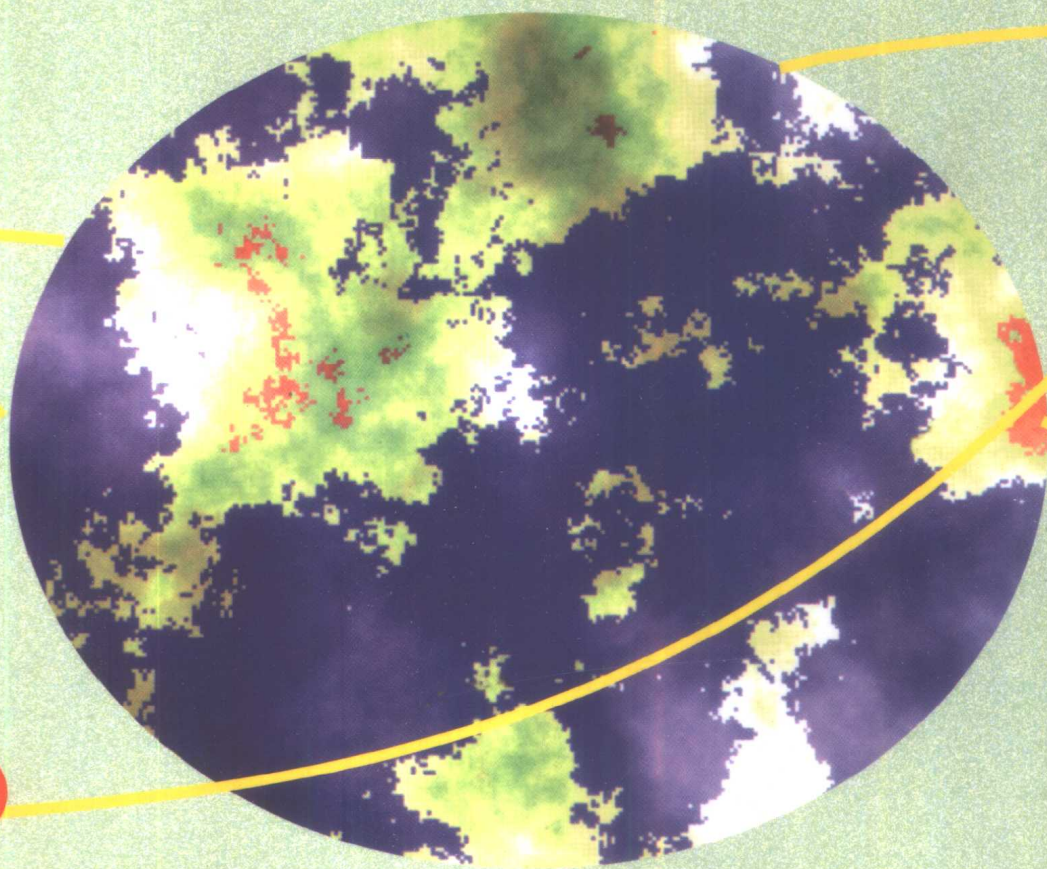


高等学校测绘类教材

摄影测量学

金为铄 杨先宏 编著
邵鸿潮 崔仁愉

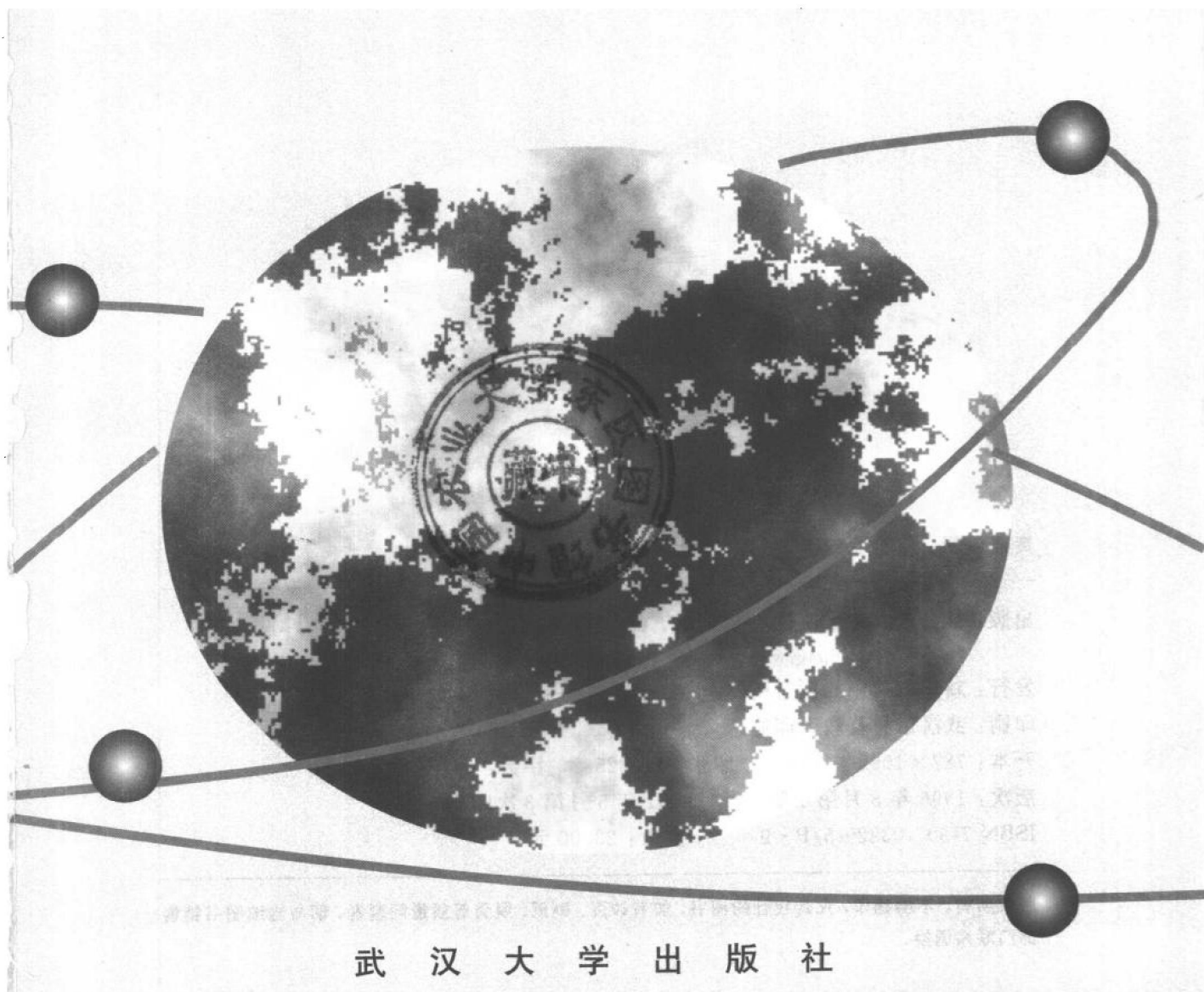


武汉大学出版社

高等学校测绘类教材

摄影测量学

金为铄 杨先宏 编著
邵鸿潮 崔仁愉



武汉大学出版社

FZ77/03

图书在版编目(CIP)数据

摄影测量学/金为铄等编著. —武汉: 武汉大学出版社, 1996. 8

高等学校测绘类教材

ISBN 7-307-03229-5

I. 摄… II. ①金… III. 航空摄影—测量学—基础理论 IV. P23

责任编辑: 王金龙 封面设计: 曾 兵

出版: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

发行: 新华书店湖北发行所

印刷: 武汉市科普教育印刷厂

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.625 字数: 432 千字

版次: 1996 年 8 月第 1 版 2001 年 5 月第 3 次印刷

ISBN 7-307-03229-5/P·9 定价: 23.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

