

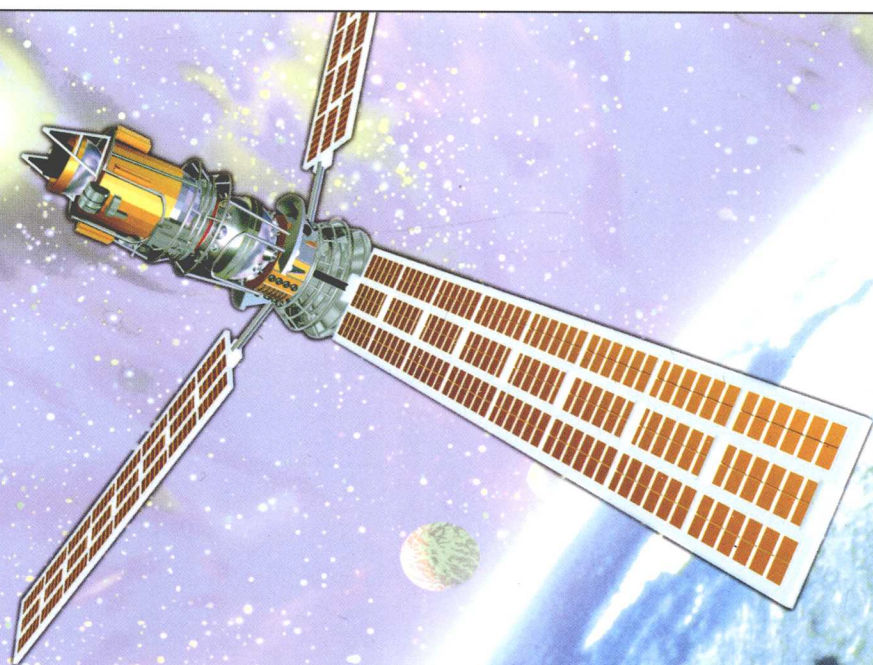
测绘行业职业技能培训教材

摄影测量

SHEYING CELIANG

(技师版)

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心



测绘出版社

测绘行业职业技能培训教材

摄影测量

SHEYING CELIANG

(技师版)

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心

测绘出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量:技师版/国家测绘局人事司,国家测绘局
职业技能鉴定指导中心编. —北京:测绘出版社,2009.6
测绘行业职业技能培训教材
ISBN 978-7-5030-1928-9

I. 摄… II. ①国…②国… III. 摄影测量—技术培训—
教材 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100548 号

责任编辑 吴 芸 执行编辑 万茜婷 责任校对 董玉珍 李 艳 封面设计 李 伟

出版发行 测绘出版社

社 址 北京市西城区复外三里河路 50 号

电 话 010-68531160 68512386

印 刷 北京建筑工业印刷厂

成品规格 210mm×297mm

字 数 500 千字

版 次 2009 年 6 月第 1 版

印 数 0001—1000

邮政编码 100045

网 址 www.sinomaps.com

经 销 新华书店

印 张 15.75

印 次 2009 年 6 月第 1 次印刷

定 价 50.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1928-9/P·438

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

测绘行业职业技能培训教材编审委员会

主任委员 李永春 赵继成 李玉潮

副主任委员 雷 斌 韩力援 李骏元 高锡瑞

委 员 任振宇 庞秋红 曾晨曦 胡秀琴

张彦东 常 玲 刘忠卿 崔 巍

薛雁明 王军德 杨国清 尚国旗

郑殿军 侯方国

主 编 李玉潮

副 主 编 李骏元 薛雁明

《摄影测量》编审人员

执行主编 尚国旗

参 编 王春祥 郭学林 戴晓琴

审 稿 何文林

编写说明

测绘是经济社会发展和国防建设的一项基础性工作。随着经济社会的全面进步,各方面对测绘的需求不断增长,测绘滞后于经济社会发展需求的矛盾日益突出。为进一步加强测绘工作,提高测绘对落实科学发展观和构建社会主义和谐社会的保障服务水平,国家对测绘事业发展越来越重视,《国务院关于加强测绘工作的意见》提出:加大测绘人才培养力度,全面提高测绘队伍整体素质;加强测绘职业资格管理,积极实施注册测绘师制度;加强基础地理信息获取和服务队伍建设,形成一支布局合理、功能完善、保障有力的基础测绘队伍。

高技能人才是我国测绘人才队伍的重要组成部分,在加快产业优化升级、提高企业竞争力、推动技术创新和科技成果转化等方面具有不可替代的重要作用。改革开放以来,我国高技能测绘人才工作取得了显著成绩,人才队伍不断壮大。但是,随着经济全球化趋势深入发展,科技进步日新月异,我国经济结构调整不断加快,人力资源能力建设要求不断提高,高技能测绘人才工作也面临严峻挑战。从总体上看,高技能测绘人才工作基础薄弱,与现代测绘技术的发展不适应。

