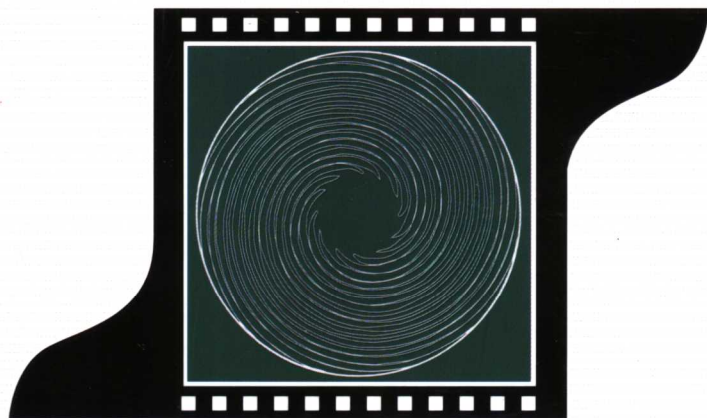


21世纪高等学校规划教材

摄影测量学



林君建 苍桂华 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等学校规划教材

摄影测量学

林君建 苍桂华 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据摄影测量学的发展现状,结合编者多年的教学经验,系统地阐述了摄影测量学的基本概念、基本理论和最新的数字影像测图技术。全书共分10章,第1、第2章主要介绍摄影测量学的任务和摄影的基本知识;第3、第4、第5章主要介绍单张航摄像片解析和双像摄影测量的基本概念和基本理论;第7、第8章主要介绍数字地面模型和数字摄影测量的理论和方法;第9、第10章主要介绍摄影测量的外业工作和近景摄影测量的基本知识。

本书可作为测绘专业、地理信息系统专业和其他相关专业的本科教材,也可供测绘工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量学 / 林君建, 苍桂华主编. —北京: 国防工业出版社, 2006.2
21世纪高等学校规划教材
ISBN 7-118-04303-6

I. 摄... II. ①林...②苍... III. 摄影测量法—高等学校—教材 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 156673 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 296 千字

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

摄影测量学是测绘学的一门分支学科,广泛应用于地形测绘、资源调查、灾害监测、城市规划、地理信息系统基础数据获取和数字化城市建设等领域。当前,数字摄影测量已取代传统的模拟摄影测量和解析摄影测量,成为主流的生产作业方式;一些高校的地理信息系统等专业也相继开设了摄影测量学课程。然而,高校的摄影测量学教材建设却相对滞后,缺少既反映当代摄影测量发展现状,又注重摄影测量基本概念和基本理论,适合教师教学和学生自学的本科教材。为此我们编写了这本教材。

本书由南京工业大学林君建、苍桂华、董有福编写,其中第1、3、5、6、8章由林君建编写,第2、7、9、10章由苍桂华编写,第4章由董有福编写。全书由林君建统稿。书中部分插图和公式由严峰、秦海涛绘制、编辑,在此表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在不足与错误,敬请读者批评指正。

编 者
2005 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 摄影测量学的定义和任务	1
1.2 摄影测量学的发展概况	2
第 2 章 摄影的基本知识	5
2.1 摄影基本原理与摄影机	5
2.2 黑白感光材料及其摄影处理	11
2.3 航空摄影的基本要求	17
2.4 航摄像片的误差及处理	20
2.5 彩色摄影	23
2.6 数码相机	27
第 3 章 单张航摄像片解析	30
3.1 中心投影的基本知识	30
3.2 摄影测量常用的坐标系	34
3.3 航摄像片的内、外方位元素	37
3.4 像点在不同坐标系中的变换	39
3.5 中心投影的构像方程	46
3.6 单张像片的空间后方交会	49
3.7 航摄像片的像点位移与比例尺	56
第 4 章 立体观察与立体量测	60
4.1 人眼的构造和立体视觉	60
4.2 人造立体观察	62
4.3 像对的立体观察	64
4.4 像点坐标量测	66
4.5 像点坐标量测仪器	67
第 5 章 双像解析摄影测量	71
5.1 双像解析摄影测量的基本概念	71
5.2 空间后方交会—前方交会算法	73
5.3 立体像对的方位元素	75
5.4 解析法相对定向	77