本书是根据原武汉测绘科技大学大地测量、地图制图、土地管理与地籍测量等专业的《摄影测量学》教学大纲编写而成,作为大学本科与函授的教材,也可作为其他测绘专业的《摄影测量学》课程选用,并可供测量工程技术人员学习参考。一至五章为各专业学习《摄影测量学》的共同基础,以后各章可根据不同专业要求与学习时数安排灵活选用。

摄影测量已经历了从模拟法到解析法的转变,并正向全数字化方向发展。本教材是以解析法作为主线,对模拟法的摄影测量基础理论以及在生产中仍在使用的方法作了全面阐述,并编入了数字测图、数字纠正等内容。全书注重了摄影测量的新理论、新技术与新工艺的介绍,是一本具有时代特点的新教材。

本书共分十二章。前五章为摄影测量学的基础理论,包括摄影测量的定义、任务及其发展、摄影的基本知识与影像误差处理、单张像片的几何特性与中心投影的构像方程、立体观察与立体量测和双像解析摄影测量的基本理论与方法。第六章为解析空中三角测量,主要介绍了航带法和光束法的加密理论。第七章和第八章分别为模拟法立体测图和立体测图仪。包括模拟法立体测图原理和方法、立体测图仪的类型与结构、几种常用的模拟测图仪和解析测图仪。第九章讲述了数字测图、数字地面模型、等高线绘制、数字测图编辑以及数字高程模型的应用。第十章为像片纠正。包括常规纠正、微分纠正和数字纠正。第十一章为摄影测量外业工作。包括像片控制点的联测、像片调绘与土地资源调查。最后一章介绍地面立体摄影测量。各章后均附有复习思考题,作为指导学生课后复习,特别是函授学生的学习指导之用。与之配套的有《摄影测量基本实验》一书作为本教材的补充,结合课间与集中实习,以训练学生的实践动手能力。

本书的第一、四、八、九章由金为铎编写,第二、五、六章由杨先宏编写,第三、七章由邵鸿潮编写,第十、十一、十二章由崔仁愉编写。全书由金为铎统稿。书稿承河海大学盛浩然教授、西南交通大学刘文熙教授初审,盛浩然教授复审。他们对书稿提出了许多宝贵意见,根据他们的意见作了全面修改,这对提高教材质量起到了重要作用。

由于水平有限,书中可能存在不适与不妥之处,恳请读者提出批评和指正。

金为铎 杨先宏

邵鸿潮 崔仁愉

2001年4月于武汉

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1—1 摄影测量学的定义与任务	(1)
§ 1—2 摄影测量学发展的三个阶段	(2)
§ 1—3 摄影测量学与测绘学科的关系	(4)
复习思考题	(5)
第二章 摄影的基本知识与影像误差处理	(6)
§ 2—1 摄影原理与摄影机	(6)
§ 2—2 摄影处理与像片的晒印	(12)
§ 2—3 航空摄影与摄影测量对摄影的基本要求	(16)
§ 2—4 像片影像的误差及处理	(19)
§ 2—5 彩色摄影与其他摄影	(22)
复习思考题	(27)
第三章 单张航摄像片解析	(28)
§ 3—1 中心投影的基本知识	(28)
§ 3—2 摄影测量中常用的坐标系	(33)
§ 3—3 航摄像片的内、外方位元素	(36)
§ 3—4 像点在不同坐标系中的变换	(38)
§ 3—5 中心投影的构像方程	(46)
§ 3—6 像点位移、方向偏差及航摄像片的构像比例尺	(49)
§ 3—7 单张像片的空间后方交会	(53)
复习思考题	(62)
第四章 立体观察和立体量测	(65)
§ 4—1 人眼的立体视觉	(65)
§ 4—2 人造立体视觉	(67)
§ 4—3 像对的立体观察	(69)
§ 4—4 像对的立体量测	(71)
§ 4—5 像点坐标量测仪器	(72)
复习思考题	(74)
第五章 双像解析摄影测量	(75)
§ 5—1 双像解析摄影测量的方法	(75)
§ 5—2 立体像对的空间前方交会公式	(78)
§ 5—3 空间后方交会与前方交会求解地面点坐标的计算方法	(79)
§ 5—4 解析相对定向及模型坐标计算	(80)

