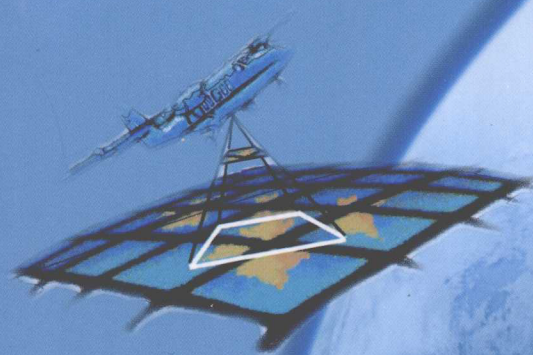


HANGKONG SHEYING CELIANGXUE

航空摄影测量学

(非摄影测量专业用)

王春祥 李 晓 盛庆伟 主编



黄河水利出版社

航空摄影测量学

(非摄影测量专业用)

王春祥 李 晓 盛庆伟 主编

黄河水利出版社

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本教材共分八章,以航测的基本理论为基础,以航测内、外业的作业技能为重点,较全面、系统地讲述了航空摄影测量作业的全过程。书中大量压缩了摄影测量中陈旧过时的内容,增加了数码航空摄影、数码调绘及数字摄影测量等方面的新技术。

本教材由具有丰富教学经验的一线教师编写,图文并茂,通俗易懂,讲解深入浅出。可作为中等专业学校测绘类非摄影测量专业的教学用教材,亦可作为高等职业教育测绘专业或其他院校的规划、农林、环保、资源等专业以及测绘技术工作者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

航空摄影测量学(非摄影测量专业用)/王春祥,李晓,盛庆
伟主编. —郑州:黄河水利出版社,2011.3

ISBN 978-7-80734-998-3

I. ①航… II. ①王… ②李… ③盛… III. ①航空摄影测
量—高等学校:技术学校—教材 IV. ①P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 027063 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:11.5

字数:266 千字

印数:1—4 000

版次:2011 年 3 月第 1 版

印次:2011 年 3 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

本书是在郑州测绘学校使用多年的原《航空摄影测量学》教材的基础上,根据作者多年教学经验及有关教师和学生提出的宝贵意见和建议,对书中内容进行了认真地修改、充实和完善而成的。本书可作为中等专业学校测绘类非摄影测量专业的教材,亦可作为高等职业教育测绘类专业或其他院校的规划、农林、环保、资源等专业以及测绘技术工作者的参考用书。

随着现代计算机技术、空间定位技术、高分辨率遥感技术以及现代通信技术的快速发展,摄影测量的理论与方法也有了突飞猛进的发展,如今的摄影测量学科已远远超出了其传统测量与制图的狭窄范围,影像信息的获取以及数据的处理更趋自动化和智能化,数字化测绘产品的形式越来越丰富。为适应摄影测量新的理论、技术和作业方法,在编写本书的过程中,对摄影测量中陈旧过时的内容进行了大量的压缩和删减,增加了数码航空摄影、数码调绘及数字摄影测量等内容。全书共分为八章,第一章至第三章介绍航空摄影基础知识、像片和像对摄影测量的解析基础,第四章至第六章介绍像片判读、航测外业像片控制测量及像片调绘的作业方法和作业过程,第七章主要介绍解析摄影测量,第八章介绍数字摄影测量原理及作业过程。为了便于教学,每章内容后面都配有一定数量的思考题。

本书以航测的基本理论为基础,以航测内、外业的作业技能为重点,较全面、系统地讲述了航空摄影测量作业的全过程。书中涉及的规范要求,如果没有特殊说明,一般指的是1:5 000、1:10 000地形图航空摄影测量中的规范要求,教学过程中可以根据专业不同而有所侧重。在掌握航测基本理论的同时,应注重作业技能的培养。工程测量专业、地籍测量和土地房产专业的学生,应侧重航测外业方面的技能培养;制图与地理信息系统专业的学生,应侧重数字摄影测量内业的软件操作以及测图方面的技能培养(配套使用我校编写的“数字摄影测量实习指导书”及“解析空中三角测量实习指导书”)。

本书由王春祥主持编写。其中,第一章至第三章由李晓执笔,第四章至第六章由王春祥执笔,第七章、第八章由盛庆伟执笔,其中第六章的第七节“数码调绘系统介绍”由北京四维远见信息技术有限公司的刘四宁编写,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了郑州测绘学校领导和教材编委会的大力支持,听取了部分专家和有关老师的意见。航测教学部主任尚国旗及教务处处长薛雁明对本书进行了审阅并提出了许多宝贵意见,在此对提出意见的专家、老师、审稿人及有关参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在不足与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2011年1月

