

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

摄影测量学基础



主 编 丁 华

副主编 张继帅 李英会 张婷婷 成 遣

非
外
借

清华大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

摄影测量学基础

主 编 丁 华

副主编 张继帅 李英会 张婷婷 成 遣

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是摄影测量学基础教程,从摄影测量基本知识入手,由浅入深系统地介绍了摄影测量学的整个知识体系。全书共10章,主要内容包括摄影测量基础知识、单张像片和双像解析基础、空中三角测量及数字摄影测量基础。本书前6章为解析和模拟摄影测量基础知识,后4章为数字摄影测量的相关内容。

本书为摄影测量学基础教程,书中涉及大量的公式和矩阵运算,测量学基础、平差基础及线性代数为其先修课程,适合测绘及测绘相关专业的本科、专科和高职学生使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量学基础/丁华主编. —北京:清华大学出版社,2018
(普通高等教育“十三五”规划教材 土木工程类系列教材)
ISBN 978-7-302-51424-4

I. ①摄… II. ①丁… 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242155号

责任编辑:秦娜
封面设计:陈国熙
责任校对:赵丽敏
责任印制:董瑾

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:10.75

字 数:262千字

版 次:2018年11月第1版

印 次:2018年11月第1次印刷

定 价:32.00元

产品编号:080546-01

摄影测量学是测绘学科重要的组成部分,经过一百多年的发展,已经从模拟摄影测量发展到了数字摄影测量阶段。最近几十年摄影测量的功能更加强大,应用领域也更加广泛,无人机技术就是目前摄影测量技术应用发展的热点之一。虽然摄影测量新技术在不断发展,但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技术等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,读者需要学习摄影测量学的基础知识。

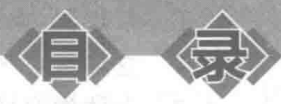
作者从 2004 年开始从事摄影测量学基础的教学工作,有着十几年的教学经验,能够根据教学要求和学生的需要编写教材。本书根据目前摄影测量学的发展,分为摄影测量学基础和数字摄影测量基础两大部分。前 6 章主要介绍传统摄影测量学的基础理论、方法和主要公式,这部分是本书的难点和重点,需要学生循序渐进地学习与研究;后 4 章主要介绍数字摄影测量的相关知识,包括数字高程模型、数字摄影测量基础、正射影像及数字摄影测量系统等内容,主要为适应摄影测量学新技术的发展而学习。

本书在编写过程中邀请奋战在摄影测量学教学一线的老师参与编写,包括张继帅,李英会,张婷婷、成遣、刘玉梅和杨大勇老师。部分学生和老师参与了本书的修改和绘图工作,这里尤其要感谢沈阳建筑大学的刘玉梅教授和 2014 级测绘专业的刘青豪同学。此外本书在编写过程中参考了许多国内外同行的教程和著作,在此向各位原作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有欠缺之处,恳请各位读者多提宝贵意见,我们将在教学中不断充实、完善。

作者

2018 年 5 月



第 1 章 绪论	1
1.1 摄影测量学定义、任务及分类	1
1.2 摄影测量发展的三个阶段及特点	2
1.3 本书主要内容和安排	5
第 2 章 摄影测量基础知识	6
2.1 影像获取	6
2.1.1 航空影像获取	6
2.1.2 遥感影像获取	13
2.2 摄影的基本要求	19
习题	22
第 3 章 单张像片的解析基础	23
3.1 中心投影	23
3.1.1 中心投影与正射投影	23
3.1.2 透视变换中的重要点、线、面	25
3.2 摄影测量中常用的坐标系统	27
3.2.1 像方坐标系	27
3.2.2 物方坐标系	29
3.3 航摄像片的内、外方位元素	30
3.3.1 内方位元素	30
3.3.2 外方位元素	30
3.4 坐标系的转换	33
3.4.1 像点的平面坐标变换	33
3.4.2 像点的空间坐标变换	34
3.5 像点、地面点和投影中心之间的坐标关系	38
3.6 航摄像片的像点位移	40
习题	42
第 4 章 立体观察和模拟摄影测量	43
4.1 人造立体视觉	43
4.1.1 人眼的立体视觉原理	43

