形测图的生产方式。

1.1.3 数字摄影测量的产品

过去，传统的摄影测量主要是用来测图，在国内主要还是线划图。因此，摄影测量与用户的界面就是一个地图的概念。但是，随着数字摄影测量时代的到来，摄影测量的产品的概念获得了拓宽。

(1) 附有内、外方位元素的影像资料。从传统的摄影测量而言，摄影的影像，只是原始的资料。而摄影测量空中三角测量提供的加密成果，影像的内方位元素、外方位元素已经是已知数据，用户就可以直接利用该数字影像的内、外方位元素、影像数据与 DEM 直接生成该地区的正射影像图。

(2) 数字表面模型 DSM。传统的摄影测量都是以地形为准，所以它必须表达地形的等高线，DSM 通常被认为是无用的信息。然而 DSM 同样非常重要，在森林地区，可以用于检测森林的生长情况；在城区，DSM 可以用于检查城市的发展情况。

(3) 数字地面模型 DEM 是数字摄影测量的重要信息，到目前为止，虽然 DEM 的数据格式的标准化等问题尚未统一，但 DEM 可以作为一个标准的产品进行销售。

(4) 传统的线划图 DLG 无疑是摄影测量的重要产品。其信息可以直接进入 GIS 系统或各种 CAD 系统，为各种工程设计提供数据。

(5) 正射影像图 DOM 及真正射影像图 (TDOM)，按传统的观念正射影像图是一种辅助图种，但目前越来越受到重视，被视为快速成图与更新的重要手段。

(6) 由正射影像加数字地形所产生的自然环境的三维景观，由城市的正射影像、地形数据、建筑物的量测数据、房顶与墙面的影像纹理数据所产生的城市环境的三维景观，已经为计算机可视化、计算机模拟、计算机动画、仿真、虚拟现实、土地与城市规划提供了数据，这为数字摄影测量的应用开辟了极为广阔的前景。

图 1-1 所示是常见的四种数字产品。

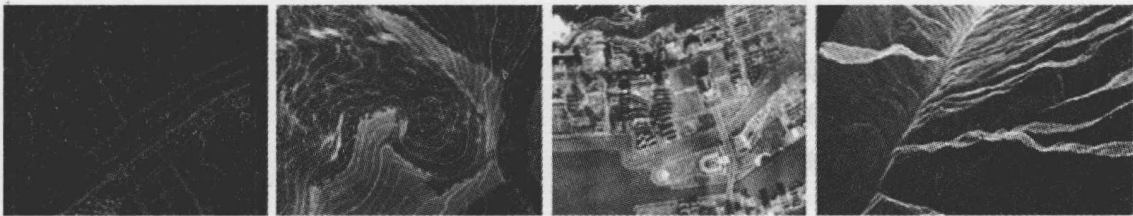


图 1-1 4D 产品

1.2 摄影测量作业流程

航空摄影测量的整个流程主要包括航空摄影和初步数据处理得到初始数据（包括定位定向数据、相机文件、影像数据）、外业控制测量得到控制点文件、内业处理得到最终产品这三个环节。

航空摄影是摄影测量的第一步，一般是由用户单位提出航摄要求并制订任务书，航摄单位根据用户单位的航摄任务书制订航摄计划和技术方案设计，经用户同意后报经航飞主管部门，申请进行航飞拍摄。航空摄影获得的原始数据一般都要经过一个初始的处理，生成用户可用的数据，包括相机文件，初始外方位元素和影像数据。航拍数据的初步处理一般都是由航飞单位来完成，然后把初始产品提供给用户单位。

用户单位一般都是直接从事生成的单位，拿到初步的数据后，还要经过进一步的加工，生成所需要的数字产品供自己单位使用或作为商品。在数据加工之前，一般还要求做一定的外业刺点和控制测量，得到的控制点文件是数据加工中必备的已知数据，而影像的初始外方位元素一般只做辅助数据。一个测区一般只需要采集少数的控制点，利用这些控制点在内业中进行空三加密，得到密集的控制点，或者直接利用少数控制点文件，以初始外方位元素为辅助直接进行整个测区的定向，求取所有航带影像的外方位元素的精密解，再用以数据的后续加工。