目 录

前 言	
第一章 绪 论	(1)
第一节 摄影测量概述	(1)
第二节 影像信息科学的形成	(2)
第三节 航空摄影测量的简要过程	(4)
思考题	(5)
第二章 航空摄影	(6)
第一节 航空摄影的基本概念	(6)
第二节 航摄资料的质量要求	(11)
第三节 数码航空摄影	(14)
思考题	(21)
第三章 航空摄影测量的理论基础	(22)
第一节 航摄像片是地面的中心投影	(22)
第二节 航摄像片解析	(25)
第三节 航摄像片的倾斜误差和投影误差	(31)
第四节 航摄像片与地形图的区别	(33)
第五节 航摄像对与立体观察	(35)
第六节 航摄像对的外方位元素	(41)
思考题	(44)
第四章 像片判读	(46)
第一节 概 述	(46)
第二节 像片的判读特征	(47)
第三节 野外像片判读的基本方法	(51)
思考题	(52)
第五章 航测外业像片控制测量	(53)
第一节 像片控制点布设的基本要求	(53)
第二节 航外控制测量的布点方案	(56)
第三节 航外控制测量的实施	(63)
思考题	(76)
第六章 像片调绘	(77)
第一节 像片调绘的基础知识	(77)
第二节 各类地形元素的调绘	(83)
第三节 地理名称的调查和注记	(119)

第四节	特殊设施和单位调绘中应注意的问题	(123)
第五节	像片调绘中的补测、清绘与接边	(124)
第六节	大比例尺航摄像片及回放纸图的调绘	(127)
第七节	数码调绘系统介绍	(131)
思考题		(138)
第七章	解析摄影测量	(140)
第一节	概 述	(140)
第二节	解析空中三角测量	(142)
思考题		(147)
第八章	数字摄影测量	(148)
第一节	概 述	(148)
第二节	数字影像解析	(150)
第三节	影像匹配	(154)
第四节	数字高程模型	(158)
第五节	数字微分纠正	(162)
第六节	数字摄影测量系统	(167)
思考题		(175)
参考文献		(176)

第一章 绪 论

第一节 摄影测量概述

在普通测量学中,我们已经知道用常规的地形测量方法可以测绘地形图,但这并非测绘地形图的唯一方法。19 世纪 50 年代在摄影技术的基础上发展起来的摄影测量学同样能够用以测绘地形图。

摄影测量学(Photo Grammetry)有着悠久的历史,传统的摄影测量学是利用光学摄影机对所研究的对象进行摄影,根据所获得的像片信息来研究、确定被摄物体的形状、大小和空间位置的一门学科和技术。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、设备和技术方法,以及将所处理和量测得到的结果以图解或数字形式输出的方法和设备。

摄影测量学的主要特点是在像片上进行量测与解译,无需接触被摄物体本身,因而很少受到自然和地理条件的限制,而且可以得到瞬间的动态物体影像。摄影测量的分类方法有许多种,若按摄影机与被摄物体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等分支,若按应用的对象不同,又可分为地形摄影测量和非地形摄影测量。地形摄影测量的主要任务是测绘各种比例尺的地形图,工程勘察设计和城镇、农业、林业、交通等各部门的规划与资源调查用图,建立相应的数据库;而非地形摄影测量则用于解决资源调查、变形观测、环境监测、军事侦察、弹道轨道及工业、建筑、考古、生物医学等各方面的科学问题。

随着时代的进步和科技的发展,如今摄影测量无论是在信息的获取、处理,还是在成果的表达方面都发生了革命性的变化,摄影测量所处理的信息不再局限于单一的框幅式航摄仪硬拷贝光学影像加普通测量仪器的观测数据,CCD(电荷耦合器件)固态数字摄影机影像、合成孔径雷达影像、卫星传感器多光谱多时相遥感影像、GPS 定位数据也应有尽有。为了快捷地处理并充分利用这些信息,发展基于计算机的全数字摄影测量信息处理系统,提供可满足各行各业需要的多样化产品的产业结构已势在必行。如今的摄影测量学科已远远超出了传统测量与制图的狭窄范围,不再局限于测绘物体形状与大小等数据的几何处理。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对摄影测量与遥感作出新的定义:摄影测量与遥感是从非接触传感器系统获得影像,通过记录、量测、分析与数字表达等处理,获取地球及其环境和其他物体可靠信息的工艺、科学和技术。简言之,它是影像信息的获取、处理和成果表达的一门信息学科。

摄影测量学从其发展过程来看,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。摄影测量三个发展阶段的特点如表 1-1 所示。

模拟摄影测量是在室内借助于立体测图仪模拟摄影过程,恢复摄影时像片的内外方

位元素,建立与实地相似的立体几何模型,然后在该模型上进行量测。该方法主要依赖于摄影测量内业测量设备,研究的重点放在仪器的研制上,仪器价格十分昂贵。

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	数字摄影测量 系统	自动化操作 + 作业员干预	数字产品 模拟产品