4.1.2	人造立体视觉产生的条件	44
4.1.3	人造立体视觉效应	45
4.2	立体像对	46
4.3	立体像对的观测	47
4.4	模拟立体测图	49
4.4.1	模拟立体测图原理	49
4.4.2	模拟立体测图仪	49
	习题	51
第 5 章	双像解析摄影测量	52
5.1	双像解析概述	52
5.2	空间后方交会和空间前方交会	53
5.2.1	空间后方交会	53
5.2.2	空间前方交会	59
5.3	空间后-前方交会求解地面点坐标	62
5.4	解析相对定向和模型的绝对定向	63
5.4.1	解析相对定向	63
5.4.2	模型坐标计算	72
5.4.3	模型的绝对定向	72
5.5	光束法整体求解	75
	习题	77
第 6 章	空中三角测量	78
6.1	解析空中三角测量	78
6.1.1	空中三角测量的概念	78
6.1.2	空中三角测量的分类	78
6.1.3	航带法解析空中三角测量	79
6.1.4	独立模型法区域网空中三角测量	87
6.1.5	光束法区域网空中三角测量	90
6.1.6	三种区域网平差方法的比较	92
6.2	GPS 辅助空中三角测量	93
6.2.1	GPS 简介	93
6.2.2	GPS 辅助空中三角测量基本原理	95
6.2.3	GPS 辅助空中三角测量的作业过程	95
6.3	POS 辅助全自动空中三角测量	97
6.3.1	POS 辅助空中三角系统的组成	97
6.3.2	国外主要的 POS 系统	98
6.4	几种空中三角测量的比较	100
	习题	101

第 7 章 数字地面模型	103
7.1 概述	103
7.2 DEM 数据的获取及预处理	104
7.2.1 DEM 数据的获取	104
7.2.2 DEM 数据预处理	105
7.3 数字高程模型的建立	106
7.4 TIN 数字地面模型	109
7.5 DEM 数据的存储	112
7.6 数字地面模型的应用	115
习题	116
第 8 章 数字摄影测量基础	117
8.1 概述	117
8.2 数字影像与数字影像重采样	118
8.2.1 数字影像的灰度表示	118
8.2.2 采样和量化	119
8.2.3 数字影像的构成	119
8.2.4 影像内定向	120
8.2.5 数字影像重采样	120
8.3 基于灰度的数字影像相关	122
8.4 高精度最小二乘相关	125
8.5 基于物方匹配的 VLL 法	128
8.6 基于特征的影像匹配	130
8.7 核线相关与同名核线的确定	134
习题	137
第 9 章 像片纠正与正射影像技术	139
9.1 正射影像	139
9.2 像片纠正的概念与分类	143
9.3 数字微分纠正	145
习题	148
第 10 章 数字摄影测量系统	149
10.1 数字摄影测量系统的组成	150
10.1.1 硬件组成	150
10.1.2 软件组成	152
10.1.3 数字摄影测量工作站的主要功能	152
10.2 数字摄影测量工作站	154

10.2.1	工作站工作流程	154
10.2.2	国内主要的工作站	155
10.3	数字摄影测量产品	163
	习题	163
	参考文献	164

第1章

绪论

摄影测量学有着悠久的历史,从1839年达盖尔发明摄影术算起,至今已经有170多年历史了。摄影测量从模拟摄影测量开始,现在已经进入数字摄影测量阶段。传统的摄影测量学和遥感是相互结合的,它们共同的特点是在像片上进行量测和解译,无需接触物体本身。但是,随着科学技术的发展,遥感和摄影测量学已经成为测绘科学研究的两个不同方向。当代的摄影测量是传统摄影测量与计算机视觉相结合的产物,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成为摄影测量学发展的主流。