数据加工的最终产品时包括 DLG、DEM 和 DOM 在内的数字产品以及由这三种产品联合其他数据再加工得到的其他数字产品，如数字城市、三维真实景观等。在进行数字化测图生成初始的 DLG 时，一般还要求要进行外业调绘，对 DLG 进行地图综合和补充描绘，生成最后的 DLG 产品。

摄影测量得到的初始产品和最终产品既可作为独立的产品，也可输入到 GIS 数据库，作为地理信息系统的基础和支撑数据服务于其他领域。

航空摄影测量的整个流程如图 1-2 所示。

1.3 实验安排

根据测绘工程及相关专业摄影测量学课程教学要求，本书安排了以下 11 个实验：

1. 航摄计划编写实验
2. 像片调绘实验
3. 立体显示实验
4. 光束法区域网平差实验
5. 立体影像绝对定向实验
6. 数字立体测图综合实验
7. 影像匹配实验
8. 地形特征线采集与 DEM 内插实验
9. DOM 制作实验
10. ADS40 线阵影像数据处理实验
11. 卫星影像数据处理实验

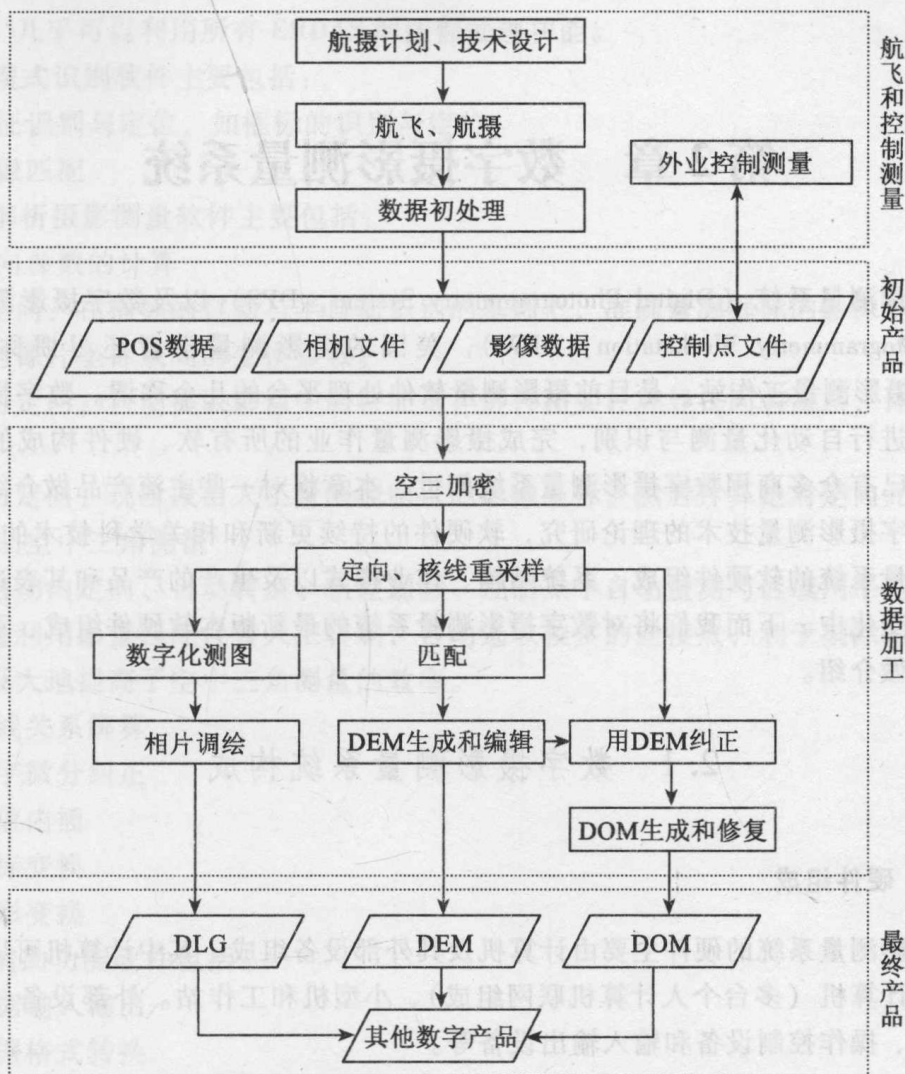


图 1-2 摄影测量总流程