5.5	立体模型的绝对定向	86
5.6	双像光束法整体解算	91
第6章	空中三角测量	94
6.1	概述	94
6.2	航带法单航带解析空中三角测量	95
6.3	航带法区域网空中三角测量	103
6.4	光束法区域网空中三角测量	109
第7章	数字地面模型	113
7.1	概述	113
7.2	DEM 数据采集	115
7.3	DEM 数据预处理	119
7.4	DEM 内插方法	121
7.5	三角网数字地面模型(TIN)	127
7.6	基于规则格网 DEM 的等高线绘制	131
第8章	数字摄影测量	136
8.1	概述	136
8.2	数字影像的获取与重采样	138
8.3	数字影像解析基础	143
8.4	数字影像匹配原理	147
8.5	最小二乘影像匹配	153
8.6	基于特征的影像匹配	157
8.7	数字影像纠正	160
8.8	数字摄影测量系统	163
第9章	摄影测量的外业工作	168
9.1	像片控制测量	168
9.2	像片判读、调绘与补测	171
第10章	近景摄影测量	177
10.1	概述	177
10.2	近景摄影测量的摄影方式和基本公式	178
10.3	近景摄影测量的量测用摄影机	182
10.4	直接线性变换解法	185
10.5	近景摄影测量中相对控制的应用	195
参考文献		200

第 1 章 绪 论

1.1 摄影测量学的定义和任务

一、摄影测量学的定义和任务

摄影测量学是对研究的物体进行摄影,量测和解译所获得的影像,获取被摄物体的几何信息和物理信息的一门科学和技术。摄影测量学的内容包括:获取被摄物体的影像,研究影像的处理理论、技术和设备,以及将所处理和量测得到的结果以图解或数字的形式输出的技术和设备。

摄影测量学是测绘学的分支学科,它的主要任务是用于测绘各种比例尺的地形图、建立数字地面模型,为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据。摄影测量学要解决的两大问题是几何定位和影像解译。几何定位就是确定被摄物体的大小、形状和空间位置。几何定位的基本原理源于测量学的前方交会方法,它是根据两个已知的摄影站点和两条已知的摄影方向线,交会出构成这两条摄影光线的待定地面点的三维坐标。影像解译就是确定影像对应地物的性质。常规的影像解译方法是根据地物在像片上的构像规律,采用人工目视判读方法识别地物的属性。当前,利用计算机技术自动识别和提取物理信息是摄影测量学的主要研究方向之一。

摄影测量的特点有:在影像上进行测量和解译,主要工作在室内进行,无需接触物体本身,因而很少受气候、地理等条件的限制;所摄影像是客观物体或目标的真实反映,信息丰富、形象直观,人们可以从中获得所研究物体的大量几何信息和物理信息;可以拍摄动态物体的瞬间影像,完成常规方法难以实现的测量工作;适用于大范围地形测绘,成图快、效率高;产品形式多样,可以生产纸质地形图、数字线划图(DLG)、数字高程模型(DEM)和数字正射影像(DOM)等地图产品。

摄影测量学的应用领域十分广泛。可以这样说,只要物体能够被摄成影像,就可以使用摄影测量技术来解决某一方面的问题。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;可以是微小的细胞组织,也可以是巨大的宇宙星体。这些灵活性使得摄影测量学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。

随着现代航天技术和计算机技术的飞速发展,摄影测量的学科领域也扩大了。20 世纪 70 年代,美国陆地卫星发射成功,使得遥感作为一门新兴的技术得到广泛应用。在遥感技术中,除了使用传统摄影机外,还使用了全景摄影机、多光谱扫描仪、CCD 固体扫描仪、成像光谱仪、合成孔径测视雷达等传感器。它们提供了大量的多时相、多光谱、多分辨率的丰富的影像信息。由于摄影测量与遥感在理论、技术、设备和应用等方面的密不可分,使得摄影测量学发展成为摄影测量与遥感学科。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对摄影测量与遥感的定义: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。

二、摄影测量学的分类

根据摄影时摄影机所处的位置的不同,摄影测量学可分为地面摄影测量、航空摄影测量和航天摄影测量。地面摄影测量是将摄影机安置在地面上对目标进行摄影,用于小范围的地形测量和工程测量等。通常把用于非地形测量目的的地面摄影测量称为近景摄影测量。航空摄影测量是将摄影机安装在飞机上,对地面进行摄影,主要用于地形测量,是 1:10 万~1:5 千比例尺的国家基本图和大型工程勘察设计等用图的主要测绘方法,也是 1:2 千~1:5 百比例尺的城镇规划、土地和房产管理等用图的重要测量手段。航空摄影测量是摄影测量最主要的方式,也是本书讲述的主要内容。航天摄影测量又称遥感技术,它是把摄影机(这时称传感器)安装在人造卫星、航天飞机上,对地面进行遥感,用于资源调查、环境保护、灾害监测、农业、林业、气象、地质调查、地形测绘和军事侦察等领域。

根据应用领域的不同,摄影测量学又可分为地形摄影测量与非地形摄影测量两大类。地形摄影测量就是以地表形态为研究对象,生产各种比例尺的纸质地图、数字地图、数字地面模型和数字影像地图等产品。非地形摄影测量一般是指近景摄影测量,主要应用于变形观测、工业、建筑、生物医学、考古、弹道轨道和爆破等领域。