1.1 摄影测量学定义、任务及分类

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。

摄影测量学的任务是测制各种比例尺的地形图(包括影像地图、普通地形图等),建立地形数据库,并为各种地理信息系统和空间信息系统提供基础数据。主要内容包括:利用非接触传感器(如摄影机、红外线传感器等)获取被测物体影像,根据摄影测量的理论、方法,通过对像片的量测、计算、分析,形成地形图、图像、数字以及数字模型等测量成果。

摄影测量学的主要特点是在像片上进行量测和解译,无需接触物体本身,因此很少受自然和地理条件的限制。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,航摄飞机可以拍摄火山口、海面和滑坡山体的照片,对像片进行解译,获得所需要的信息,这在传统测量中是很难实现的。相比传统测量,摄影测量具有无法比拟的优越性,是近几年测绘科学发展的前沿,在国家建设和抗震救灾中发挥越来越大的作用。随着现代航天技术和电子计算机技术的飞速发展,传感技术从可见光的框幅式黑白摄影发展为彩色、彩红外、全景摄影、红外扫描、多光谱扫描、CCD(电荷耦合器件)推行式扫描与数字摄影,以及各种合成孔径侧视雷达等,它们提供了比黑白像片更丰富的影像数据。

摄影测量学可以从不同角度进行分类(图1-1)。按摄影距离远近分类,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,其中航天摄影测量多指位于200km高空以上的高清晰卫星影像测量。按处理技术手段分类,有模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三种,其中数字摄影测量是目前摄影测量发展的主要方向,具

有很好的发展前景。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。按用途分类,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 1-1 摄影测量学分类

1.2 摄影测量发展的三个阶段及特点

摄影测量可划分为三个发展阶段:模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。

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 170 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 年提出并进行了交会摄影测量。由于当时飞机尚未发明,摄影测量的几何交会原理仅限于处理地面的正直摄影,主要用于建筑物摄影测量,而不是地形测量。空中拍摄地面的像片最早于 1858 年,由纳达在气球上获得,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、最快速的方法。我国航空摄影测量始于 1930 年,1949 年新中国成立后进入兴旺发达时期。

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。模拟摄影测量时期,摄影测量工作者们都发自内心地拥护 19 世纪 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烦琐计算的一种技术。”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,由于摄影测量内业的测量设备十分昂贵,一般的测量单位无法开展摄影测量的生产任务,除此之外模拟摄影测量还有成图慢、效率低、操作烦琐、对操作人员要求高等缺点,导致摄影测量难以普及,一定程度上制约了摄影测量的发展。

2. 解析摄影测量

在模拟法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应用的要求。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,我国在20世纪60年代初期也开始了此项工作。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70年代中期解析测图仪才走上实用阶段。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。由于在解析测图仪中引入了半自动化的机组作业,因此,免除了定向的烦琐过程和测图过程中许多手工作业方式,但解析摄影测量和模拟摄影测量都是使用摄影像片,都需要人手动去操纵(或指挥)仪器,同时用眼进行观测,其产品则主要是绘制在纸上的线划地图或印在像纸上的影像图,即模拟产品。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。

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、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Bauschand 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。当时是将像片上的灰度转换成电信号,利用电子技术实现自动化,这种努力经过许多年的发展历程,先后在光学型、机械型或解析型仪器上实施,例如B8-Stereomat、Topocart等。此外也有一些专门采用CRT扫描的自动化摄影测量系统,如UNAMACE、GPM系统。与此同时,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,就属于这种全数字的自动化测图系统。它采用瑞士威尔特公司生产的 STK-1 精密立体坐标仪进行影像数字化,然后用一台 IBM7094 型电子计算机实现摄影测量自动化。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 的开发。从 1996 年至今,数字摄影测量的研究及应用已经步入成熟期,它已能全面取代模拟摄影测量和解析摄影测量技术,广泛地应用于测绘、各类建筑工程、航空航天技术、地质勘测、医学研究等领域。