随着计算机的问世,人们用严格计算的方法解求像点在物方空间的坐标成为可能,解决了长期困扰摄影测量工作者的复杂的几何解算和大量的数值计算问题,实现了“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的解算,从而交会被摄物体的空间位置。该阶段的主要仪器设备是解析测图仪,但仪器价格依然很昂贵。

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获取的数字影像,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(如数字地图、DEM、DOM 及测量数据库等)和可视化产品(如地形图、专题图、纵横断面图、透视图、电子地图、正射影像图等)。

目前,在摄影测量中,航空摄影测量采用的最为普遍,航空摄影测量是摄影测量的重要组成部分。航空摄影测量的主要任务就是利用各种影像信息测制各种比例尺、不同类型的地形图,建立地形数据库,为各种地理信息系统(GIS)和土地信息系统(LIS)提供最原始的基础数据。因此,摄影测量学在理论、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。摄影测量学作为影像信息获取、处理、加工和表达的一门学科,又受到影像传感器技术、航空航天技术、计算机技术的影响,并随着这些技术的发展而发展。

利用航空摄影测量的方法测制地形图,与常规的利用地形测量的方法测制地形图相比,不仅速度快,成本低,机械化、电子化程度高,图面精度有保证,而且减少了野外工作量并改善了作业条件。因此,航空摄影测量是我国测制国家基本比例尺地形图的主要方法,也是测制大比例尺地形图、地籍图的重要方法。鉴于航空摄影测量在国民经济建设的诸多部门及军事国防等方面所发挥的重要作用,对非航测专业的学生来说,学习掌握一定的航空摄影测量的基本知识和技能具有不可小视的意义。

第二节 影像信息科学的形成

摄影测量学的发展历史就是遥感发展的历史,而遥感技术则是传统摄影测量发展的

必然趋势。摄影测量与遥感有机地结合起来,已成为 GIS 技术中的数据采集与更新的重要手段;反过来,GIS 则是摄影测量与遥感数据存储、管理、表达和应用的重要平台。摄影测量、遥感与 GIS 三者之间的结合,促进了一门信息科学分支——影像信息科学的形成。

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储、管理这个数字数据,并与其他非图形的专题信息相结合,进行分析、决策,以回答用户的有关问题。由于地理信息系统(GIS)和土地信息系统(LIS)都与物体的空间位置和分布有关,都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。

影像信息科学是一门记录、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环境信息的科学、技术和经济实体。应当说,影像信息科学是由摄影测量学、遥感、地理信息系统、计算机图形学、数字图像处理、计算机视觉、专家系统、航天科学和传感器技术等相结合的一个边缘学科。它提供了基于影像认识世界和改造世界的一条途径,因而具有无限的生命力。

