

全国土地管理统编教材

(岗位培训参考丛书)

航空摄影测量与 遥感应用技术

HANGKONG SHEYING CELIANG YU
YAOGAN YINGYONG JISHU



中国大地出版社

国土资源部人教司审定
全国土地管理统编教材
(岗位培训参考丛书)

航空摄影测量与遥感 应用技术

主 编 李玉潮
副主编 陈炳荣

编 写 薛雁明 李玉潮
魏永恒 陈炳荣
尚国旗 李志强

中国大地出版社
1999年7月·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

航空摄影测量与遥感应用技术/李玉潮主编. -北京:

中国大地出版社, 1999. 7

ISBN 7-80097-324-7

I. 航… II. 李… III. ①航空摄影测量-专业学校-教材

②遥感技术-应用-专业学校-教材 IV. P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 33128 号

出版发行: 中国大地出版社

(北京市海淀区大柳树路 19 号 100081)

责任编辑: 马文晓

电话: 010-62172711 (编辑部)

010-62183493 (发行部)

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京市长阳印刷厂

版次: 1999 年 7 月第 1 版

印次: 2000 年 8 月北京第 2 次印刷

开本: 787×1092 1/16 字数: 219 千字

印张: 9.375 印数: 5001-8000 册

书号: ISBN 7-80097-324-7/G·50

定价: 12.50 元

大地版图书印、装错误可随时退换

全国土地管理教材统编 委员会组成

主任：周乃平（中国大地出版社总编辑）

副主任：韩桐魁（华中农业大学教授、博士生导师）

谢经荣（中国人民大学教授、土地管理系主任）

委员：（按姓氏笔划排列）

王双进	王汉民	茆书斌	张广城	张志勇
陈殿元	徐汝琦	戚昌树	彭捌金	魏普森

出版说明

国土资源部的成立以及新土地管理法的颁布与实施，使我国土地管理事业进入一个新的发展阶段。

新的形势对我国土地管理专业教育提出新的要求。一方面，我国土地管理专业教育基础尚为薄弱，要求进一步加大力度，全方位、多层次普及多种形式的教育；另一方面，保护耕地形势的严峻性和迫切性，要求我们“短、平、快”地加快培养各类人才。正是在这种大背景下，经国土资源部人教司批准，我社统一策划和组织编写了这套教材。统编工作得到了全国20多所院、校的热烈响应和支持，30多名代表承担了编写工作。

新编教材根据专业教育的要求和能力教育体系的特点，力争做到教学目标明确，最大程度地调动学生的积极性和创造性。内容按照够用、适用、实用的原则进行选择安排，以当前正在实施的法律为依据，以普遍使用的技术方法和先进经验为重点，打破了一般教材的传统模式。

由于时间紧，任务重，新编教材尚有许多不足之处，需要不断改进、不断完善，诚望各界提出批评和帮助，以使这套教材在培养我国国土资源管理专业人才的工作中发挥更大的作用。

前 言

为更好地满足全国土地管理专业教育改革与发展的需要，结合 1999 年 1 月 1 日施行的新《中华人民共和国土地管理法》的具体规定，根据国土资源部中国大地出版社 1999 年 3 月在北京召开的“全国土地管理教材统编工作会议”精神，我们重新组织编写了《航空摄影测量与遥感应用技术》书。

本教材作为土地管理专业的专业基础课教材，考虑到使用本教材学校的教学现状，对航测与遥感技术在该专业中的调绘和航测内业成图方法只作简单介绍；遥感基本知识部分亦侧重于在土地管理中的应用。

由于全国各地土地管理部门对航测和遥感技术的应用情况存在一定差异，各学校教学条件也不尽相同，在使用本教材时，可根据具体情况作些补充或删减。

本教材共计九章，第一、三章由国家测绘局郑州测绘学校李玉潮同志编写，第二、四章由该校薛雁明同志编写，第五章由安徽省土地管理学校魏永恒同志编写，第六章由江苏省扬州农业学校陈炳荣同志编写，第七章由国家测绘郑州测绘学校尚国旗同志编写，第八、九章由湖南省郴州农业学校李志强同志编写。