根据技术处理手段的不同,摄影测量学可分为模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。解析和数字摄影测量可以直接为各种数据库和地理信息系统提供基础地理信息,模拟摄影测量的直接结果为各种纸质图件(地形图、专题图等),它们必须经过数字化才能进入计算机中。

1.2 摄影测量学的发展概况

摄影测量学发展至今,经历了模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三个发展阶段。

1839 年法国人 Daguerre 和 Niepce 发明了摄影技术,摄影测量学开始了它的发展历程。1851 年法国人 Aime Laussedat 首次用地面摄影方式测绘建筑物,他被称为摄影测量学的创始人。1901 年德国人 Pulfrich 制成第一台用于测量像片上像点坐标的仪器——立体坐标量测仪,1911 年奥地利的 Orel 研制成自动立体测图仪,于是在理论上和技术上开始形成地面立体摄影测量。1910 年国际摄影测量学会 ISP (International Society for Photogrammetry)在奥地利成立,后更名为国际摄影测量与遥感学会 ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)。

19 世纪末至第一次世界大战前,很多学者进行了空中摄影的试验,1858 年纳达成功地在气球上拍摄到地面的照片。1903 年美国人莱特兄弟发明了飞机,使航空摄影测量成为可能。第一次世界大战期间,航空技术有了迅速发展。利用飞机进行航空摄影,促使航空摄影测量迅速发展。从 20 年代至 60 年代间,航空摄影测量发展的主要成果是逐步完善了模拟摄影测量的理论、仪器和技术。各国的主要测量仪器厂商,研制和生产了各种类

型的模拟测图仪器。模拟摄影测量的基本原理,是根据摄影过程的几何反转思想,利用光学或机械方法模拟摄影过程,采用两个投影器模拟摄影时相邻两张像片的空间位置、姿态和相互关系,形成一个比实地缩小了的光学几何模型,如图 1-1-1 所示。在用立体观察装置观察这个几何模型的同时,用具有两个手轮和一个脚盘的量测装置对此几何模型进行三维的量测,达到类似于实地量测的效果。量测的结果,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。20 世纪 60 年代,立体测图仪发展至顶峰,品种繁多,其后则改为简化主机而发展仪器的外围设备,如电子绘图桌、正射影像装置、数字记录装置和机助测图系统等。图 1-1-2 为 Wild 公司生产的 A10 精密立体测图仪。

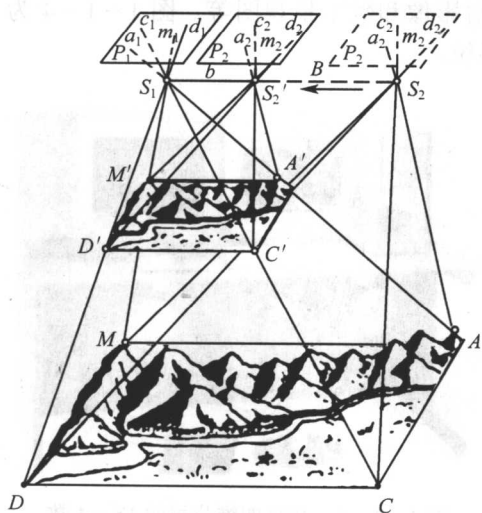


图 1-1-1 模拟摄影测量的基本原理



图 1-1-2 Wild 公司的 A10 模拟立体测图仪

随着计算机技术的发展,摄影测量由模拟法逐渐向解析法过渡。德国人斯密特于 20 世纪 50 年代,建立了解析摄影测量的基本理论,这一理论随即应用于解析空中三角测量。解析空中三角测量能很好地处理像点坐标的系统误差和粗差,保证了成果的高精度和高可靠性,成为摄影测量内业测图控制点加密的主要方法。

解析摄影测量的另一个标志就是解析测图仪的研制成功。1957 年美国的海拉瓦提出了解析测图仪的思想,并于 60 年代初研制成第一台解析测图仪,当时主要用于美国军方。到了 70 年代、80 年代,解析测图仪得到了快速的发展,欧美许多著名的摄影测量仪器制造商,如德国的蔡司(Zeiss)、瑞士的 Wild 和 Kern 等公司,开始生产解析测图仪,使解析测图仪进入民用。解析测图仪是由一台立体坐标量测仪和一台专用的电子计算机以及相应的接口设备组成,它的操作与模拟的立体测图仪没有本质的区别。由于解析测图仪是根据数学关系式来建立立体模型,因而可以预先作各种系统误差的改正,而且它可以处理各种类型的像片,扩展了摄影测量的应用领域。解析测图仪的产品可以是纸质的线划图,也可以是数字地图和数字地面模型等数字产品,便于建立测量数据库,使摄影测量成为地理信息系统基础数据获取和更新的重要手段。图 1-1-3 为 Zeiss 公司的 C-100 型解析测图仪。