§ 5—5 模型的绝对定向	(90)
§ 5—6 单模型光束法整体解求	(94)
复习思考题	(97)
第六章 解析空中三角测量	(98)
§ 6—1 解析空中三角测量的分类	(98)
§ 6—2 单航带航带法解析空中三角测量	(98)
§ 6—3 航带法区域网空中三角测量	(109)
§ 6—4 光束法空中三角测量	(116)
§ 6—5 独立模型法空中三角测量简介	(123)
复习思考题	(125)
第七章 模拟法立体测图	(126)
§ 7—1 模拟法立体测图的基本原理	(126)
§ 7—2 立体像对的方位元素	(127)
§ 7—3 模拟法测图的相对定向方法	(129)
§ 7—4 模型的绝对定向	(139)
§ 7—5 地形原图的绘制	(140)
复习思考题	(142)
第八章 立体测图仪	(143)
§ 8—1 立体测图仪的分类	(143)
§ 8—2 模拟测图仪的类型与结构	(145)
§ 8—3 我国常用的几种主要模拟测图仪	(148)
§ 8—4 解析测图仪的基本原理	(157)
§ 8—5 解析测图仪的硬件与软件	(159)
§ 8—6 主要解析测图仪简介	(164)
§ 8—7 机助测图系统	(172)
复习思考题	(174)
第九章 数字地面模型	(175)
§ 9—1 概 述	(175)
§ 9—2 图形在计算机中的表示	(176)
§ 9—3 数字地面模型数据的获取与预处理	(179)
§ 9—4 数字图形数据处理的基本算法	(181)
§ 9—5 数字曲面高程模型的内插	(183)
§ 9—6 曲线的内插与逼近	(189)
§ 9—7 等高线的绘制	(195)
§ 9—8 数字测图编辑中的一些基本算法	(197)
§ 9—9 数字高程模型的应用	(199)
复习思考题	(206)
第十章 像片纠正与正射投影技术	(208)
§ 10—1 像片纠正的概念与分类	(208)
§ 10—2 平坦地区的像片纠正	(211)

§ 10—3 起伏较小地区的像片纠正与投影转绘	(223)
§ 10—4 微分纠正	(227)
§ 10—5 数控微分纠正制作正射影像图	(234)
§ 10—6 数字纠正	(237)
复习思考题	(240)
第十一章 摄影测量的外业工作	(241)
§ 11—1 摄影测量外业工作的分类	(241)
§ 11—2 摄影测量的野外控制测量	(242)
§ 11—3 摄影测量的像片调绘与补测	(246)
§ 11—4 像片专业判读	(250)
复习思考题	(252)
第十二章 地面立体摄影测量	(253)
§ 12—1 摄影方式与基本公式	(253)
§ 12—2 用于地面立体摄影测量的外业仪器及其要求	(258)
§ 12—3 地面立体摄影测量的外业工作	(260)
§ 12—4 地面立体摄影测量的内业测图仪器与成图工作	(265)
§ 12—5 地面立体摄影测量在非地形摄影测量中的应用	(268)
复习思考题	(272)
主要参考文献	(273)

第一章 绪 论

§ 1—1 摄影测量学的定义与任务

摄影测量学是通过影像研究信息的获取、处理、提取和成果表达的一门信息科学。传统的摄影测量学是利用光学摄影机摄得的影像,研究和确定被摄物体的形状、大小、性质和相互关系的一门科学与技术。它包括的内容有:获取被研究物体的影像,单张和多张像片处理的理论、方法、设备和技术,以及将所测得的成果如何用图形、图像或数字表示。