本教材请中国农业大学副教授丁匡衡审阅，并提出宝贵意见，在此深表谢意。

由于编者水平有限，加之时间仓促，错误与疏漏在所难免，敬请广大读者批评指出。

编 者
1999 年 6 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 航空摄影测量的简要测图过程及摄影测量的发展	(2)
第二章 摄影与航空摄影基础知识	(5)
第一节 航摄机的基本结构及镜头特性	(5)
第二节 感光材料及其基本特性	(12)
第三节 航空摄影及航测成图对航摄资料的质量要求	(17)
实作练习:对航片的初步认识	(27)
第三章 航空摄影测量基础知识	(30)
第一节 投影几何的基本知识	(30)
第二节 航摄像片的内、外方位元素	(34)
第三节 像点坐标变换关系式	(36)
第四节 航摄像片的像点位移和方向偏差	(39)
第五节 航摄像片与地形图的区别	(43)
第六节 立体像对与立体观察	(45)
实作练习:立体像对的立体观察	(48)
第四章 像片控制测量	(50)
第一节 像片控制测量对大地控制点的要求	(50)
第二节 对像片控制点点位的基本要求及地面标志的布设	(50)
第三节 航外控制测量的布点方案	(53)
第四节 航外控制测量的实施	(56)
第五章 像片调绘	(69)
第一节 像片判读的基础知识	(69)
第二节 像片调绘的基础知识	(80)
第三节 各类地形元素的调绘	(85)
第四节 航测外业成果的检查与验收	(90)
实作练习(一)航摄像片的实地判读与调绘	(90)
实作练习(二)新增地物的补测	(91)
第六章 像片纠正与像片平面图的编制	(92)
第一节 航摄像片纠正	(92)
第二节 像片平面图的编制	(98)
第三节 正射投影技术与影像地图	(102)

第七章 航空摄影测量内业立体测图简介	(104)
第一节 模拟法测图	(104)
第二节 解析法测图	(109)
第三节 数字摄影测量	(113)
第八章 遥感技术基础知识	(119)
第一节 概述	(119)
第二节 遥感的物理基础	(121)
第三节 红外遥感技术	(126)
第四节 多光谱遥感技术	(127)
第九章 遥感技术在土地管理中的应用	(132)
第一节 遥感技术在土地资源调查中的应用	(132)
第二节 遥感技术在土地资源监测中的应用	(135)
第三节 航空摄影测量在城市地籍调查中的应用	(137)
实作练习:利用航片分析城镇建设用地扩展情况	(140)
参考文献	(141)

第一章 绪论

第一节 概述

一、摄影测量

测制地形图有两种方法,一种是平板仪测量,另一种是摄影测量。摄影测量已经发展成为当前最具现代化特征的一种地形图测图技术,航空摄影测量则是摄影测量重要的组成部分。

摄影测量:是研究利用摄影获得的目标物影像信息以确定其形状、大小和空间位置的一门学科。

进行摄影测量首先必须通过摄影获取物体的影像信息,然后对影像进行分析、判识、观测、计算,并以测图仪器测制地形图或等值线图获取各种测绘成果。因此摄影像片(或数字摄影成果)是进行摄影测量十分重要的基础资料。

进行摄影测量,被摄物体可以是地球表面或其他星球表面,其摄影像片主要用于测制地形图,称为地形摄影测量;也可以是非地形物体,例如:各种建筑物体、生物体、机械结构物体,以及其他各种动态或非动态目标物等,其摄影像片主要用于测制等值线图或提供其他所需的数据,称为非地形摄影测量。

进行摄影时,摄影平台(即摄影机位置)可以在地面、水下或空中。将摄影经纬仪安置在地面上,对目标物进行摄影,根据摄影像片进行量测,获取所需要的测绘成果,称为地面摄影测量。将摄影机安置在空中或水下对水下物体进行摄影,根据摄影像片进行量测,获取所需要的测绘成果,称为水下摄影测量。从人造地球卫星、宇宙飞船等航天飞行器上对地面进行摄影(又称为遥感),根据获取的图像信息或数据进行分析、判识和几何处理,测制地形图或提供地球资源、地球环境保护和军事情报等方面的信息,称为航天摄影测量。