随着计算机技术的进一步发展和数字图像处理、模式识别等技术在摄影测量领域的

应用,摄影测量开始进入数字摄影测量阶段。美国于 20 世纪 60 年代初研制成全数字自动化系统 DAMC,它是把模拟的像片经扫描转换成由灰度表示的数字影像,利用计算机代替人眼进行立体观测,实现摄影测量的自动化。1988 年瑞士 Kern 公司推出世界上第一台商用数字摄影测量系统 DPS1。1992 年在国际摄影测量与遥感学会大会上,几家国际上著名的大公司推出了基于 SUN、SGI 工作站的数字摄影测量系统,标志着摄影测量真正进入数字摄影测量时代。数字摄影测量与模拟、解析摄影测量的区别在于:它不再依赖精密而昂贵的光学和机械仪器;处理的原始资料是数字影像或数字化影像;处理过程中以计算机视觉代替人眼进行立体观测,实现几何信息和物理信息的自动提取;其产品形式是数字的,包括数字地图、数字地面模型、数字正射影像和数字景观图等。图 1-1-4 为我国北京四维公司生产的 JX-4 数字摄影测量系统。



图 1-1-3 Zeiss 公司的 C-100 解析测图仪



图 1-1-4 北京四维公司的 JX-4 数字摄影测量系统

第2章 摄影的基本知识

摄影测量的前期工作就是利用各种摄影机对所量测目标进行摄影,获取量测目标的影像。作为原始资料的影像,其质量的好坏直接影响到整个摄影测量后续处理的精度。为了获取高质量的影像,提高测量精度,有必要了解有关摄影的一些基本知识。

2.1 摄影基本原理与摄影机

一、摄影的基本原理

摄影术的实质是根据小孔成像原理,在小孔处安置一个摄影物镜,在成像面处放置涂有对光敏感的感光材料,物体投射光线经摄影物镜后聚焦成像于感光材料上,感光材料感光后发生光化学作用生成不稳定的、肉眼不可见的潜像,潜像经过显影、定影等处理过程后变成稳定可见的、但明亮度与实际地物相反的影像,这种影像再经过晒印或放大处理后即获得与实际地物明亮度一致的影像。

二、摄影机的基本结构

摄影机是用于摄取光学影像的仪器,是摄影的主要工具。摄影机的种类很多,但其基本结构均大致相同,主要由镜箱和暗箱两部分组成,如图2-1-1所示。镜箱包括物镜筒、镜箱体和成像面,是摄影机的光学部件。物镜筒内嵌有摄影物镜、光圈和快门,是摄影机的重要部件。物体的投射光线经物镜聚焦后进入摄影机,成像于像平面上。镜箱体是一个封闭筒,用来调节摄影机物镜与像框平面之间的距离。暗箱用来存放感光材料。普通摄影机的暗箱和镜箱是连成一体的;测量专用的摄影机的暗箱和镜箱是可以分开的,一般备有多个暗箱,暗箱可以从摄影机镜箱上拆卸下来,供摄影时调换使用。

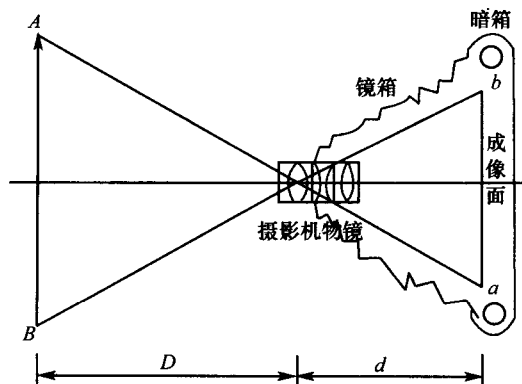


图 2-1-1 摄影机构造示意图

1. 摄影机物镜

摄影机物镜是摄影机中重要的部件,其品质的好坏直接决定了被摄物体的影像质量。物镜的作用是聚集来自镜头前面的光束,并在胶片上聚焦,取得清晰可辨的影像。简单的镜头是由一片曲面玻璃或塑料制成的。由于单透镜物镜存在各种像差,为消除或减少像差的影响,提高成像质量,摄影机物镜都是由多个凸、凹透镜组合而成,形成一个复杂的光学系统。