国家测绘局《关于加强“十一五”测绘人才工作的意见》指出:认真贯彻落实中央《关于进一步加强高技能人才工作的意见》,大力加强技能人才的培养,力争用5年时间在测绘行业培养5000名左右高技能人才、1000名左右技师和高级技师;以职业院校和职业培训机构为依托,加大对技能人才的上岗培训、岗位技能培训,支持和鼓励职工参加各种职业技能学习;健全和完善技能人才考核评价制度,进一步加强测绘行业特有工种职业技能鉴定工作;大力开展多种形式的测绘职业技能竞赛、岗位练兵和技术创新活动,为测绘高技能人才脱颖而出创造条件;研究建立测绘就业和岗位准入制度,并探索把高技能人才的配备情况作为测绘单位资质评估和参加重大工程项目招投标的必要条件。

为推动测绘高技能人才队伍建设,配合测绘行业技师、高级技师的培训和考评工作顺利开展,我们组织编写了这套测绘行业职业技能培训教材。本套教材是测绘行业技师考评的指定培训教材,亦可供有关院校师生及其他测绘专业技术人员参考使用。

本套教材内容翔实,结构合理,统筹考虑和兼顾了测绘理论知识和实际测绘生产技能的关系,做到了理论联系实际,实现了知识和技能统一。该教材与国家职业标准紧密结合,对国家职业标准的基本要求、工作要求以及理论知识和技能操作所占比重,特别是工作要求中所涉及的职业功能、工作内容、技能要求和相关知识,都有直接的反映和体现。同时,教材中引入了大量技术实例,融入了大量测绘实际工作中的经验、方法和技术,贯穿了测绘规范的相关规定,加强了依据测绘规范进行生产操作的观念,重点突出了测绘生产过程中技术设计、作业方案、组织实施、数据处理、技术总结、质量检验、技术指导、技术培训等各个技术环节,注重实际操作能力培养,具有较强的实用性和指导性。

本套教材由国家测绘局人事司、国家测绘局职业技能鉴定指导中心组织编写,郑州测绘学校承担本套教材的编写工作。陕西测绘局、黑龙江测绘局、四川测绘局、中国测绘科学研究院、北京市测绘设计研究院、浙江省测绘局等单位承担本套教材的审稿工作。测绘出版社对本套教材的出版给予了大力支持。此外,在2007年12月出版的由浙江省测绘局主持编写的《房产测量》测量员版教材中已经涵盖了房产测量技师的培训内容,在技师版教材中暂未单独成册。

读者在使用过程中如发现问题,可书面向国家测绘局职业技能鉴定指导中心反映,以便今后修订过程中加以完善。

测绘行业职业技能培训教材编审委员会

2009年6月

前言

本书依据《摄影测量员》国家职业标准(6-01-02-02)编写,为测绘行业摄影测量员职业技能培训教材,适合摄影测量职业资格二级(技师)以上等级工培训使用,也可供有关院校师生及其他测绘技术人员参考。

随着时代的前进和科技的发展,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,无论在信息的获取、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了,CCD 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 定位数据应有尽有。为适应摄影测量新的理论、技术和作业方法,增加了数字摄影测量、GPS 和遥感等方面的新技术。全书共分十一章。第一章至第三章介绍航空摄影的基础知识、航摄像片与航摄像对的解析基础以及解析空中三角测量;第四章至第六章介绍数字摄影测量及产品;第七章至第九章介绍航测外业控制测量的作业方法和过程,像片判读、中小比例尺各类地形元素的调绘、大比例尺航测成图的作业方法以及航测外业工作的实施与管理等;第十章介绍数字地图编辑的基础知识;第十一章介绍遥感技术的基础知识。书中带“*”的内容只要求高级技师掌握,技师仅作参考。各工种所需的测绘基础知识,可参见本套教材的基础册《测量基础》的相关内容。

本书主要依据的是《国家基本比例尺地图图式第2部分:1:5 000 1:10 000 地形图图式》(GB/T 20257.2—2006)、《1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影规范》(GB/T 15661—2008)等技术标准。书中出现的“规范”字样,一般在中小比例尺航测外业部分是指《1:5 000、1:10 000 地形图航空摄影测量外业规范》(GB/T 13977—92),而在大比例尺航测外业部分是指《1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范》(GB/T 7931—2008)。

本书由尚国旗主持编写。其中第一章至第三章以及第十一章由王春祥和尚国旗执笔,第四章至第六章由尚国旗执笔,第七章至第九章由郭学林和戴晓琴执笔,第十章由朱勤东执笔。

本书在编写过程中,得到了编委会的诸多指导,参阅了有关教材和资料,听取了部分专家和有关老师的意见,特别是充分接受和采纳了审稿专家的意见和建议。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。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中定有不足之处。希望读者提出宝贵意见,以便我们进一步修改、完善本书的内容。