图 1-1 形象地概括了影像信息科学的组成与相互关系。可以看到,影像信息获取、处

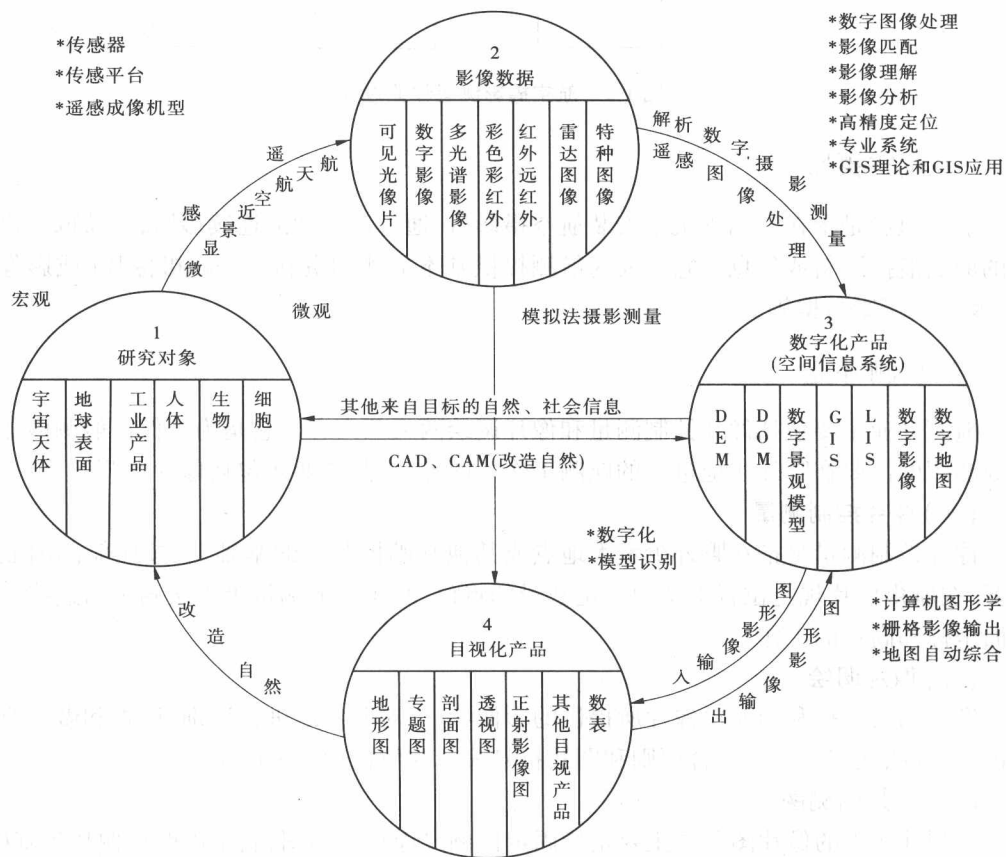


图 1-1 图像信息科学的组成与相互关系

理、加工和结果表达的整个过程是有机联系的,它既包含了模拟法、解析法和数字摄影测量,又包含了遥感与信息系统。图中用*号表示的是与影像信息科学密切相关的专业课程和专业基础课程。

第三节 航空摄影测量的简要过程

航空摄影测量作业过程可以用图 1-2 简明表示。

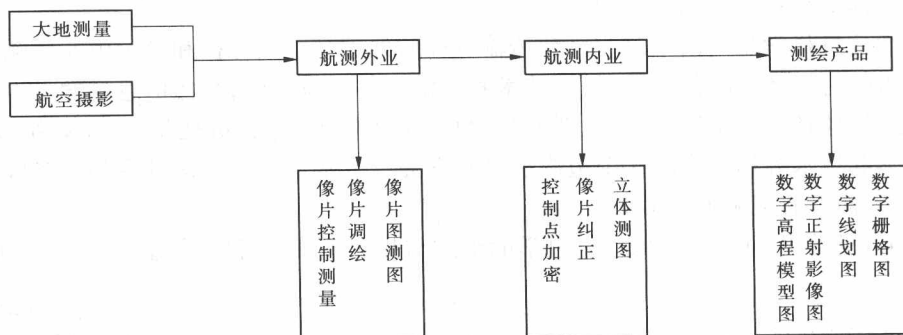


图 1-2 航空摄影测量作业过程

一、航空摄影

航空摄影是指在专用飞机上安装航空摄影机,通过对地面的连续摄影,以获取所摄地区的原始航摄资料或信息。它主要为航测提供基本的测图资料——航摄像片(或影像信息)及一些摄影数据等。

二、航测外业

航测外业主要包括像片控制测量和像片调绘两大项内容。它是为了保证航测内业加密或测图的需要,在野外实地进行的航测工作。此外,航测外业还包括像片图测图。

(一) 像片控制测量

像片控制测量是指在野外少量大地点或其他基础控制点的基础上,按照航测内业的需要,在航摄像片规定位置上选取一定数量的点位,利用地形测量等方法测定出这些点的平面坐标和高程的工作。

(二) 像片调绘

像片调绘是指利用航摄像片所提供的影像特征,对照实地进行识别、调查和做必要的注记,并按照规定的综合取舍原则和图式符号表示在航摄像片上的工作。

(三) 像片图测图

航测外业中的像片图测图主要是指固定比例尺像片图测图,它是以航摄像片为基础,经像片纠正制作成具有与测图比例尺相等的像片平面图,根据像片图的影像确定地物、地貌点的平面位置,并在像片平面图上用普通地形测量的方法实地测绘等高线,最终获得地

形原图的一种测图方法。

三、航测内业

航测内业是指在室内依据航测外业等成果,利用一定的航测仪器和方法所完成的那部分航测工作。航测内业主要包括控制点加密(即电算加密或称解析空中三角测量)、像片纠正和立体测图三大项工作。

(一)控制点加密

为了满足内业立体测图或制作像片平面图的需要,在像片上必须确定一定数量的已知控制点(定向点或纠正点),这些点若仅凭外业来解决,或数量不够,或外业工作量大,目前该项工作在航测内业中主要采用解析空中三角测量的方法来解决。

(二)像片纠正

像片纠正是为了消除航摄像片与正射影像之间的差异,以满足像片图测图及其制作正射影像图的需要而进行的那部分航测内业工作。

(三)立体测图

立体测图是航测成图的主要方法,被生产单位广泛使用。它是在室内依据航摄像对摄影过程的几何反转原理,建立起可供量测的立体几何模型,然后在立体几何模型上测绘出地物、地貌元素。目前,主要利用全数字摄影测量系统来进行立体测图。