光学透镜的镜面通常是制成球面状的,从透镜中心到周边有一定的曲率。透镜中两球面曲率中心的连线是透镜的光轴,物镜光学系统中各透镜的光轴应重合为一,形成物镜的主光轴。如图 2-1-2 所示,一平行于主光轴的光线 AB ,经物镜组多次折射后得到折射光线 CD , AB 延长线与 CD 相交于点 h' ,经过 h' 作垂直于主光轴的面 H' ,所有平行于主光轴的投射光线,都在平面 H' 上发生折射现象。同理可得到点 h 和另一个折射面 H 。折射平面 H 和 H' 将空间分为两部分,将物体所在的空间称为物方空间,影像所在的空间称为像方空间。平面 H 和 H' 也相应称为物方主平面和像方主平面。平面 H 和 H' 与主光轴的交点分别为 S 和 S' ,也相应地被称为物方主点和像方主点。折射光线 CD 与主光轴的交点为 F' ,称为像方焦点。像方主点 S' 与 F' 的距离为像方焦距 f' 。若物方空间一组与主光轴斜交的投射光线,经物镜折射后为平行于主光轴的平行线组,那么这些投射光线必然相交于主光轴的 F 点上,该点称为物方焦点。像方主点 S 与 F 的距离为物方焦距 f 。

上述的像方空间和物方空间、像方主点和物方主点、像方主平面和物方主平面、像方焦点和物方焦点以及像方焦距和物方焦距等都是——对应的。

另外如图 2-1-3,从主光轴外的物点,如 A 发出的所有入射光线,经过物镜产生折射,总有一对共轭光线,其出射光线与其入射光线平行,即入射光线与主光轴的夹角 u 和出射光线与主光轴的夹角 u' 恰好相等,即 $\angle u = \angle u'$,两光线与主光轴的两个交点 K 和 K' 分别称为前(物方)节点和后(像方)节点。

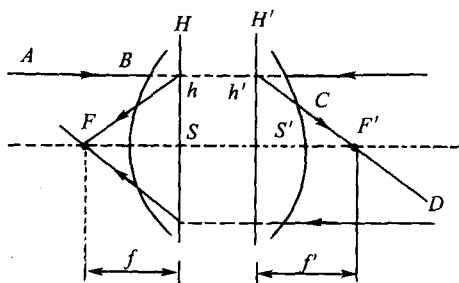


图 2-1-2 物镜的主平面、主点、焦点

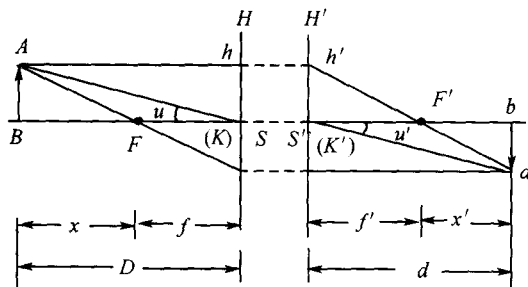


图 2-1-3 物方节点与像方节点

综上所述,一个物镜有一对主点、一对焦点和一对节点。当物方空间和像方空间介质相同时,一对节点与一对主点恰好重合,像方焦距 f 也等于物方焦距 f' ,此时的透镜组合即为理想的物镜。

2. 成像公式

根据图 2-1-3,设某一物点 A 到物方主平面 H 的距离 D ,称为物距。其成像点 a 到像方主平面 H' 的距离 d ,称为像距。设物镜的焦距为 f ,则由光学成像公式(也称为高斯透镜公式)可知

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

此式表示物点经过光学系统后能获得清晰构像的条件公式。

从图 2-1-3 可看出, $D = x + f$ $d = x' + f'$, 将 D 、 d 表达式代入式(2-1-1), 整理后得

$$xx' = f^2 \quad (2-1-2)$$

式(2-1-2)为物镜构像清晰公式的另一种写法, 也称为牛顿透镜公式。

3. 光圈和光圈号数

由于通过物镜边缘部分的投射光线都会引起较大的影像模糊和变形。为限制物镜边缘光线的进入, 控制和调节进入物镜的光量, 通常在相机镜头的中心设置一光圈。光圈由一组金属片组成, 呈莲花瓣状, 通过手动或自动可以调节中间透光部分的大小, 即相当于调节镜头的直径。因此光圈是衡量镜头能通过光线多少的重要参数, 一方面可调节物镜使用面积的大小, 另一方面可调节进入物镜的光亮。

现将一束平行于主光轴的光线束入射进入物镜, 当在物镜前面设置一个光圈时, 光圈孔径以外的光线受阻, 无法进入物镜, 此时进入物镜的光线束的断面面积等于孔径的圆面积。实际中通常将光圈放置在物镜的两透镜组之间, 同样能起到控制光束柱面积的作用。平行光束经物镜折射后通过光圈, 此时的光束直径称为有效孔径, 用 δ 表示, 如图 2-1-4 所示。有效孔径与物镜焦距之比, 称为相对孔径 δ/f 。相对孔径的倒数(f/δ)称为光圈号数, 用 k 表示。