编者

2009年4月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1-1 航空摄影测量概述	(1)
§ 1-2 航空摄影简介	(3)
思考题	(10)
第二章 航空摄影测量的理论基础	(11)
§ 2-1 航摄像片的内、外方位元素	(11)
§ 2-2 航摄像片解析	(14)
§ 2-3 航摄像片的像点位移	(19)
§ 2-4 航摄像对的基本概念	(21)
§ 2-5 航摄像对的前方交会	(25)
§ 2-6 解析法相对定向和绝对定向	(27)
思考题	(30)
第三章 立体测图	(32)
§ 3-1 模拟法立体测图	(32)
§ 3-2 解析测图仪测图	(34)
§ 3-3 解析空中三角测量	(37)
思考题	(46)
第四章 数字摄影测量原理	(47)
§ 4-1 概述	(47)
§ 4-2 数字影像解析	(48)
§ 4-3 影像匹配基础知识	(52)
§ 4-4 数字摄影测量系统	(56)
思考题	(62)
第五章 数字高程模型	(63)
§ 5-1 数字高程模型的基本概念	(63)
§ 5-2 数字高程模型的建立	(64)
§ 5-3 数字高程模型的应用	(66)
思考题	(71)
第六章 数字正射影像图的制作	(72)
§ 6-1 像片纠正的基本概念	(72)
§ 6-2 数字正射影像图的制作	(72)
思考题	(76)
第七章 像片控制测量	(77)
§ 7-1 中小比例尺像片控制点的布设	(77)

§ 7-2 GPS 定位测量技术*	(85)
§ 7-3 中小比例尺航测外业控制测量的实施	(108)
§ 7-4 大比例尺航测外业控制特点	(117)
思考题	(128)
第八章 判读与调绘	(129)
§ 8-1 像片判读的基础知识	(129)
§ 8-2 像片调绘的基本知识	(136)
§ 8-3 中、小比例尺测图各类地形元素的调绘	(144)
§ 8-4 大比例尺航测成图调绘与像片图测图	(189)
思考题	(201)
第九章 航测外业工作的实施与管理*	(203)
§ 9-1 航测外业的生产技术工作	(203)
§ 9-2 航测外业的工作内容	(205)
§ 9-3 航测生产检查验收工作和技术总结	(207)
思考题	(212)
第十章 数字地图编辑	(213)
§ 10-1 计算机图形编辑系统基础知识	(213)
§ 10-2 数字地图数据编辑	(217)
思考题	(220)
第十一章 遥感技术基础知识	(221)
§ 11-1 概述	(221)
§ 11-2 遥感信息的获取	(224)
§ 11-3 遥感图像数字处理	(228)
§ 11-4 遥感图像的判读	(234)
思考题	(241)
参考文献	(242)

第一章 绪 论

§ 1-1 航空摄影测量概述

一、摄影测量学

传统的摄影测量学是指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、性质和空间位置的一门学科和技术。

摄影测量学的主要特点是对影像或像片进行量测和解译,无需接触被研究物体本身,因而很少受各种条件限制(如人们不能到达、不能触及等条件),而且可摄得动态物体的瞬间影像。像片及其他各类影像均是客观物体或目标的真实反映,信息丰富、图像逼真,人们可以从中获取所研究物体的大量几何与物理信息。由于现代航天技术和电子计算机技术的飞速发展,摄影测量学的学科领域更加广阔。可以这样说,只要物体能够被摄影成像,就可以使用摄影测量技术研究所摄物体的几何与物理特性。这些被摄物体可以是固体的、液体的,也可以是气体的;可以是静态的,也可以是动态的、变化着的;可以是微小的,如在电子显微镜下放大几千倍的细胞,也可以是巨大的,如宇宙星体,这些灵活性使得摄影测量成为可以多方面应用的一种测量手段和数据采集与分析的方法。

摄影测量按摄影距离的远近不同可分为航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量和显微摄影测量。若按其目的,摄影测量又可以分为地形摄影测量和非地形摄影测量。地形摄影测量主要用于测绘国家基本地形图、工程勘察设计以及城镇、农业、林业、地质、水电、铁路、交通等部门的规划与资源调查用图或建立相应的数据库。非地形摄影测量是将摄影测量直接用于工业、建筑、考古、变形观测、公安侦破、军事侦察、弹道轨迹、爆破、矿山工程以及生物医学等各个方面的一门科学技术。若按技术处理的方法分,则有模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。当代的数字摄影测量是传统摄影测量与计算机视觉相结合的产物,它研究的重点是从数字影像自动提取所摄对象的空间信息。基于数字摄影测量理论建立的数字摄影测量工作站和数字摄影测量系统正在取代传统摄影测量所使用的模拟测图仪与解析测图仪。

目前,在摄影测量中,航空摄影测量采用得最为普遍。航空摄影测量是指从飞机上对地面进行摄影,根据航摄像片所提供的图像信息,在特定的航测仪器上测制各种比例尺地形图从而为各种地理信息系统和土地信息系统提供最原始的基础数据的一种摄影测量技术,是摄影测量的重要组成部分。

与其他测制地形图方法比较,利用航测方法测图,不仅速度快、成本低、机械化与电子化程度高,图面精度有保证,而且减少了野外工作量和改善了作业条件。因此,航测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,在国民经济建设以及军事国防等方面发挥着重要的作用。随着时代的前进和科技的发展,如今,摄影测量无论在信息的获取、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了,CCD 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、全球卫星定位系统(Global Positioning System, GPS)定位数据应有尽有。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的多样化产品需要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其传统测量与制图的狭窄范围,于是摄影测量发展为摄影测量与遥感。为此,国际摄影测量与遥感学会于 1988 年在日本京都召开的第十六届大会上作出新的定义:“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。”简言之,它乃是“影像信息的获取、处理和成果表达的一门信息学科”。