摄影测量学的主要任务是测制各种比例尺的地形图,建立地形数据库,并为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据。因此,摄影测量学在理论、方法和仪器设备等方面的发展,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,因而很少受自然和地理等条件的限制。影像是客观物体或目标的真实反映,信息丰富、逼真。人们可从中获取所研究物体的大量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。只要物体能被摄成影像,都可使用摄影测量的方法和技术解决某一方面的问题。被摄物体可以是固体、液体或气体;也可是静态或动态;可以是微小的(如电子显微镜下的细胞)或巨大的(宇宙星体)。由于这些灵活性,使摄影测量除用于地形测绘外,还可用于工业、建筑、生物、医学、考古等方面。从而可把摄影测量分为地形摄影测量和非地形摄影测量两大类。

由于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)推行式行扫描与数字摄影,以及各种合成孔径侧式雷达等,它们提供了比黑白像片更丰富的影像信息。各种空间飞行器作为传感平台,围绕地球长期运转,提供了大量的多时相、多光谱、高分辨率的丰富影像信息,从而使航空摄影测量中的判读技术,发展形成为新兴的遥感技术。它主要用于资源与环境的调查,为国土、农业、气象、环境、地质、海洋等部门服务。使摄影测量学发展为摄影测量与遥感学科。发展中的摄影测量与遥感的定义是:摄影测量与遥感学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的过程,获得自然物体和环境可靠信息的一门工艺、科学和技术。简而言之,摄影测量与遥感是影像信息的获取、处理、提取和成果表达的一门信息科学。

摄影测量学可从不同角度进行分类。按摄影距离的远近分,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。按用途分类,有地形摄影测量与非地形摄影测量。地形摄影测量主要用于测绘国家基本地形图,工程勘察设计和城镇、农业、林业、土地等部门的规划与资源调查用图和相应的数据库;非地形摄影测量用于解决资源调查、变形观测、环境监测、军事侦察、弹道轨迹测量、爆破以及工业、建筑、考古、地质工程、生物医学等方面的科学技术问题。按处理的技术手段分,有模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量。模拟法摄影测量的成果为各种图件(地形图、专题图等),解析法和数字摄影测量除可提供各种

图件外,还可直接为各种数据库和地理信息系统提供数字化产品。

本课程主要讲述用于地形摄影测量的原理、方法和仪器,但其基本内容可适用于非地形摄影测量。

§ 1—2 摄影测量学发展的三个阶段

一、模拟法摄影测量

从 1839 年达盖尔发明摄影术算起,摄影测量已有 150 多年历史。但将摄影术真正用于测量的是 1851~1859 年法国陆军上校劳赛达,他用地面正直摄影进行交会摄影测量,用于测绘建筑物。

从空中拍摄地面的照片,最早是 1858 年纳达在气球上获得的。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,使航空摄影测量成为 20 世纪以后大面积测制地形图最有效的快速方法。我国航空摄影测量始于 1930 年,但进入兴旺发达时期是 1949 年新中国诞生以后的事。

摄影测量仪器,从 20 世纪初发明立体观察方法后,1901 年研究了立体坐标量测仪,1909 年研制了 1318 立体测图仪,这些仪器主要是用于地面摄影测量。从 30 年代到 50 年代末,各国主要测量仪器厂,则是针对航空摄影测量,研制和生产了各种类型的模拟测图仪器。它的基本原理,是用光学或机械方法模拟摄影过程,多数采用两个投影器模拟摄影时相邻两像片的空间位置、姿态和相互关系,形成一个比实地缩小了的几何模型。这一模拟过程就是实现摄影过程的几何反转。在此几何模型上量测,即相当于对原物体的量测。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。模拟测图仪有分工型与全能型,有简易型与精密型。这个发展时期是模拟法航空摄影测量的黄金时代。在我国,它一直延伸到 70 年代。