平行光线经物镜成像于焦面上, 单位面积影像的亮度与有效孔径的平方成正比, 而与物镜焦距的平方成反比, 也就是与相对孔径的平方成正比, 与光圈号数的平方成反比。即光圈号数越小, 光圈就越大, 能通过的光线越多, 聚焦在感光物上的亮度就越高(越亮); 反之, 使用的光圈号数越大, 影像亮度就越小。

摄影时感光材料单位面积上取得的曝光量 H 等于照度 E 与曝光时间 t 的乘积, 即 $H = Et$ 。若感光材料单位面积上的曝光量 H 相同, 则在不同的曝光时间下的照度存在以下关系, 即

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{H/t_1}{H/t_2} = \frac{t_2}{t_1}$$

由于

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{k_2^2}{k_1^2} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^2$$

则得到

$$\frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^2 \quad (2-1-3)$$

从式(2-1-3)可看出若曝光时间改变一倍, 即 $t_2/t_1 = 2$, 则相应的光圈号数之比 $k_2/k_1 = \sqrt{2}$, 改变了 $\sqrt{2}$ 倍, 因此物镜筒上标志的光圈号的排列顺序是以 $\sqrt{2}$ 为公比的等比级数排列, 如

1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 23, 32

摄影时为增强纵深景物构像的清晰度,应采用小的相对孔径,即大的光圈号数,同时应相应地延长曝光时间。

4. 景深和超焦点距离

景深指被摄景物中能产生较为清晰影像的最近点至最远点的距离。如图 2-1-5 所示,用摄影机摄取有限距离的景物时,根据构像公式(2-1-1),当摄取物距为 D 的物点 A 时,只有在像距为 d 时才能得到清晰像点 a 。物距大于或小于 D 的景物,如 B 、 C 两点在像面上的构像则是一个模糊圆圈。由于人眼分辨能力有限,当模糊圈的直径 ϵ 小到某一限度时,人眼所观测到的模糊圆圈影像仍是一个清晰点,因此仍可以认为远景点 B 和近景点 C 在像面上的影像是清晰的。同理介于点 B 和点 C 之间的任意点在像面上的影像也是清晰的。景深就是远景点 B 与近景点 C 之间的纵深距离。远景点的物距称为远景距离,近景点的物距称为近景距离。

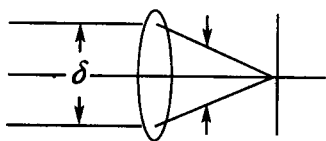


图 2-1-4 有效孔径

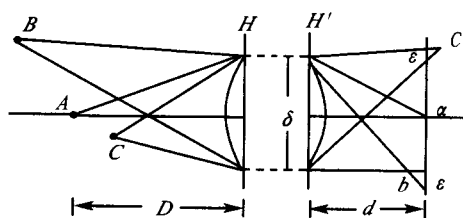


图 2-1-5 景深

根据透镜公式,有

$$\frac{1}{D_A} + \frac{1}{d_a} = \frac{1}{f}, d_a = \frac{fD_A}{D_A - f}$$

$$\frac{1}{D_B} + \frac{1}{d_b} = \frac{1}{f}, d_b = \frac{fD_B}{D_B - f}$$

由图 2-1-5 可看出

$$\frac{\epsilon}{\delta} = \frac{d_a - d_b}{d_b}$$

$$d_b = \frac{\delta d_a}{\epsilon + \delta} = \frac{\delta f D_A}{(\epsilon + \delta)(D_A - f)}$$

则

$$D_B = \frac{f \delta f D_A}{\delta f D_A - f(\epsilon + \delta)(D_A - f)} = \frac{D_A f^2 \delta}{f^2 \delta - f \epsilon (D_A - f)}$$

由于 $f \ll D_A$, 所以在上式中 $D_A - f \approx D_A$, 将 D_A 用 D 来表示, 并将 $k = f/\delta$ 代入, 则

$$D_B = \frac{D f^2}{f^2 - D k \epsilon} \quad (2-1-4)$$

同理可求出

$$D_C = \frac{D f^2}{f^2 + D k \epsilon} \quad (2-1-5)$$

根据定义,景深为远景距离与近景距离之差,即

$$\Delta D = D_B - D_C = \frac{2D^2 k\epsilon}{f^2 - (Dk\epsilon/f)^2} \quad (2-1-6)$$