摄影测量有着较悠久的历史,它从模拟摄影测量开始,经过解析摄影测量阶段,现在已进入数字摄影测量阶段。

二、航空摄影测量的简要过程

航空摄影测量的作业过程可以用图 1-1 简明表示。

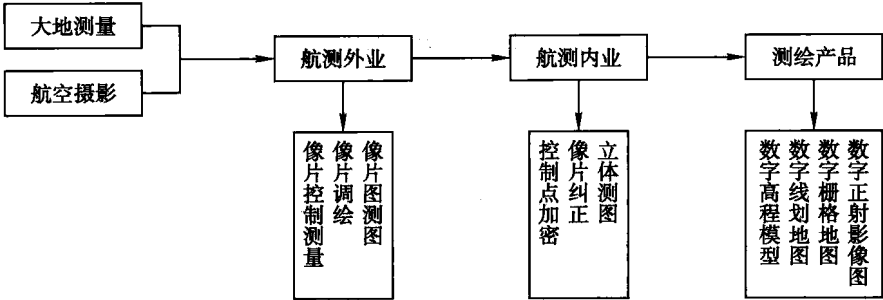


图 1-1 航空摄影测量的作业过程

(一)航空摄影

航空摄影即在专用飞机上安装航空摄影机,通过对地面的连续摄影,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)以及一些摄影数据等。

(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。

1. 像片控制测量

像片控制测量是指在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。

2. 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,并按照规定的取舍原则和图式符号表示在航片上的工作。

3. 像片图测图

像片图测图是指根据外业测定的一定数量的像片控制点,经内业加密、纠正,制作出符合成图比例尺的正射影像图,然后以此图作为图底直接在外业进行地貌测绘、地物补测和调绘。

(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 3 大项工作。

1. 控制点加密

为了满足内业测图或制作像片平面图的需要,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,或将增大外业工作量。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。

2. 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利用像片制作正射影像图的需要而进行的那部分航测内业工作。

3. 立体测图

立体测图是航测成图的主要方法,为生产单位所广泛使用。目前主要是利用全数字摄影测量系统进行立体测图。

(四)测绘产品

航空摄影测量可以根据客户以及用图单位的需要,生产出各种各样的测绘产品,如常见的 4D 产品,即:数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM)、数字线划地图(Digital Line Graphic,DLG)、数字栅格

地图(Digital Raster Graphic, DRG)、数字正射影像图(Digital Orthophoto Map, DOM),以及立体景观图、立体透视图、各种工程设计所需的三维信息、各种信息系统和数据库所需的空

§ 1-2 航空摄影简介

航空摄影是指将专用的照相机(即航摄仪)安装在飞机上,按照预定的技术要求从空中对地面进行的摄影。航空摄影后所获得的指定地区的航摄像片,是航测成图重要的基础资料。

一、航摄仪

航空摄影机又称航摄仪,是航空摄影的主要仪器。图 1-2 是航摄仪的一般结构。

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。有的航摄仪除了有上述 4 个框标外,在贴附框的 4 个角隅还各设有一个光学框标,如图 1-3 所示。

航摄仪的镜头主光轴与像片平面的垂直交点称为像主点,它与相对两框标连线的交点是一致的。由于摄影曝光时机械框标与光学框标都与地物同时构像在航摄胶片上,因此,在航摄像片上,根据相对的两个框标连线的交点,即可确定像片的中心位置(即像主点)。框标是航测中建立像平面坐标系,进行像点坐标量测以及对像片进行变形改正的重要依据。

此外,与普通摄影不同的还有航摄仪常使用主距的概念。所谓主距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,并将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。另外,摄影时航摄仪镜头中心到某一地面的垂直距离称为航高。航高有绝对航高和相对航高之分:绝对航高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。