随着计算机技术及其软件的发展,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、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)。由于数字摄影测量不需要笨重的模拟测图仪,其体积和价格也大幅下降,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,在今天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。

4. 摄影测量学发展三个阶段的特点

由于科学技术的飞速发展,特别是计算机和航空航天技术的飞速发展,摄影测量从早期的低效率模拟摄影测量发展到现代快速成图的数字摄影测量阶段。模拟摄影测量阶段是摄影测量发展的起步阶段,仪器昂贵笨重、生产率低等因素大大制约了摄影测量的发展。20 世纪 70 年代计算机技术的出现,使解析摄影测量逐渐取代模拟摄影测量,这一时期不但为摄影测量的发展打下了坚实的理论基础,也出现了关于全数字摄影测量的构想,是摄影测量发展的重要阶段,20 世纪 90 年代计算机软硬件技术飞速发展,航空航天科技快速崛起,数字摄影测量迅速发展起来,并成为摄影测量发展的主流。数字摄影测量彻底摆脱了模拟摄影测量笨重的仪器,以计算机软、硬件为核心,高效快捷的成图,半自动化的工作模式,使摄影测量在测绘行业中占有越来越重要的地位,目前是测绘成图的主要方式之一。

摄影测量三个阶段的特点见表 1-1。

表 1-1 摄影测量三个阶段的特点

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+作业员操作	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	数字摄影测量系统	自动化操作+ 作业员的干预	数字产品(4D 产品)

1.3 本书主要内容和安排

本书主要介绍摄影测量的基础内容,包括影像信息的获取、信息处理的基本知识和过程。一方面让学生从总体上掌握摄影测量学的基础知识和要点,为后续相关专业的学习打好基础;另一方面介绍了数字摄影测量的相关理论和数字摄影测量工作站的主要操作方法,为学生进一步深造方向的选择提供帮助。

本书共分为10章:第1章为绪论,主要介绍了摄影测量学的定义、任务及摄影测量学的发展概况。第2章为摄影测量基础知识,介绍了影像获取和摄影测量的基本要求;第3~7章是模拟和解析摄影测量的内容,包括中心投影的基础知识、单张像片的解析和双像解析、解析空中三角测量等内容;第8~10章是数字摄影测量的基本内容,除了一些关于数字摄影测量基本概念和理论之外,还对目前国内主要的数字摄影测量系统进行了介绍。

2.1 影像获取

2.1.1 航空影像获取

摄影测量是对物体的影像进行量测与解译,因此首先要对被研究的物体进行摄影,获取被摄物体的影像,为此需要对摄影测量仪器以及摄影的基础知识有一个基本的了解。航空摄影测量主要使用的是专用的航空摄影机,它是一种专门设计的大像幅的摄影机,也称航摄仪。随着数字摄影测量技术的发展,有时也使用普通数码相机。航空摄影机可分为胶片航摄仪和数码航摄仪两种,其中我国最常用的光学胶片航摄仪主要有 RC 型航摄仪和 RMK 航摄仪,而数码航摄仪则根据其成像方式的不同分为框幅式(面阵 CCD)和推扫式(线阵 CCD)两种,此外高精度的遥感卫星影像也可作为数字摄影测量系统的数据源。

1. 光学航摄仪

光学航摄仪是基于胶片的光学模拟摄影机,像幅尺寸多为 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ (也有 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$),主要工作平台为飞机。其一般结构除了与普通摄影机有相同的物镜(镜箱)、光圈、快门、暗箱及检影器等主要部件外,还有座架及其控制系统的各种设备、压平装置,有的还有像移补偿器,以减少像片的压平误差与摄影过程的像移误差。框幅式光学航摄仪的结构图如图 2-1 所示。摄影机按小孔成像原理在小孔处安装一个摄影物镜,在成像处放置感光材料,物体经摄影物镜成像于胶片上,胶片受摄影光线的光化作用后,经摄影处理可取得景物的光学影像。摄影机物镜是由若干个不同曲率半径的透镜组合成的对称式物镜,借以消除或减小像差。