当物镜对光调焦某一距离 D , 能刚好使无穷远处的景物构像清晰, 这一调焦距离称为超焦点距离。超焦点距离就是对光于无穷远时景深的近景点距离。若以 H 表示, 则由于远景距离 $D_B = \infty$, 则式(2-1-4)中 $f^2 - Dk\epsilon = 0$, 得

$$H = D = \frac{f^2}{k\epsilon} \quad (2-1-7)$$

一般在摄影机的物镜筒上都刻有景深的标志。摄影时, 当调焦对光、选定光圈号数后, 此时景深标志的刻划就指出近景距离和远景距离的数据。

5. 摄影机快门

摄影机快门与光圈在一起, 起遮盖投射光线经物镜进入镜箱体内的作用, 是控制曝光时间的重要机件。快门从打开到关闭所经历的时间就是曝光时间, 或称快门速度。常用的快门有中心快门和帘式(焦平面)快门。中心快门由 2 个~5 个金属扇形叶片组成, 位于物镜的透镜组之间, 紧靠着光圈, 以其开闭时间的长短来决定速度。曝光时利用弹簧机件使快门叶片由中心向外打开, 投射光线经物镜进入镜箱体中, 使感光材料曝光, 到了预定的时间间隔, 快门又自动关闭, 终止曝光。中心快门的优点是打开快门之后, 感光材料就能满幅同时感光。航空摄影机和一般普通摄影机大多采用中心快门。帘式快门是安装在像框平面附近, 感光材料的前面, 一般由不透光的黑布卷帘做成。卷帘上有一与卷帘运动方向相垂直的长缝隙。未曝光时不透光的黑布掩盖着感光材料, 启动曝光后卷帘在感光材料前面滑行, 缝隙所过之处即对感光材料实行曝光。控制卷帘运动的速度, 就能改变曝光量, 相当于改变曝光时间。帘式快门的优点是感光材料各部分的曝光量相同, 且能使曝光时间控制得很短, 如 $1/500s$ 或 $1/1000s$ 。

为了控制曝光时间, 在物镜筒上有一个控制曝光时间的套环, 上面刻有的曝光时间一般按下列顺序排列:

B 1 2 4 8 15 30 60 125 300

这些数值均是以秒为单位的曝光时间倒数。例如 4 代表 $1/4s$ 。符号 B 是 $1s$ 以上短时曝光标志, 俗称 B 门。 B 门的工作过程是: 按下快门释放钮, 快门帘幕打开, 松掉释放钮, 就关闭快门帘幕。有些摄影机除了 B 门外, 还有 T 门, 它是长时间曝光标志。 T 门则是第一次按下快门释放钮, 快门帘幕开启, 然后可松开手, 按预定曝光时间曝光, 第二次按下快门释放钮时, 快门帘幕才关闭。

三、摄影机简介

摄影测量中所用的摄影机一般可分为量测用摄影机和非量测用摄影机。量测用的摄影机属于专业摄影机, 它提供适合摄影测量用的像片; 非量测用摄影机是指在日常生活中使用的普通摄影机、摄像机等。有关摄像机的内容见 2.5 节。

1. 量测用摄影机

量测用摄影机的结构与普通摄影机基本相同, 但其在镜头精密程度及结构上则更为精密和复杂, 具有良好的光学性能, 物镜畸变差较小、分辨率高、透光性强, 且机械结构稳

定,同时能根据设计要求,进行自动连续摄影。

量测用摄影机有航空摄影机和地面摄影机两类。与非量测用摄影机相比较,量测用摄影机具有以下特征:

(1) 量测用摄影机的像距是一个固定的已知值。航空摄影机在空中摄影时,由于物距较大,摄影时摄影物镜都是固定调焦于无穷远点处,即每次摄影的像距是固定不变的,几乎等于摄影机物镜的焦距。地面摄影测量用的地面摄影机,一般可按几个分段固定的物距进行调焦,以应对不同距离的物体摄影的需要。

(2) 量测用摄影机承片框上具有框标。量测用摄影机镜箱体的后部贴附一个金属框架,框架的四边严格地处于同一平面内,此平面也就是像平面,严格地与物镜的主光轴相垂直。框架中间空出的部分是像幅。框标有两类:一类为机械框标,是在框架的每一边中点各设有一个框标记号;一类为光学框标,即将框标记号设在框架的角上。将两类框标中相对的两框标相连接,可建立像平面框标坐标系,确定像点位置。对于机械框标,两对边框标连线分别为 x 、 y 轴,两连线交点是坐标系原点(如图 2-1-6(a));对于光学框标而言,两对角框标连线交点是坐标系原点(如图 2-1-6(b)),经过原点且平行于下方(或上方)两框标连线的直线为 x 轴,过原点且垂直于 x 轴的直线为 y 轴。