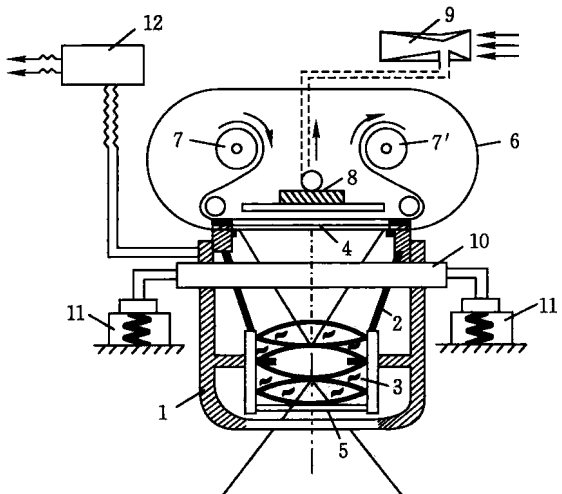


图 1-2 航摄仪的结构

- 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。

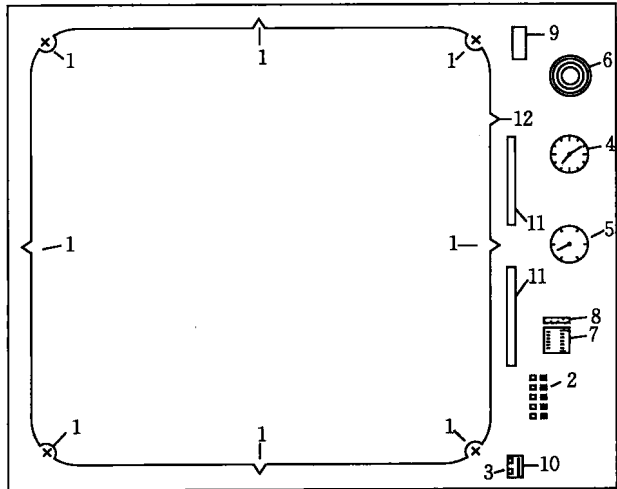


图 1-3 航摄仪的辅助构件

- 1-8 个框标;2-灰楔;3-像片号;4-时间;5-粗高度计;6-圆水准气泡;7-日期和侧区书写板;
- 8-航摄仪编号;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。

此外,在航摄影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计数器,新型航摄影上还有一条光楔,如图 1-3 所示。这些指示器都能随每一幅影像同时记录在航摄影片上,成为曝光瞬间像片状况数据的记录。

二、航摄影的分类

在航空摄影测量中使用的航摄影一般有两种分类方式。

(一)按像幅分类

航摄影按所摄影片的像幅可分为 18 cm×18 cm、23 cm×23 cm 两种,现代航摄影多用后者。

(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)3 种,如表 1-1。现行航摄影的焦距一般在 85~310 mm 之间。

表 1-1 航摄影的分类

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

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拟订,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

在确定航摄影比例尺时,满足成图精度要求往往和提高经济效益之间存在着一定的矛盾。比如说,若航摄影比例尺大,则点位的刺点精度和量测精度就高,同时也利于像片的判读、调绘,但航线数和像片数必然增多,摄影工作量大、经济效益降低;反之,若航摄影比例尺较小,则对提高经济效益有利,但测图精度有时较难保证。所以航摄影比例尺,应根据不同摄区的地形特点,在确保测图精度的前提下,本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效益的原则在表 1-2 范围内选择。

表 1-2 航摄影比例尺的选择

测图比例尺	航摄影比例尺
1 : 5 000	1 : 10 000~1 : 20 000
1 : 10 000	1 : 20 000~1 : 40 000
1 : 25 000	1 : 25 000~1 : 60 000
1 : 50 000	1 : 35 000~1 : 80 000
1 : 100 000	1 : 60 000~1 : 100 000

从表 1-2 中可以看出,一般测绘小比例尺地形图(如 1 : 100 000)时,航摄影比例尺应大于测图比例尺;测绘中比例尺地形图(如 1 : 50 000)时,航摄影比例尺应略大于或接近于测图比例尺;测绘大比例尺地形图时(如 1 : 10 000 或更大),则航摄影比例尺应小于测图比例尺。

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。

3. 规定航摄影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),然后再根据像幅大小和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)选择航摄仪。目前我国常用的航摄仪有瑞士威特(Wild)厂生产的 RC 系列、德国奥普托(Opton)厂生产的 RMK 型和德国蔡司(Carl Zeiss)厂的 LMK 型等(所选航摄仪的基本性能不应低于现行规范的要求)。最后再根据摄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

应移交的航摄资料包括:

- (1)航摄底片;
- (2)接触晒印的航摄像片(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)航摄成果质量检查记录和航摄鉴定表;
- (5)航摄仪检定记录和数据;
- (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. 规定责任和费用

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,航摄部门就应制订出具体的航摄技术计划并实施。

1. 搜集航摄地区的有关资料

搜集测区已有的地形图、控制测量成果、气象资料和其他图件、图表等资料,了解摄区的地形特征、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

航摄一般按东西向直线飞行。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 倍时,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、航线间隔距、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

为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或积雪等的遮盖,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 月至 5 月或 8 月至 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摄区附近的机场,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。当飞机进入摄区上空时,按已标绘的领航图确定的目标和方向进入第一条航线。到达开始摄影标志时,进行自动连续摄影;到达终止摄影标志时,摄影停止。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航摄工作全部完成即可返航。其航摄过程如图 1-4 所示。