四、测绘产品

航空摄影测量可以根据客户及用图单位的需要,生产出各种各样的测绘产品,如我们常见的“4D”产品,即 DEM(数字高程模型图)、DOM(数字正射影像图)、DLG(数字线划图)、DRG(数字栅格地图);另外,还有立体景观图、立体透视图、各种工程设计所需的三维信息及各种信息系统和数据库所需的空間信息等测绘产品。

思考题

1. 何谓摄影测量学? 航空摄影测量的主要任务是什么?
2. 简述摄影测量发展的三个阶段及其特点。
3. 试利用框图简要说明航空摄影测量的过程及其所包含的主要内容。
4. 什么是影像信息科学? 试从摄影测量、遥感与 GIS 三者的结合上去分析影像信息科学的形成。

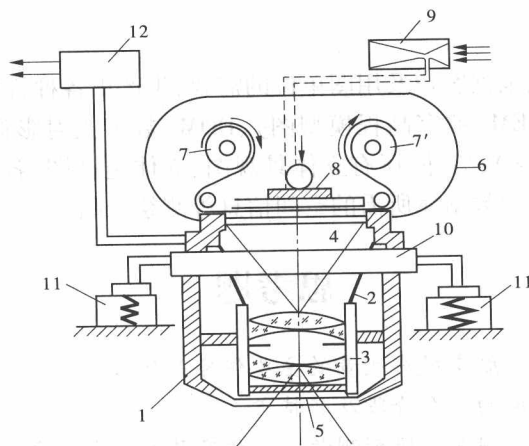
第二章 航空摄影

航摄像片是航空摄影的产物,是进行航空摄影测量必备的基础资料。所以,学习航空摄影测量应当对航空摄影的基础知识有所了解。航空摄影是指将专用的照相机(即航摄仪)安装在飞机上,按照一定的技术要求从空中对地面进行摄影的过程。航空摄影后所获得的指定地区的航摄像片,是航测成图的重要基础资料。

第一节 航空摄影的基本概念

一、航摄仪

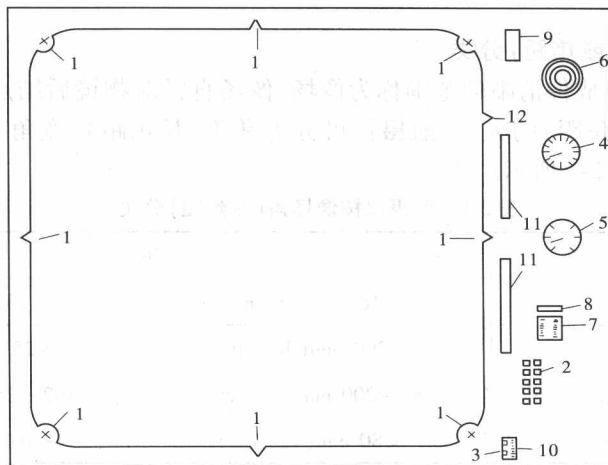
航空摄影机简称航摄仪(又称航摄机),是具有一定像幅尺寸,能够安装在飞机上对地面自动进行连续摄影的照相机。航摄仪是一台结构复杂、精密的全自动光学电子机械装置,其所摄取的影像能够满足量测和判读的要求。图 2-1 是一般的航摄仪结构示意图。



1—镜箱;2—镜筒;3—镜头;4—框标平面;5—滤光片;6—暗盒;7(7')—供片轴(承片轴);
8—压片机构;9—吸气管;10—座架;11—减震器;12—控制器

图 2-1 航摄仪结构示意图

航摄仪与普通相机的主要区别之一是在其物镜的焦平面上(即镜箱与暗盒的衔接处)设置有一贴附框。贴附框每边的中点各设有一个框标,称为机械框标;有的航摄仪除有上述四个框标外,在贴附框的四个角隅还各设有一个光学框标,如图 2-2 所示。这些框标在摄影曝光时,都能与所摄地物同时构像于航摄软片上。框标是航测中建立像平面坐标系、进行像点坐标量测及对像片进行变形改正的重要依据。



1—8个框标;2—光楔;3—像片号;4—时表;5—粗高度计;6—圆水准气泡;
7—日期和测区书写板;8—摄影机编号;9—暗匣号;10—镜箱常数(摄影主距);
11—外方位元素值;12—第9个非对称排列的框标

图 2-2 量测摄影机的辅助构像

与普通相机不同的还有航摄仪常使用主距的概念。所谓主距(f),是指像平面到物镜后主平面之间的距离。这是因为航摄仪像平面的位置在工厂安装时已作了定焦调整,并能保证影像清晰和几何位置精度的像平面固定下来,所以航摄仪的主距实际上就是固定的像距,它与物镜的焦距是两个不同的概念。但对航空摄影而言,由于摄影时其物距远远大于像距,因此实际上航摄仪的主距与物镜的焦距值相差很小。我们把摄影时航摄仪镜头中心到某一地面的垂直距离称为航高(H)。航高有绝对航高和相对航高之分,绝对航高(H_0)是指航摄仪镜头中心到大地水准面的垂直距离,航摄仪镜头中心到某一基准面的垂直距离则称为相对航高。