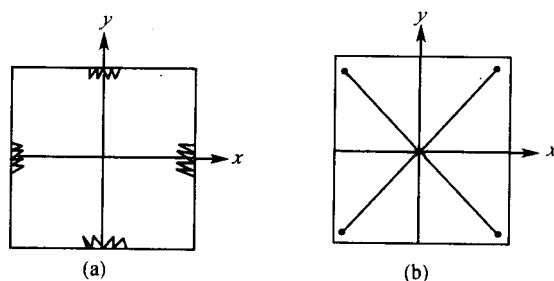


图 2-1-6 光学框标与机械框标示意图

(3) 量测用摄影机的内方位元素值是已知的。摄影机物镜后节点在像片平面上的投影,称为像主点。像主点与物镜后节点之间的距离称为摄影机主距,也叫像片主距,用符号 f 表示。在理想的结构设计情况下,像主点应与框标坐标系原点重合,但由于制造技术上的误差,常常达不到这项要求,因此像主点在框标坐标系中有坐标值 x_0 、 y_0 , x_0 、 y_0 可精确测定。像片主距 f 和像主点在框标坐标系中的坐标值 x_0 、 y_0 合称为摄影机的内方位元素,或叫像片的内方位元素。它能唯一确定物镜后节点在框标坐标系中的位置。

2. 航空摄影机

航空摄影机又简称“航摄仪”,是拍摄航空像片的仪器,由镜箱、暗匣、座架与操纵器组成。航摄仪是根据精密测量要求设计的,因此其具有以下特性:物镜畸变差较小,镜头分辨率高,物镜光轴与像平面垂直且能高精确定两者间的距离,具有真空底片压平装置,能连续摄影。航摄仪的种类主要有四种,即单镜头框幅航空摄影机、多镜头框幅航空摄影机、条带航空摄影机和全景航空摄影机。图 2-1-7 为一种单镜头框幅航空摄影机的结构示意图。航摄仪类型较多,现以 RC-10 航摄仪为例简要说明航摄仪特性。

RC-10 型航摄仪为瑞士威特(Wild)厂制造的全自动软片航摄仪,它有四个可以调换的物镜箱,镜箱主距分别为 88mm、152mm、210mm、304mm。像幅为 23cm×23cm。它的

快门为中心式电动旋转快门,能在 $1/100\text{s}$ 到 $1/1\,000\text{s}$ 范围内连续变化。摄影机物镜备有橙、黄两种滤光片,软片采用真空吸气压平方式。摄影工作由操作箱操纵。另外,它可携带较多的暗盒,方便空中作业时换卷,提高了作业效率。

3. 普通摄影机

非量测用摄影机指不是专为摄影测量目的而设计的摄影机。其种类繁多,各类普通照相机、电影摄影机等均属于非量测用摄影机。与量测用摄影机相比,非量测用摄影机一般光学性能较差,物镜畸变差较大,内方位元素未知或部分未知,无用于量测用的框标,底片压平措施欠佳,缺少定向装置。但其体重小,轻便灵活,价格低,可调焦对光,满足清晰构像的条件公式。图 2-1-8 为 Nikon 普通摄影机。

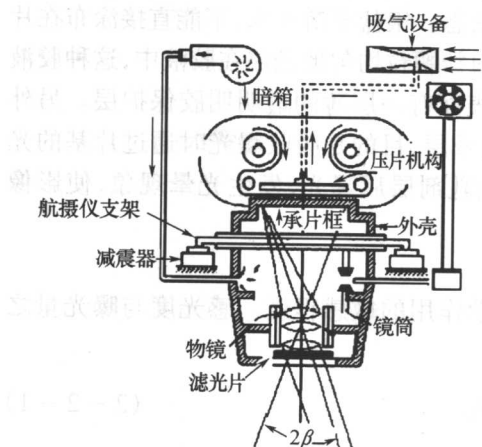


图 2-1-7 航空摄影机结构示意图



图 2-1-8 普通摄影机

普通摄影机按使用的软片可分为 120 型和 135 型摄影机。120 型摄影机的像幅为 $6\text{cm} \times 6\text{cm}$,以手动对焦为主,功能较少,但由于胶片的面积较大,可以取得较好的影像质量。135 型摄影机的像幅为 $24\text{mm} \times 36\text{mm}$ 。彩色软片多为 135 型。过去机械的普通摄影机的调焦对光、光圈号数、曝光时间、曝光准备等均需人工确定和操作。而新式摄影机的功能均自动操作,自动调焦、自动确定曝光时间、自动曝光、自动卷片,并附有闪光设备。

有关地面摄影机的介绍见本书第 10 章。

2.2 黑白感光材料及其摄影处理

一、黑白片感光材料

感光材料是指该材料经过曝光后发生光化学变化(即形成被摄物体潜像),然后在一定条件下,经过适当的化学处理,使潜像显示出来,变为可见影像的材料,它是胶片、相纸等的总称。感光材料根据影像显示的色调可分为黑白片和有色片。黑白片影像是用黑白灰度来表示所摄物体对某种光反射的强弱程度。有色片上影像颜色与所摄物体自然色接近。感光材料主要由片基和感光乳剂层组成。用作片基的材料有玻璃、透明塑料或纸。以玻璃作为片基的感光材料称为硬片。透明塑料作片基的感光材料称为软片,俗称胶卷。