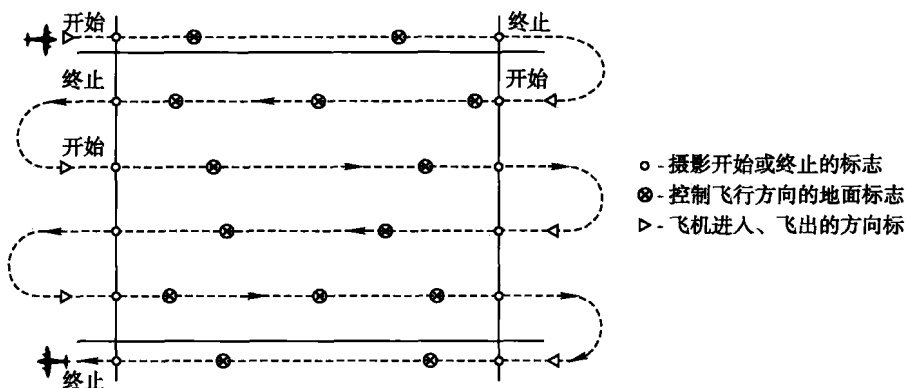


图 1-4 区域航空摄影

四、航摄资料的技术要求及检查验收

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。

(一)对飞行质量的技术要求及检查验收

1. 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° ,个别最大不超过 3° 。

2. 对航摄比例尺的要求

当像片水平,地面水平时,航摄比例尺等于摄影主距与测区相对航高之比,即

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

当像片倾斜,地面有起伏时,航摄比例尺的计算比较复杂(像片上各点的比例尺均不同),但可以用式(1-1)来获得平均航摄比例尺。

在作航空摄影计划时,选定了航摄仪和航摄比例尺,则航高 H 也就确定了。航空摄影时,飞机按预定的航高 H 飞行,以获得预定比例尺的航摄像片。

3. 对航高差的要求

一般来说,飞机在航空摄影时很难准确地保持同一高度水平飞行,这样航摄像片之间会有航高差的存在。由于航高差的影响,航片之间的比例尺会有所差异。特别当相邻航片之间这种差别较大时,会影响立体观察和立体量测的精度。故规范要求同一航线上相邻像片的航高差不得大于 30 m;最大和最小航高之差不应超过 50 m;摄影分区内实际航高不应超出设计航高的 5%(实际航高指摄影时飞机实际的飞行高度;设计航高则指计划飞行的高度)。

4. 对像片重叠度的要求

为了满足航测成图的需要,考虑到航线网、区域网的构成以及模型之间的连接等,要求相邻 3 张航摄像片应有公共重叠部分。航摄中,同一航线相邻像片之间的重叠称为航向重叠;相邻两条航线之间像片的重叠称为旁向重叠,如图 1-5 所示。像片重叠的大小以重叠度表示如下

$$P_x = \frac{q_x}{L} \times 100\% \quad P_y = \frac{q_y}{L} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: P_x 、 P_y 分别表示航向、旁向的重叠度; q_x 、 q_y 分别表示航向、旁向重叠部分的像片长度; L 表示像幅长度。

一般要求:航向重叠度(P_x)应为 60%~65%,个别最大不得大于 75%,最小不得小于 56%。当个别像对的航向重叠度虽小于 56%,但大于 53%,且相邻像对的航向重叠度不小于 58%,能确保测图定向点和测绘工作边距像片边缘不小于 1.5 cm 时,可视为合格。

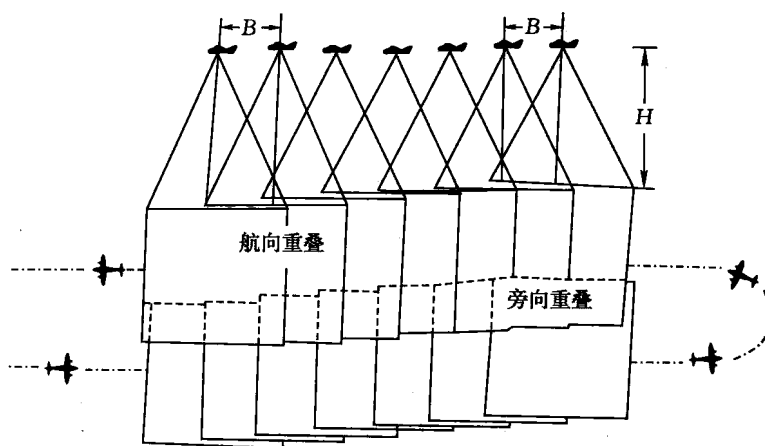


图 1-5 航摄像片的重叠

旁向重叠度 (P_y) 应为 30%~35%, 个别最小不得小于 13%。

在沿图幅中心线敷设航线, 实现一张像片覆盖一幅图时, 航向重叠度可加大到 80%~90%, 且应保证图廓线距像片边缘至少大于 1.5 cm。

检查像片重叠度是否满足要求时, 应以重叠部分最高地形部分为准。当像片航向或旁向的重叠度小于最小重叠度要求时, 将可能产生航摄漏洞。航摄漏洞会给航测成图带来相当大的困难。当重叠部分小到不能建立立体模型, 但在单张像片应用范围内还有地面影像的称为航摄相对漏洞, 否则称为航摄绝对漏洞。

5. 对航线弯曲度的要求

航线弯曲是指航摄时飞机不能准确地在一條直线上飞行, 实际航迹呈一曲线状。航线弯曲的大小用航线弯曲度 e 表示。航线弯曲度的确定方法如图 1-6 所示, 首先把一条航线的像片按其重叠正确排好, 然后用直尺量取该航线两端像片像主点之间的距离 L , 同时也量出偏离该直线 L 最远的像主点之距 δ , 两值比值的百分数即为航线的弯曲度 e , 公式如下