二、航空摄影测量

航空摄影测量是当代摄影测量中采用最多的一种方式。与平板仪测图比较,采用航空摄影测量测制地形图不仅速度快、成本低,机械化、电子化程度高,作业条件得到很大改善,而且图面精度也比平板仪测图高。航测成图方法不仅是我国测制国家基本比例尺地形图的主要方法,而且逐渐扩展到 1:2000、1:1000 和 1:500 大比例尺地形图测图范围,成为工程测量、地籍测量测图的重要方法。

平板仪测量即常规地形测量,是在实地直接对地物、地形进行量测获取地形图;而航空摄影测量则主要利用航空摄影像片在室内进行量测获取地形图。两者之间在原理和方法上均有根本区别。但这并不是说航空摄影测量与常规地形测量之间再无任何联系,恰恰相反,在整个成图过程中,它们之间还有许多共同之处。应该说,航空摄影测量是在常规地形测量基础上发展起来的一门现代测量技术;没有牢固的常规地形测量知识,就不可能学习好航空

摄影测量。在航空摄影测量学习中常用到的地形测量知识有：

- (一)坐标和高程系统概念；
- (二)图幅的分幅、编号；
- (三)图根控制点的联测方法及各项要求；
- (四)各种地形测图仪器的正确使用；
- (五)地貌的测绘方法与等高线的基本原理；
- (六)地物的综合取舍原则及图式符号的运用；
- (七)地形原图的整饰。

这些内容一般不再重复,但在学习本课程时应注意复习这些内容。

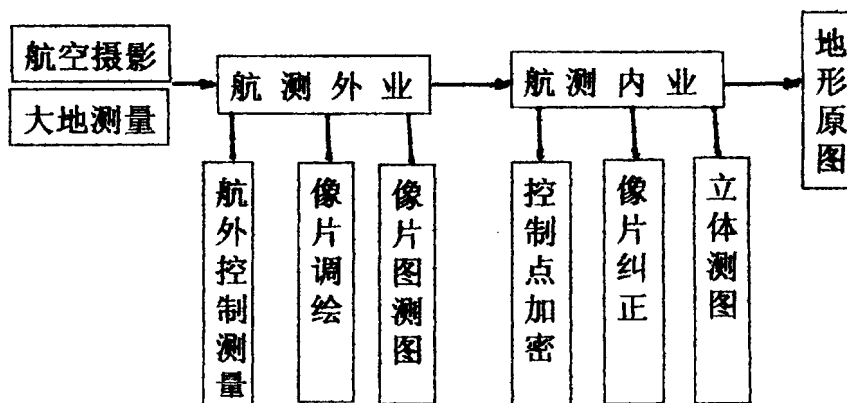
航空摄影测量的基本原理是利用航空摄影像片提供的影像信息测制地形图,并研究实现这一测图过程的基本理论、仪器设备、操作技术和精度要求等内容。地物部分一般采用根据像片影像与实地对照进行描绘的方法确定;地貌部分,其平面位置仍以影像位置确定,高程的确定(包括等高线和高程注记点),则是在立体模型上测绘,或采用平板仪测图方法在实地测绘。

显然,根据像片影像确定地物、地貌点的平面位置和高程位置,就必须确定摄影瞬间像片在地面坐标系中的空间位置,在实地测定一定数量的像片控制点,恢复摄影瞬间像点与相应地面点之间的几何关系,这一过程称为像片控制测量和像片定向。像片定向后即可在立体模型上测绘地物、地貌,最终获得地形原图。

第二节 航空摄影测量的简要测图过程及摄影测量的发展

一、航空摄影测量的简要过程

航空摄影测量的简要测图过程可用图(1-2-1)表示,对图中所示测图过程中的各项内容将在以后各章中讲述,这里暂作简要介绍:



图(1-2-1) 航空摄影测量过程

(一)航空摄影:由各民航或航空公司的专用航摄飞机进行摄影,即在飞机上安装摄影机对地面进行摄影,获取航空摄影测量像片和有关资料,供航测成图使用。

(二)大地测量:测设各级各类大地点(三角点、水准点、导线点)以及满足一定精度要求的其它基础控制点,为航测成图提供起算数据。

(三)航测外业:指到实地进行部分野外航测工作。主要包括以下内容:

1. 航外控制测量:按规定位置在像片上选取一定数量的明显地物点(称为像片控制点),根据大地点或其它基础控制点,在实地采用常规地形测量方法测出这些点的平面坐标和高程,供航测内业加密或测图使用。

2. 像片调绘:根据航摄像片提供的影像特征,对照实地对代表各种地物、地貌的影像进行识别、调查和必要的量测注记,并按规定进行综合取舍,然后根据像片影像位置用规定的图示符号着墨整饰,供内业使用。

3. 像片测图:航摄像片经内业处理后可以获得具有正射影像性质的像片影像,称为像片图。以像片图作为底图,代替平板仪测图的图纸,直接在实地进行测图,即在实地测绘地貌,地物部分则根据像片影像以像片调绘的方法描绘。这种方法主要用于平坦地区,也称为综合法测图。

(四)航测内业:指在取得全部所需的野外成果后,应该继续在室内进行的测绘工作。主要包括以下内容:

1. 控制点加密:即在室内精确测定像点的像片坐标,利用像点与相应地面点之间的几何关系,建立严密的数学关系式,用计算机解算出与这些像点相应的地面点的坐标和高程,增加像片控制点的分布密度,以满足内业测图或制作像片平面图的需要。采用这种方法,外业只须测定少量像片控制点,内业所需的大部分像片控制点均可由内业测定,从而大大减少了外业工作量。

2. 像片纠正:利用纠正仪,根据摄影过程的几何反转原理,恢复摄影瞬间航摄底片的空间位置和姿态重新投影,以消除因像片倾斜所引起的像点误差,然后将投影影像按规定比例尺晒印出像片,即像片图,为像片图测图提供图底。

3. 立体测图:即利用航摄像片根据像对内部的几何关系在立体测图仪器上建立光学立体模型(模拟法测图)或数字立体模型(数字测图),通过对立体模型的量测或计算机的解算,可在模型上测绘地物、地貌,获得各种比例尺的地形原图。

综上所述,航测成图方法一般可分为两种,即综合法测图(简称综合法)和立体测图仪测图(简称立体法)。综合法主要是指固定比例尺像片图测图,由于在测图过程中采用了航空摄影测量与常规地形测量相结合的测图方式,故称综合法。立体法主要是指在各种立体测图仪上,根据航摄像片所建立的立体模型测绘地形图的方法。

二、摄影测量的发展

随着科学技术的发展和计算机技术的发展和广泛应用,传统的测量技术正在受到巨大的挑战,从数据的采集到数据的处理以及最终的测量结果,都在向数字化方向发展。

传统的航空摄影测量技术也受到很大的冲击。目前的摄影技术除了可以对像片进行扫描将其转换成数字影像数据外,也可利用数字摄影技术直接获取目标物的数字信息。传统的航空摄影测量内业处理方法也正在逐步为计算机直接处理数字影像数据所代替,摄影测

量的最终成果也不再只是纸质地形图,而是以数字形式存储于计算机里或其它介质里的数据信息。它的形式可以是数字高程模型(DEM - Digital Orthophoto Map),可以是数字正射影像(DOM - Digital Elevation Model),可以是数字栅格地图(DRG - Digital Raster Graphic)或数字线划地图(DLG - Digital Line Graphic)等。同时也是地籍管理数据的最佳载体。