此外,在航摄仪贴附框的四周镜箱上还设置有指示飞行高度的气压表、指示摄影时刻的时表、指示光轴位置的水准器以及摄影记数器,新型航摄仪上还有一条光楔(见图 2-2)。这些指示器都能随每一幅同时记录在航摄像片上,成为曝光瞬间像片状况数据的记录。

航摄仪由控制器通过电磁开关来操作启动快门和计数器,同时通过传动机构以及暗盒内的卷片轴,可以使摄影胶片一幅幅地移动。景物的反射光线通过镜筒内的镜头在胶片上曝光成像,物镜前的滤光片起减少大气灰雾影响的作用。压片机构和吸气管可在曝光之前将航摄胶片展平在焦平面上。座架与减震器相连,以减小飞机震动的影响。

二、航摄仪的分类

在航空摄影测量中使用的航摄仪一般有两种分类方式。

(一) 按像幅分类

航摄仪按所摄像片的像幅可分为 $18\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ 和 $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ 两种,现代航摄仪

多用后者。

(二) 按像场角(或焦距)分类

物镜焦面上中央成像清晰的范围称为像场,像场直径对物镜后结点的夹角称为像场角。根据像场角(或焦距)的大小,航摄影可分为常角(长焦距)、宽角(中焦距)、特宽角(短焦距)三种,如表 2-1 所示。

表 2-1 航摄影按像场角(或焦距)分类

像场角	焦距	
	18 cm × 18 cm	23 cm × 23 cm
< 70°(常角)	> 200 mm(长焦距)	> 255 mm(长焦距)
70° ~ 100°(宽角)	80 ~ 200 mm(中焦距)	102 ~ 255 mm(中焦距)
> 100°(特宽角)	< 80 mm(短焦距)	< 102 mm(短焦距)

三、航空摄影的主要工作环节

(一) 航摄影协议书的拟订

航摄影协议书应由用户单位拟订。在航空摄影规范中,对大部分技术要求都有明确规定,但对其中的个别项目,用户单位应根据其测绘任务的实际情况和对资料的要求进行仔细分析,这是用户单位在向航摄影单位联系航摄影任务前必须认真考虑的问题。其内容主要包括以下几个方面:

(1) 划定需航摄影的具体区域范围。根据计划测图的范围和图幅数,按图幅分幅方法用经纬度或图号在计划图上标示出所需航摄影的区域范围,或直接标示在小比例尺的地形图上。

(2) 规定航摄影比例尺。在满足成图精度的条件下,一般从经济角度考虑应选择较小的航摄影比例尺。具体航摄影比例尺的大小和航片的重叠度应按规范的要求确定,对一些特殊的要求可提出协商。

(3) 规定航摄影像片应达到的质量要求。这里主要包括参照规范的规定提出飞行质量和摄影质量的要求。

(4) 规定航摄影仪类型及焦距、像幅的规格。一般是先确定像幅的规格(目前生产中多采用 23 cm × 23 cm 的像幅),然后根据像幅大小与有关质量和功能的要求(如测图精度、测图的仪器设备情况、测图的比例尺和测图的方法等)选择航摄影仪。目前,我国常用的航摄影仪有瑞士威特厂生产的 RC 系列,德国生产的 RMK、LMK 系列航摄影仪。最后根据航摄影地区的地形特征和成图要求确定合适焦距的镜头。例如:欲减少地物点在像平面上的投影差,一般选择长焦距镜头;平坦地区欲提高高程量测精度,宜选择短焦距镜头;山区为了避免摄影死角,宜选择中等或较长焦距镜头。

(5) 规定移交成果的方式、内容和期限。应移交的航摄影资料包括:①航摄影底片;②接触晒印的航摄影像片(份数按合同规定提供,一般为两套);③像片索引图的底片和像片;④航摄影成果质量检查记录和航摄影鉴定表;⑤航摄影仪检定记录和数据;⑥附属仪器记录数据