$$e = \frac{\delta}{L} \times 100\% \quad (1-3)$$

航线弯曲度一般不应大于 3%。

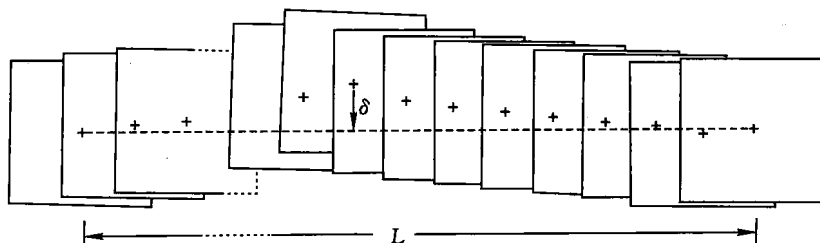


图 1-6 航线弯曲度

6. 对像片旋偏角的要求

航摄像片的旋偏角指相邻像片像主点的连线与航向框标连线之间的夹角, 如图 1-7 所示。

当像片的旋偏角过大时, 会使得像片重叠不正常。所以, 航摄像片的旋偏角要求一般不大于 6° , 最大不超过 8° (且不得连续 3 片)。

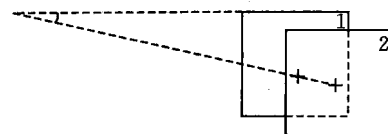


图 1-7 像片旋偏角

7. 对测区边界覆盖范围的要求

对于航线方向, 要求超出测区边界线 (图廓线) 不少于一条基线; 对于旁向, 要求超出测区边界线一般不少于像幅的 50%, 最少不少于像幅的 30%。

如果测区进行了分区, 分区之间航线方向相同时, 旁向按正常接飞, 航向各自超出分区界线一条基线。若分区之间航向方向不同时, 航向各自超出分区界线一条基线, 旁向超出分区界线一般不少于像幅的 30%, 最少不少于像幅的 15%。按图幅中心线敷设航线时, 旁向最少不少于像幅的 12%。

(二)对摄影质量的技术要求及检查验收

(1)航空摄影后所获得的航摄像片应满足影像清晰、色调一致、层次丰富、反差适中、灰雾度小的目视检查要求;

(2)航摄像片上不应有云影、阴影、雪影;

(3)航摄像片上不应有斑点、擦痕、折伤及其他情况的药膜损伤;

(4)航摄像片上所有摄影标志(如圆水准器、时钟、框标、像片号等)应齐全且清晰可辨;

(5)航摄像片应具有一定的现势性。

五、数字航空摄影

随着计算机技术和信息技术的飞速发展以及社会对数字产品需求的日益扩大,航空摄影测量与遥感技术也发生着显著的变化,常规的航空光学胶片摄影正逐步向着高精度的数字航空摄影发展。数字航摄影(Digital Mapping Camera, DMC)系统是目前应用于高精度、高分辨率的航空摄影测量任务的最完善、最先进的数字相机系统。目前国际上最具有代表性的数字航摄影仪有两种:一种是利用面阵 CCD 记录影像,另一种是利用线阵 CCD 扫描记录影像。

(一)数字航摄影仪的特性

1. 像元的大小与排列

像元大小决定了数字航摄影仪获取影像的几何分辨率,像元小则分辨率高。

像元的排列分为线阵排列和面阵排列。线阵排列的双线阵排列能提高影像的质量,面阵排列一般是按行列排列成规则的矩形。

2. 像元总数

对于面阵排列的 CCD 像元,像元总数为行与列的乘积。相同的像元尺寸,在相同比例尺摄影时,像元总数越多,则一幅影像地面的覆盖面积越大。

3. 辐射分辨率和感色范围

辐射分辨率是指影像的灰度采样级数,以比特(bit)表示。例如辐射分辨率为 8 比特,则灰度采样为 $2^8 = 256$ 级。

感色范围是 CCD 所能感受的光谱范围以及对不同波长光的响应,数字航摄影仪的感色范围一般为可见光及近红外波段。

4. 数据压缩及记录

由于数字航摄影仪在工作期间需要连续获取影像并实时记录,对如此大量数据进行传输及记录,就需要考虑对数据进行压缩。数据压缩用压缩率表示。

数据记录包括记录的格式和记录的速度。记录格式分为通用格式(JPEG、TIFF 等)和专用格式。记录速度用“数据量/s”表示,同时还需要大容量的机载存储器。

5. 摄影物镜

因为数字航摄影仪的实际像幅较模拟航摄影仪小,所以数字航摄影仪摄影物镜的几何尺寸较小。考虑到 CCD 器件的特点,曝光量的确定一般以固定光圈的方式进行自动曝光,所以数字航摄影仪多采用一个固定的光圈号数,一般是 4 或 5.6。

6. 获取连续影像的最小周期

获取连续影像的最小周期是数字航摄影仪进行连续摄影时的最小时间间隔,主要取决于 CCD 器件的响应时间、数据压缩率及数据记录的速度。

(二)三线阵数字航摄影仪

Leica 公司的 ADS40 就是典型的三线阵数字航摄影仪,它采用线阵列推扫成像原理,在成像面上分别安置前视、下视、后视 3 个全色波段 CCD 线阵传感器,所有目标在 3 个全色扫描条带分别记录,能直接生成 3 个立体像对,这 3 个条带影像可以构成 100% 的三度重叠。蓝、绿、红和近红外波段阵列安置在全色阵列之间,通过三色分色镜记录目标的多光谱信息。航空摄影时,传感器采用推扫式成像原理,7 个通道同时对地面连续采样,同时获得目标的 3 个全色与 4 个多波段数字影像。该系统缺点较多,不适用于大比例尺