二、解析法摄影测量

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,由于当时是用手摇计算机迭代运算,速度与效益均达不到实际的应用。由于电子计算机和计算技术的发展,才开了解析摄影测量的新纪元。50 年代发展了解析空中三角测量,我国在 60 年代初期也开始了此项工作的起步。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,经历了近 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 C-100 解析测图仪,1980 年瑞士威尔特和克恩厂也相继推出 AC-1,BC-1,AC-2,BC2 与 DSR-1,DSR-11 型解析测图仪。欧波同厂则形成 C-100,C-110,C-120,C-130 和 C-140 系列产品。80 年代,我国也相继研制了 HT,JX-1,APS-1,DPG 等型号的解析测图仪。仪器的价格逐步达到与一级精度的模拟测图仪相接近,成为发展中的主流。原有的各种模拟测图仪器,加上计算机和测图的绘图软件,都在逐步改造为机控或机助的解析式测图仪。

解析空中三角测量,是电子计算机用于摄影测量的第一项成果。它经历了航带法、独立模型法和光束法三种方法的发展,已成为航测加密测图控制点的主要方法。随着像片系统误差和观测值粗差自动探测的解决,从而保证了成果的高精度和高可靠性。加之摄影测量与各种非摄

影测量观测值的严密整体平差和数据处理,使它成为一种高精度定位方法,用于大地控制加密,坐标地籍测量。当今全球定位系统(GPS)的应用,使摄影测量和遥感中的几何定位变得愈来愈小地依赖于地面控制。

解析测图仪是实现测量成果数字化产品的仪器,在计算机帮助下,立体模型上测得的结果存入计算机中,然后再传送到数控绘图机上绘出图件。这种存贮在计算机中的数字形式地图,成为测绘数据库和建立各种地理信息系统的基础。自1987年后,解析测图仪的发展进入以数据库管理系统下的数据采集工作站的发展阶段,使摄影测量成为地理信息系统获取数据和更新数据的重要手段,也使测量与编图融为一体了。

解析摄影测量的发展,使得地形摄影测量与非地形摄影测量不再受模拟测图仪的一些限制,使摄影测量广泛应用于对各种目标进行各种方式摄影来研究和监测其外形和几何位置。摄影测量除可用于不规则物体的外形测量外,还可进行动态目标的轨道测量,燃烧爆炸、晶体的生长、病灶变化和细胞成长等不接触物体的量测等方面。

三、数字摄影测量

解析摄影测量的进一步发展是数字摄影测量。从广义上讲,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、地理信息系统(GIS)和土地信息系统(LIS)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。

数字化图形是在计算机辅助和计算机控制的摄影测量工作站上,借助机助制图软件来实现,也可在高级数据库系统下的工作站上进行。而数字摄影影像是用数字摄影机(如CCD阵列扫描仪)直接获得数字影像;数字化影像是用各种数字化扫描仪,对已得到的像片进行扫描,获得数字化影像。而在计算机中进行全自动化数字处理的方法,称为全数字化摄影测量。它包括自动影像匹配与定位,自动影像判读两大部分。前者是对数字影像进行分析、处理、特征提取和影像匹配,然后进行空间几何定位,建立高程数字模型和数字正射影像图,其目视化产品为等高线图和正射影像图。由于这种方法能代替人眼观察立体进行测绘的全过程,故是一种计算机视觉的方法,称为全自动化测图系统。后者是解决对数字影像的定性描述,称为数字图像分类处理。低级分类的方法是基于灰度、特征和纹理等,多采用统计分类的方法。高级的图像理解,则基于知识、结构和专家系统。它是用于代替人眼自动识别和区分目标,是一种比定位难度更高的计算机视觉方法。因此,全数字化摄影测量是一项高科技研究领域。

全数字化摄影测量的研究与解析摄影测量差不多同时起步,由于它具有极高的难度,至今仍处于研究和试验阶段。

全数字化摄影测量一般分为在线和离线两种方式。在一台解析测图仪上,加上CCD数字摄影机和相应的数字摄影测量软件,便构成了边数字化边处理的在线自动化摄影测量系统。这类系统在60~70年代美国军方就使用过。离线的数字摄影测量系统,是利用功能强大的电子计算机系统或工作站,对数字化影像进行处理,如海拉瓦博士研制的HAI750,是在SVN-4/470微机工作站上进行影像相关与一系列处理,获得高程数字模型与正射数字影像图。武汉大学王之卓教授等研制的WUDAMS全自动化数字测图系统是属于这种类型。