摄影测量的应用领域也在不断地扩大,测量地形图仅是它的任务之一。其它用途如对目标物的动态监测,即在需要进行监测的地方架设摄影仪器,对目标物进行观测并将数据及时传输给计算机进行处理,随时得到目标物的信息数据,为决策者提供决策依据;用布设地面标志点的大比例尺航空摄影像片可以得到满足地籍测量精度要求的界址点坐标;我国地理信息系统的建立,航测成果是重要的数据源之一;影像信息对地面的大面积监测,如在扑灭森林大火、战胜洪涝灾害、监测农业林业病虫害等方面也在越来越多地显示出重要性。军事方面的应用,在美国对伊拉克实施的“沙漠风暴”行动中得到了充分展示。美国利用卫星摄影影像数据,经过快速处理与传输,可在半小时之内向美国国防部提供战场详细战况,供指挥员参考使用。

全数字化摄影测量系统经过我国测绘工作者两代人十多年的努力,现在已经研制成功,并在我国许多测绘单位投入使用。全数字化摄影测量系统充分利用现代计算机对测量数据的高速处理能力,采用自动化数字相关技术,作业过程无需人工干预或很少人工干预,有相当强的自动化作业能力和很快的作业速度,工作效率大大提高,作业人员劳动强度大大减小,且可最大限度地避免人为错误的出现。对于全数字化摄影测量系统将在本教材第七章予以介绍。

第二章 摄影与航空摄影基础知识

根据光线通过透镜聚结成像的原理,以及感光材料感光后能记录被摄物体的影像的特性,经拍摄、显影、定影、水洗、干燥及晒印等处理获得景物像片的全过程,称为摄影。

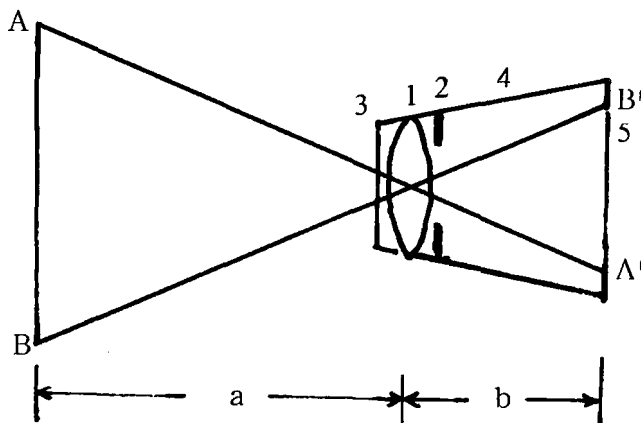
摄影学是在物理、化学、机械制造、电子技术等学科的基础上发展起来的一门科学,它已有一百多年的发展历史。最初的摄影仅能获得物体的黑白影像,后来出现了红、绿、兰光三层乳剂的感光材料,不但能摄得景物的形状,而且能反映出它的颜色,这就提高了影像的使用价值。目前已从可见光摄影发展到了红外摄影、多光谱摄影和多光谱扫描阶段。各种不同方式的摄影,已构成了人们日常生活、社会工作、科学研究等不可缺少的一个重要方面。

航摄像片是航空摄影测量必须具备的基础资料。虽然航空摄影与普通摄影有着不同的目的和要求,但其摄影原理和过程是基本相同的。因此学习航空摄影这部分内容之前,首先必须了解普通摄影方面的基础知识。

第一节 摄影机的基本结构及镜头特性

一、摄影机的基本结构和作用

摄影机是使被摄物体在感光材料上构成影像的工具。尽管摄影机的种类很多,结构繁简差别较大,形式也各不相同,但不论是最新式的或古老型的,其基本结构大致相同,它们都有共同的基本部件及相应的作用。这些部件为:镜头、光圈、快门、暗箱和检影器。



图(2-1-1) 摄影机结构示意图

(一)镜头(也称物镜):图(2-1-1)中1为镜头,一般是由一透镜组所组成。它的作用是聚集被摄物体AB反射的光线,使之在检影器上构成光学影像A'B'。物体和影像到镜头的距离满足透镜成像公式。