和资料;⑦各种登记表及其他有关资料;⑧移交清单。以上成果根据双方协议可一次性移交,也可分期分批移交。具体移交日期应有所限定。

(6)规定甲、乙双方的责任和费用。

(二)航摄技术计划的制订和实施

当航摄协议书双方签字后,航摄部门就应根据用户单位的航摄技术要求,制订出具体的航摄技术计划并进行实施。

1. 收集航摄地区的有关资料

收集航摄地区已有的地形图、控制测量成果、气象资料和其他图件、图表等资料,了解航摄地区的地形特征、地物种类及分布规律,作为制定航摄技术计划的参考或依据。

2. 划分航摄分区

当航摄区域大、地形起伏多时,应划分成若干个航摄分区(分区的最小范围除1:5 000测图不得小于两个图幅外,其余不得小于一个图幅)。划分时每个分区的高差应尽量小(分区内的地形高差不应大于1/4相对航高),每一分区的边界线应与地形图图幅的图廓线一致,分区划分应考虑加密的要求和外业布设控制点的方便,同一分区内应使用同一架航摄仪摄影。

3. 确定航线方向和敷设航线

航空摄影一般按东西方向直线飞行。特定条件下亦可按地形走向作南北向飞行或沿线路、河流、海岸、境界等任意方向飞行。常规摄影航线应与图廓线平行敷设。对于1:5 000、1:10 000测图,当 $M_{\text{像}}/M_{\text{图}}$ 大于3.3时,航线应沿图幅中心线敷设。

4. 计算航摄所需的飞行和摄影数据

在航摄中需要计算的飞行和摄影数据主要是绝对航高、摄影航高、像片重叠度、航摄基线、航线间距、航摄分区内的航线数、曝光时间间隔和像片数等。

5. 确定航摄的日期和时间

以测制地形图为目的的航摄,其航摄日期和时间的选择一般应避免或减小植被、积雪等的遮盖,并应晴天无云。我国的北方和南方有所差异。总的来说,每年较好的航摄时间段为4~5月或8~11月,一天之内最有利的航摄时间是中午前后的几个小时(此时,地物的阴影最短,地面照度最大)。航摄的日期和时间确定后,飞机按预定计划转至航摄地区附近的机场,安装好航摄仪并检查各种仪表设备、导航设备,标好领航地图和选择正确的航摄参数。当飞机进入航摄地区上空时,按已标绘的领航图确定的目标和方向进入第一条航线。到达开始摄影标志的正上空时,打开航摄仪进行自动连续摄影;到达终止摄影标志正上空时,关闭航摄仪停止摄影。然后转弯飞行进入第二条航线,如此依次摄影,直至整个区域的空摄工作全部完成即可返航。其航摄过程如图2-3所示。

四、GPS辅助空中摄影技术

(一)航摄飞行导航

航空摄影飞行必须按航摄计划中的要求,在一定的高度沿设计的航线飞行,以保证所得影像具有一定的摄影比例尺、航向重叠度及旁向重叠度。

早期的航空摄影导航是由领航员按地形图上的特征点引导飞机进入航线,确定开、关

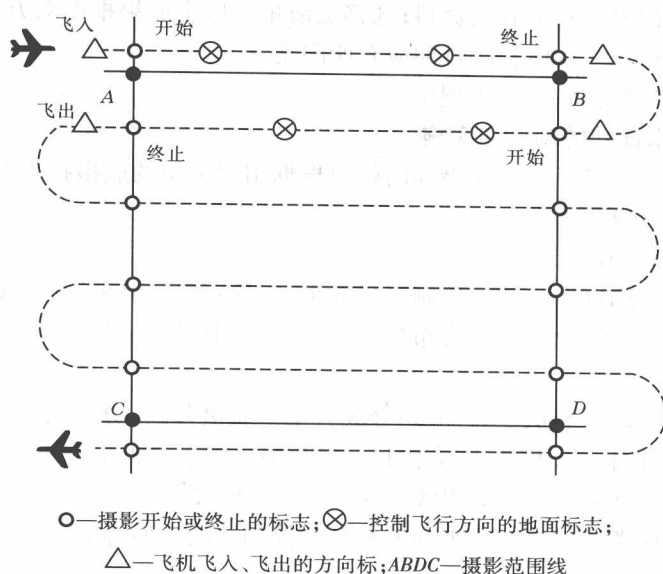


图 2-3 区域航空摄影航摄过程

机点并通知摄影员工作。由于飞机对领航员的“视线”影响及地物的变化,导航难度较大,效果也不理想。随着 GPS 的广泛应用,现在已普遍使用 GPS 进行航空摄影导航。GPS 用于航空摄影导航采用单点定位即可满足精度要求。单点定位就是根据接收机的观测数据,利用 C/A 码伪距实时 GPS 定位来确定接收机位置,即飞机的实时位置。

(1) 将航摄设计书中 GPS 领航数据表中的航线数据输入到 GPS 中,并编辑各导航点生成航线。航线数据是指各条航线的进入点、开机点、关机点的经纬度,是在地形图上设计的航线上按要求进行量算获得的。