光学航摄仪除了有较高的光学性能、摄影过程的高度自动化外,还有框标装置,即在固定不变的承片框上,四个边的中点各安置一个机械标志——框标。其目的是建立像片的直角框标坐标,两两相对的框标连线成正交,其交点称为像片平面坐标系的原点,从而使摄影的像片上构成直角框标坐标系。新型的摄影机一般在四个角设定四个光学框标来建立像平面坐标系,很多框幅摄影机拍摄的像片既有角框标也有边框标,如图 2-2 所示。由于航空摄影机一般都具有框标装置,因此又被称为量测摄影机,其内方位元素是已知的。

光学航摄仪中组成物镜的各个透镜的光学中心位于同一直线上,这条直线 LL 称为主光轴,如图 2-3 所示。物体的投射光线经过透镜界面逐次折射后取得折射光线。若以平面 $Q、Q'$ 来等价物镜组,则平面 $Q、Q'$ 将空间分为两个部分,物体所处的空间称物方空间,构像

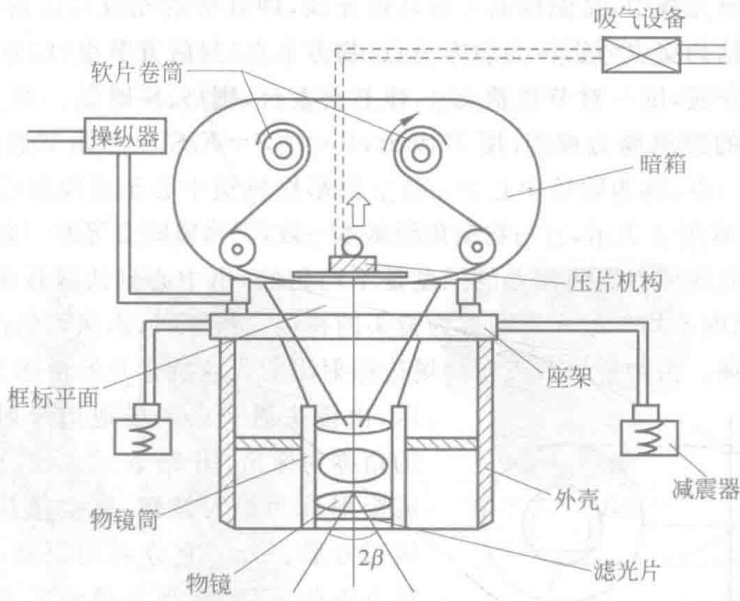


图 2-1 框幅式光学航摄仪结构图

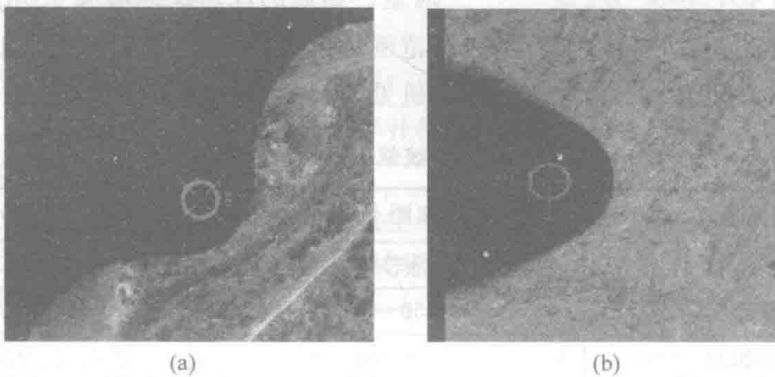


图 2-2 角框标(a)和边框标(b)