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (2-1-1)$$

式中 f 为物镜的焦距(镜头中心到焦点的距离); a 为物距,即物体到镜头中心的距离; b 为像距,即影像到镜头中心的距离。

(二)光圈:图中 2 为光圈,是一个孔径大小可以改变的圆圈,其位置一般处于镜头的透镜组之间,其作用是控制镜头使用面积的大小,以调整进入暗箱光线的多少。摄影时要根据景物亮度的大小来调整光圈的大小。

(三)快门:图中 3 为快门,它是控制是否让光线进入镜头的闸门。调焦时,要将快门打开,让光线进入,调焦以后,要将快门关上,把感光材料装在检影器的位置上,然后再打开快门即称为曝光。曝光以后再关上快门,快门从打开到关闭所经过的时间称为曝光时间。最简单的快门是一个镜罩,但由于对运动物体的拍摄,要求曝光时间很短,所以,目前摄影机的快门都是由借助弹簧的张弛来开合的金属叶片组成,曝光时间可以很短。

(四)镜箱(也称暗箱):镜箱(图中 4)一方面连接镜头和检影器,另一方面防止未经过镜头的光线直接到达感光材料上而破坏物镜的构像。

(五)检影器:检影器(图中 5)是一块毛玻璃。根据摄影成像原理可知,只有当物距 a 、像距 b 和焦距 f 三者满足(2-1-1)式时,检影器上的影像才是清晰的。摄影时不断移动镜头使其前后伸缩,就是调整像距 b ,直到检影器毛玻璃上的像清晰为止,这一步即是上面所说的调焦或称为对光。由于被摄物体的范围可以从检影器上看出,所以,检影器又叫取景器。

二、普通摄影机与航摄仪

(一)普通摄影机

为了使人们日常使用的摄影机同专门用途使用的专用摄影机有所区别,通常把前者称为普通摄影机。

由于普通摄影机使用 120 和 135 两种代号的胶卷,因此,人们习惯地称使用某种代号胶卷的摄影机为 120 摄影机或 135 摄影机,这样就使普通摄影机很自然地分成两类,如图(2-1-2),(2-1-3)所示 120 胶卷宽 6cm,长 82cm,每卷能摄取 $6 \times 6\text{cm}^2$ 像幅的照片 12 张,也可摄取 $4.5 \times 6\text{cm}^2$ 像幅的照片 16 张。135 胶卷宽 3.5cm,长 160cm 每卷能摄取 $2.4 \times 3.6\text{cm}^2$ 像幅的照片 36 张。