制图和工程应用,不能使用传统的空中三角测量算法,影像的后处理过程较复杂。

(三)大面阵数字航摄仪

目前,由于技术原因,直接生产像幅为 $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ 的大幅面的面阵 CCD 还有困难,一般都是由几个小面阵的 CCD 构成,像 Z/I Imaging 公司的 DMC 和 Vexcel 公司的 UltraCamD(UCD)(图 1-8 为 UCD 数字航摄仪,图 1-9 为 UCD 摄影的地面影像),是目前典型的两种大幅面框幅式数字航摄仪。

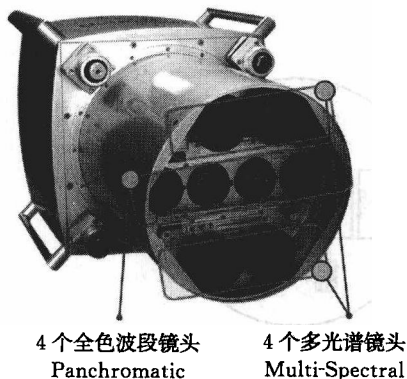


图 1-8 UCD 数字航摄仪

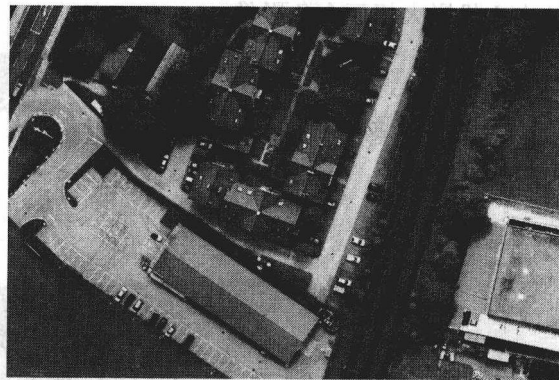


图 1-9 UCD 摄影的地面影像

下面以 Vexcel 公司的 UCD 为例介绍其工作原理。

1. UCD 数字航摄仪系统的组成

UCD 数字航摄仪系统主要由传感器单元(SU)、存储计算单元(SCU)、移动存储单元(MSU)以及空中操作控制平台和地面后处理系统软件包等部分构成。

(1)传感器单元(SU):UCD 的传感器单元由 8 个高质量的光学镜头组成,其中 4 个全色波段的镜头沿飞行方向等间距顺序排列,另外 4 个多光谱镜头对称排列在全色镜头的两侧。UCD 系统通过 13 个面阵 CCD 采集影像数据,其中 9 个 CCD 用于全色波段生成全色影像,4 个 CCD 用于多光谱段同时生成彩色 RGB 影像和近红外 NIR 影像。

(2)存储计算单元(SCU):UCD 的存储计算单元是一个拥有 15 套高性能、高可靠性、能在高空中工作的计算机和先进网络设备所组成的计算系统。其中 13 套计算机对应 13 个 CCD 面阵,能在空中对获取的影像进行高速并行处理,提高拍摄速度;其他两套计算机,一套用于系统的整体控制,另一套备用。为了提高数据的安全性,所有拍摄影像在存储计算单元中均被记录两次。

(3)移动存储单元(MSU):UCD 系统能够在 45 min 内将存储计算单元存储的 2 700 张影像数据(满载拍摄)导出并存储在其移动存储单元中,航摄操作员可以在返航途中或地面上完成这个操作,然后方便地将移动存储单元中的原始数据带回地面处理中心进行后期处理。

空中操作控制平台用来制作飞行计划,可以很方便地实时观察摄影情况。地面后处理系统软件包主要是对导出的影像数据,先进行辐射校正并对数据重新排序后获得第一级影像数据;然后对第一级影像数据进行全色影像的拼接、校正和多光谱影像的合成,获得第二级影像数据;最后对第二级影像数据进行融合、配准,生成高分辨率的彩色和彩红外影像。

2. UCD 数字航摄仪系统的工作原理

为了获取中心投影的影像,UCD 数字航摄仪系统在每个镜头承影面上精确安置了不同数量的 CCD 面阵:全色波段 4 个镜头对应呈 3×3 矩阵排列的 9 个 CCD 面阵,其中主镜头对应四角的 4 个 CCD,第一从镜头对应前后 2 个 CCD,第二从镜头对应左右 2 个 CCD,第三从镜头对应中间 1 个 CCD;多光谱段的 4 个镜头分别对应另外 4 个 CCD。

UCD 系统所使用的 13 个 CCD 面阵尺寸均为 $4\,008\text{ 像素} \times 2\,672\text{ 像素}$,其中形成全色影像的 9 个 CCD 之间存在一定程度的重叠(航向为 258 像素,旁向为 262 像素),CCD 获取的影像数据通过重叠部分的影像精确配准,消除曝光时间误差造成的影响,生成一个完整的中心投影。全色影像通过与同步获取的 RGB 和彩红外影像进行融合、配准等处理,生成高分辨率的真彩色和彩红外影像产品。

3. UCD 数字航摄仪的成像过程

如图 1-10 所示,UCD 系统的 4 个全色镜头沿飞行方向排列,在航摄过程中,当第一个镜头到达目标