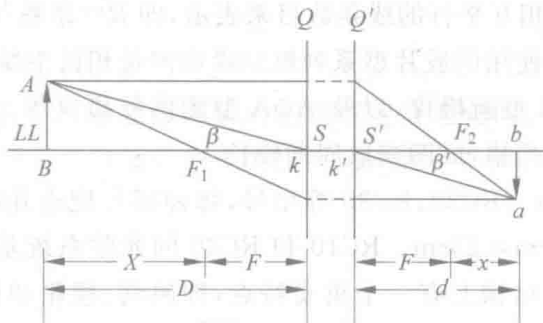


图 2-3 摄影物镜成像及物镜光轴主点、节点、焦点示意图

所处的空间称像方空间,因此平面 Q 、 Q' 相应地称为物方主平面和像方主平面。平面 Q 、 Q' 与主光轴的交点 S 、 S' 相应地称为物方主点和像方主点。平行于主光轴的投射光线通过物镜折射后与主光轴交于 F_2 , 称 F_2 为像方焦点; 若与主光轴斜交于 F_1 的投射光线经物镜折射后与主光轴平行, 称 F_1 为物方焦点。过焦点垂直于主光轴的平面称为焦平面。在所有

的投射光线与折射光线中,总能找到一对共轭光线,即其折射光线与投射光线方向一致,该共轭光线与主光轴的交点分别称为前方节点(物方节点)与后方节点(像方节点)。若物方空间与像方空间同介质,则一对节点恰与一对主点重合,则 S, S' 既是一对主点,又是一对节点。节点至焦点的距离称为焦距,用 F 表示, $F = F_1 S = F_2 S'$ 。因两节点的距离很小,通常把两个节点看作一点,称为物镜中心 S 。航空摄影机物镜中心至成像面的距离是固定值,称为摄影机主距,通常用 f 表示,它与物镜焦距基本一致,因物镜畸变等原因而仅有少许差异。

通过透镜的光线照射到焦面上的照度是不均匀的,由中心到边缘逐渐降低。光线通过物镜后,焦面上照度不均匀的光亮圆称为镜头的视场。摄影时,影像相当清晰的一部分视场内光亮圆称为像场。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,用 2α 表示,

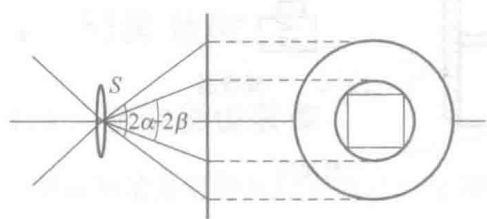


图 2-4 物镜的像角及像幅尺寸

由镜头后节点向场地边缘射出的光线所张开的角称为像角,用 2β 表示。像场内,圆内接正方形或矩形称为最大像幅,航摄像片的像幅均为圆内接正方形。为了充分利用像幅,也常用像场外切正方形作为像幅,虽然像幅的四个角落在像场以外,但是四角仅为航摄仪的标志,并不影响影像的质量。物镜的像角及像幅尺寸如图 2-4 所示。

在焦距相同的条件下,像角越大,摄影范围也越大;同样,在像幅尺寸相同条件下,上述结论也成立。按焦距或像场角分类的摄影机见表 2-1。

表 2-1 传统航空摄影机分类

摄影机分类	焦距/mm	像场角/(°)
短焦距摄影机	<150	>100(特宽)
中焦距摄影机	150~300	70~100(宽角)
长焦距摄影机	>300	≤70(常角)

另外,镜头的分辨率表示镜头对被摄物体微小细节的分辨能力,分辨率的大小用焦面上 1mm 宽度内能清晰识别相互平行的线条数目来表示,即 $R = \text{条数}/\text{mm}$ 。

中国航摄仪生产中,使用的胶片型系列航空摄影测量相机主要是由国外引进的,产品类型有 RC 型航摄仪、RMK 型航摄仪,以及 $\Delta\Phi A$ 型测图航摄仪等。它们的特点是满足精度要求,气象保障条件要求严格,成图获取周期较长。