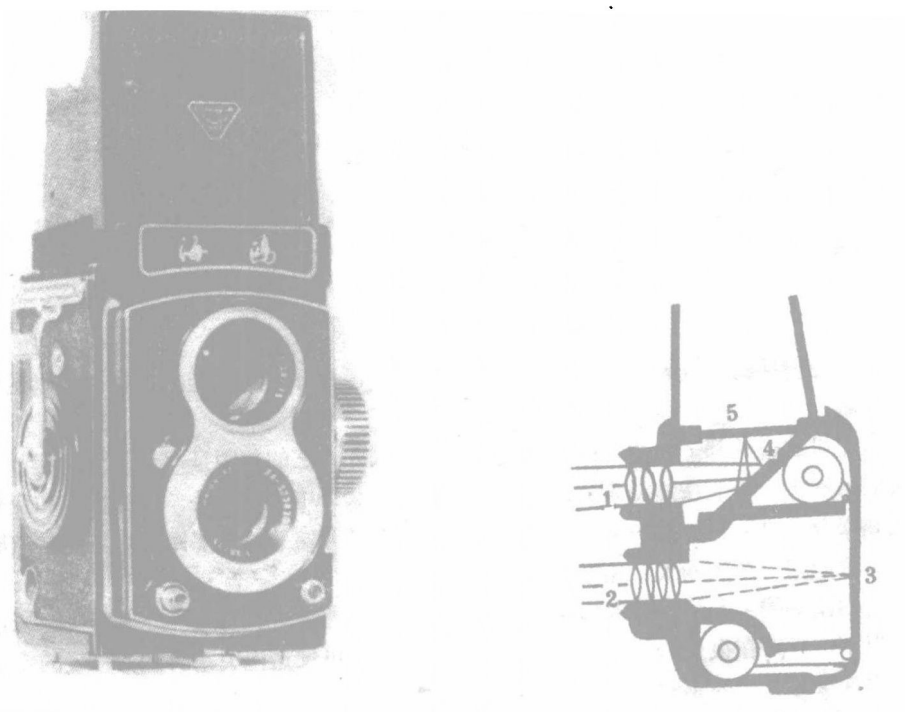
(二)航摄仪

航摄仪的基本结构如图(2-1-4)所示。它的主要部分是由外壳和镜筒组成,在物镜的焦面上有一贴附框,它带有四个框标标记,故又称为框标平面。

框标,是指在贴附框上人为设置的一种标记,它能在摄影时随被摄物体在航摄像片上成像。框标有很重要的作用,在摄影测量中,它常用于像片平面坐标系的建立;同时又可用于对感光材料变形引起的像点误差进行改正。

航摄仪不同于一般照相机,它一方面要适合于空中摄影的特殊条件,另一方面又要能满足摄影测量的要求:

1. 摄影仪镜头的分解力必须很高,像差要校正得好,特别是要使畸变差降低到最小值,从而为摄影测量提供影像清晰、几何特性精确的像片。



图(2-1-2) 120 摄影机及光路示意图

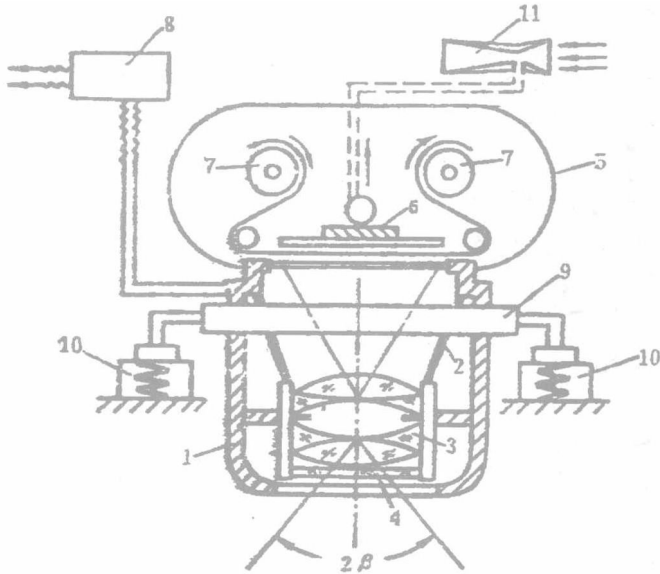


图(2-1-3) 135 摄影机

2. 为防止飞机的震动而引起不许可的影像模糊,航摄仪应安放在具有良好减震作用的座架内。

3. 因航摄时地物成像在镜头的焦平面上,所以航摄仪的像平面固定在相机的贴附框平面上,故在摄影时相机内的压平装置应使航摄软片在曝光瞬间完全吻合在贴附框平面上。

4. 为便于在动态的摄影条件下对航摄仪进行精确的操纵,应有一套能操纵航摄仪自动工作的控制装置。



图(2-1-4) 航摄仪结构示意图

三、摄影机镜头的特性

镜头是摄影机的重要部件,它使物体发来的光线聚集在像面上构成光学影像。摄影机镜头的光学质量直接决定构成影像的优劣,以下对摄影机镜头的主要特性作一叙述,这些特性是焦距、相对孔径、视场角和象场角、分解力和景深。

(一)镜头的焦距

平行于主光轴的光线通过物镜后相交于主光轴上一点,该点为此物镜的焦点,焦点到镜头中心的距离称为焦距,记为 f 。

摄影机镜头是由两个以上的透镜所构成的、并能使被摄物体在承影面上形成实像的光学系统。物镜的焦距是指镜头的组合焦距,如由两个薄透镜组成的透镜组,其组合焦距为:

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (2-1-2)$$

式中 f_1 、 f_2 分别为两薄透镜的焦距、 d 是两透镜主平面之间的距离。由一透镜组构成的摄影机镜头,其作用仍相当于一个凸透镜。为讨论问题方便起见,以后都以单凸透镜来代替摄影机物镜。

按焦距值的大小镜头可分为长焦镜头、中长焦镜头、短焦镜头和变焦镜头。变焦镜头主要依靠镜头里一组或几组透镜的移动,可以连续改变镜头焦距的长短,从而在物距不变的条件下改变成像大小,提高了使用效能。

物镜焦距长短直接影响着构像的大小。如在同一位置使用两个不同焦距的摄影机对同一物体进行拍摄,如图(2-1-5),则构像大小不同。

由(2-1-1)式得:

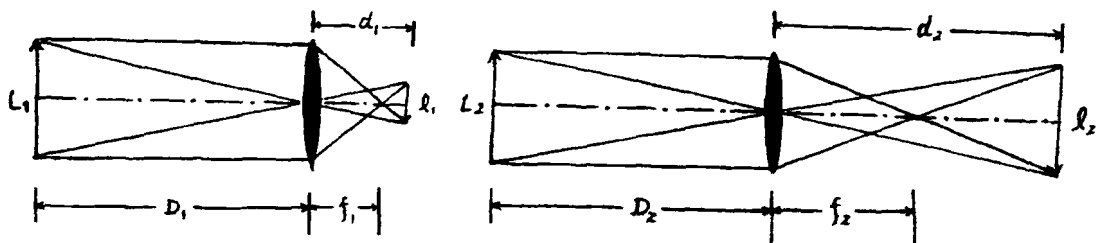
$$b = \frac{af}{a-f}$$

若 $f_2 > f_1$, 则当物距相等时, $b_2 > b_1$ 。

而影像长度 l_2 与 l_1 之比为:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{b_2}{b_1} \quad \text{故 } l_2 > l_1$$

像长度 l 与物长度 L 之比为摄影比例尺, 以 $1/m$ 表示



图(2-1-5) 不同焦距的构像大小

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{b}{a}$$

当物距 a 很大时, $b \approx f$, 则有

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{a}$$

在航空摄影时, 物距为飞机的航高 H , 故航摄像片的比例尺为

$$1/m = f/H \quad (2-1-3)$$

显然, H 固定不变的情况下, f 愈长, 像片比例尺愈大, 反之则小。

注意: 焦距与主距是两个概念。摄影机的主距是指像平面到镜头中心的距离, 记为 f_k , $f_k \approx f$ 。

(二) 光圈和相对孔径

光圈是摄影机镜头中的一个光栏, 它是由许多弧形金属薄片组成, 设置在物镜的两个透镜组之间, 其孔径大小可以根据摄影需要进行调节。光圈的主要作用是调节进入物镜的光通量, 也就是说, 可以根据被摄景物的亮度及光照强弱, 适当选择光圈的大小。同时, 光圈也可以限制物镜的使用面积, 减少各种像差的影响, 提高成像的清晰度, 改变景深的范围等。

如图(2-1-6)所示, D 为光圈的光孔直径。现有一束平行于主光轴的光线投向物镜, 通过透镜 S 后, 受到光圈 I 的阻拦。这时 A 、 B 以外的光线均不能参加构像, 好似镜头前面还有另外一个孔径为 d 的光圈 II 在限制着进入物镜的光束大小。我们称这个不存在的光圈 II 的孔径 d 为有效孔径。

物镜的有效孔径与其焦距之比称为相对孔径, 即: 相对孔径 = d/f 。

当光圈完全张开时, 根据相应有效孔径 d 计算得到的相对孔径称为最大相对孔径。

一般情况下, 摄影机均将最大相对孔径的数值以分子为 1 的形式标式在物镜框上。

物镜的最大相对孔径数值, 除了可以表示物镜焦面上产生光学影像亮度的能力外, 还在