(2) 航摄飞行时,领航员根据 GPS 显示屏上显示的计划航线,指挥飞行员进入航线并保持飞机按计划航线飞行,在开、关机点通知摄影员开、关摄影机。

(3) 当 GPS 仅用于航摄飞行导航时,摄影航高一般是按飞机上的高度表确定的,GPS 只负责平面位置的确定。

(二) IMU/DGPS 组合系统辅助航空摄影技术

20 世纪 90 年代以来,诞生于军事工业的 DGPS(差分 GPS)技术与 IMU(惯性测量单元 Inertial Measurement Unit)的组合应用使准确地获取航摄仪曝光时刻的外方位元素成为可能,从而实现无(或少)地面控制点,甚至无需空中三角测量工序,即可直接定向测图,从而大大缩短作业周期,提高生产效率、降低成本。国际上有很多机构和公司都将 IMU、DGPS 组合成的高精度位置与姿态测量系统(简称 IMU/DGPS 系统)应用于航空摄影中。

应用于航空遥感等领域的导航及姿态测量系统主要有卫星无线电导航系统(如全球定位系统 GPS)和惯性导航系统(Inertial Navigation System,简称 INS)。GPS 的基本定位原理是卫星不间断地发送自身的星历参数和时间信息,用户接收到这些信息后,经过计算求出接收机的三维位置、三维方向及运动速度和时间信息;INS 姿态测量主要是利用惯性测量单元(IMU)来感测飞机或其他载体的加速度,经过积分等运算,获取载体的速度和姿态

(如位置及旋转角度)等信息。在 IMU/DGPS 辅助航空摄影测量中主要采用载波相位差分 GPS(DGPS)定位技术,该技术可使定位精度达到厘米级,大量应用于动态需要高精度位置的领域。

一套完整的 IMU/DGPS 系统硬件主要包括 IMU、机载双频 GPS 接收机、高性能机载 GPS 天线、地面 GPS 接收机、机载计算机及存储设备。其软件包括 DGPS 数据差分处理软件、IMU/DGPS 滤波处理软件及检校计算软件。目前,国际上常用于航空摄影测量的 IMU/DGPS 系统主要有两种:德国 IGI 公司的 AEROControl 和加拿大 Applanix 公司的 POS/AV 系统。

IMU/DGPS 系统可以与多种传感器(如光学航摄仪、高光谱仪、数字航摄仪、LIDAR 及 SAR)相联,实现直接传感器定向或辅助定向测量。其中,线阵推扫式数字航摄仪(如徕卡公司的 ADS40)以及 LIDAR(机载激光三维扫描系统)中必须包含 IMU/DGPS 系统。

IMU/DGPS 辅助航空摄影测量是指利用装在飞机上的 GPS 接收机和设在地面上的一个或多个基站上的 GPS 接收机同步而连续地观测 GPS 卫星信号,通过 GPS 载波相位测量差分定位技术获取航摄仪的位置参数,应用与航摄仪紧密固连的高精度惯性测量单元(IMU)直接测定航摄仪的姿态参数,通过 IMU、DGPS 数据的联合后处理技术获得测图所需的每张像片高精度外方位元素的航空摄影测量理论、技术和方法。IMU/DGPS 辅助航空摄影测量的方法主要包括直接定向法和 IMU/DGPS 辅助空中三角测量方法。

直接定向法是利用高精度差分 GPS 和惯性测量单元在航空摄影的同时获得差分 GPS 数据和姿态数据,通过事后 GPS 差分处理及姿态测量数据处理,获得摄影时刻航摄仪精确位置坐标和姿态,通过对系统误差的改正,进而得到每张像片的高精度外方位元素。IMU/DGPS 辅助空中三角测量方法是将基于 IMU/DGPS 技术直接获取的每张像片的外方位元素作为带权观测值参与摄影测量区域网平差,获得更高精度的像片外方位元素成果。

第二节 航摄资料的质量要求

为了满足航测成图的需要,航摄部门所提交的航摄资料(主要是航摄像片),经检查验收后必须满足规范和协议规定的技术要求,用户方可接收。用户在检查、验收航摄资料时,除清点按合同要求应提供的资料名称和数量外,主要检查航摄负片的飞行质量和摄影质量。

一、对飞行质量的要求

(一)对像片倾斜角的要求

像片倾斜角是指航摄仪的主光轴与过镜头中心的铅垂线之间的夹角,用 α 表示。在目前条件下,所摄得的航摄像片难免有一定的倾斜,为了减小该因素对航测成图的不利影响,要求像片倾斜角一般不大于 2° ,个别倾斜角最大不超过 3° 。

检查像片倾斜角是按圆水准器影像中气泡所处的位置来确定的,如 RC 型航摄仪,其圆水准器的分划是每圈 0.5° ,圆水准器一共有 5 个分划,根据摄影后圆水准气泡偏离的