RC 型航摄仪有 RC10、RC20、RC30 等型号,每种型号配有几种不同焦距的物镜筒(可改变主距),像幅均为 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 。RC10 和 RC20 的光学系统基本相同,RC20 具有像移补偿装置。RC 航摄仪在结构上有一个重要特点,即座驾、镜箱和控制器都是基本部件,但是镜箱体不包括摄影物镜,暗匣和物镜筒都是可以替换的,因此 RC 型航摄仪的暗匣对每一种型号而言都是通用的。新一代的 RC30 航摄仪系统由 RC30 航摄仪、陀螺稳定平台和飞行管理系统组成,具有像移补偿装置和自动曝光控制设备,并具有导航 GPS 数据接口,可进行 GPS 辅助的航空摄影,因此其航摄性能远远高于 RC10 和 RC20,具体结构如图 2-5 所示。

RMK 型航摄仪有 5 个不同焦距的摄影物镜,像幅均为 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 。RMK 型航摄仪的摄影物镜固定在镜箱体上,而压平板设置在暗匣上,因此要进行像移补偿航空摄影时,必

须具有特殊的 RMK-CC24 像移补偿暗匣装置。常用的 RMK-TOP 型航摄仪是在 RMK 基础上改进成具有陀螺稳定装置的航摄仪,该航摄仪具有高质量的物镜和内置滤光镜,像位补偿装置及陀螺稳定平台可以对图像质量进行补偿,自动曝光装置采用图像质量优先,并提供 GPS 航摄仪导航系统,如图 2-6 所示。RC30 和 RMK-TOP 是目前航摄主要使用的光学航摄仪。

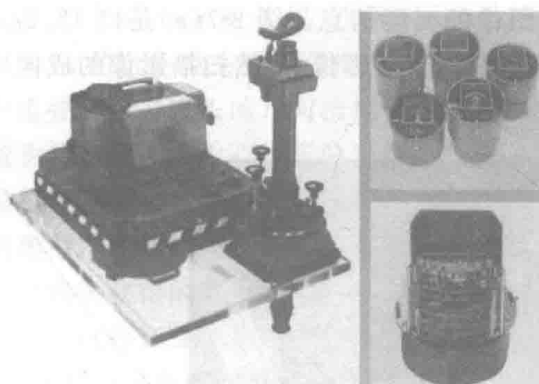


图 2-5 RC30 型光学航摄仪



图 2-6 RMK-TOP 型航摄仪

航摄仪的辅助设备是航摄仪重要组成部分,可以提高航摄的精度,减少航摄误差。航摄仪的辅助设备主要包括航摄滤光片、影像位移补偿装置、航摄仪自动曝光系统等。

1) 航摄滤光片

为了尽可能消除空中雾霾的影响,提高航空景物的反差,航空摄影时一般都需要附加滤光片。航摄滤光片除了具有消除或减弱某一波谱带的作用外,还具有对焦平面上的照度分布不均匀进行补偿的作用。

2) 影像位移补偿装置

航空摄影测量时,由于飞机的飞行速度很快,在航摄仪成像面上的地物构象将沿着航线方向产生移动,从而导致影像模糊。为了补偿影像位移的影响,在测图航摄仪中需要增加像移补偿装置。

3) 航摄仪自动曝光系统

为了获得满意的影像质量,航空摄影必须正确测定曝光时间。现代航摄仪都装备有自动测光系统,通过安装在摄影机物镜旁的光敏探测元件测定景物的亮度,并根据安置的航摄胶片感光度,自动调整光圈或曝光时间。

2. 数字航摄仪

随着计算机和 CCD 技术的发展,国际上出现了直接获取数字影像的测量型数字航摄仪(如 DMC、UltraCAM、ADS40/ADS80 等),可同时获取黑白、天然彩色及彩红外数字影像,具有无需胶片、免冲洗、免扫描等特点,减少了传统光学航摄获取影像的多个环节。采用数字航摄仪获取航空影像信息已经迅速成为摄影测量主要的信息获取手段。

CCD 是英文 charge coupled device 的缩写,意为电荷耦合器件。在数字航摄仪中,CCD 传感器的作用相当于航空胶片,它能记录光线的变化,即负责感受镜头捕捉的光线以形成数