数字摄影测量的发展导致了实时摄影测量的问世。所谓实时摄影测量是用CCD等数字摄

影机,直接对目标获取数字影像,直接进入计算机中,在实时软件作用下,立刻获得和提取需要的信息,用来控制对目标的操作。实时摄影测量系统主要用于医学诊断、工业过程的自动控制和机器人视觉方面。在陆地车载或空中机载、星载系统中是利用 GPS 定位技术和 CCD 摄像技术可实时地直接为 GIS 获取所需要的数据和信息,对军用和民用都有极大的意义。

§ 1—3 摄影测量学与测绘学科的关系

测绘学是研究地球与地表信息的一种学科,是测量学和地图制图学的总称。测量学是用科学手段获取有关地球形状、大小、重力场,测定地面点的平面位置和高程,识别地物、地貌特征、类别、属性、分布和地理名称等信息,经加工处理,综合制成各种类型的成果,像片、图件和其他资料。地图制图学是研究地图制作的理论、工艺和应用,它是以测量信息为基础制作地图,再加上各种非测量信息,制成各种比例尺的地形图与各类专题应用图。摄影测量学是测绘学科的一个分支。根据目前的发展,测绘可分为大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学、地籍测量学、海洋测绘学、军事测绘学等。

测绘学是一个古老的学科,相传公元前两千多年夏代《九鼎》就是一幅体现测绘技术的原始地图。摄影测量学,则是这一古老学科中发展历史较短的一个学科。但由于它与新兴科学有着血缘的相互关系,它的发展,必然影响整个测绘学科的发展。例如与摄影测量有着血缘关系的航天摄影技术、电子计算技术、信息科学等都极大地影响了测绘学的发展,使测绘学成为一门地理信息科学,为国家管理、决策、建设提供各种基本信息。测绘的仪器与处理手段,也正在向电子化、自动化方向发展,其成果则由图表转为各种信息系统。

现就摄影测量学与其他测绘分支学科的关系分述如下:

一、与大地测量学的关系

大地测量学的一个主要任务是确定国家大地原点与水准原点,建立国家级与地区大地和高程控制网,以满足测图控制的需要。而摄影测量是测绘地形图的主要方法,因此相互有着极其密切的联系。控制、测图、制图是测绘地形图的三大组成部分,从而使测绘学分为大地、航测、制图三个分支学科。为了满足测图的需要,大地测量工作者除要布置国家级控制网外,还需要加做一些测图需要的控制点,以满足摄影测量中解析法空中三角测量的控制布点要求。有的还要进行航测外业工作,即进行像片的野外控制联测,像片调绘与测图。另一方面,高精度的解析控制三角测量,其精度可达到三、四等大地点的要求,为大地测量增加了新的加密控制点的方法,而摄影测量中的地面数字模型为重力改正提供了较好的地面模型。遥感技术,则为研究地球板块学说提供了科学的手段。更重要的是,两门学科的结合与相互渗透,更能推动学科的发展。如 GPS 与解析空中三角测量的结合,为高精度、快速定位提供了新的方法。数字模型与数据处理的技术相互都可从中得到有益的启示。

二、与地图制图学的关系

地图制图是根据测量资料与其他地学、人文、资源、经济等信息,编制成各种比例尺的地形图与专题地图。因此,应了解测量地形图的主要方法,即摄影测量的方法。现代的航空遥感与航天遥感资料,则是编制现势性强的地图获取地面信息的主要方法,所以地图制图与摄影测量

有着日益密切的相互联系。摄影测量已从目视产品向数字化产品过渡,而地图制图也从传统的手工作业变成一门空间信息图形传输的学科。两者已无明显的界线与分工。共同的目的是把地图变为地图数据库,建立各种地理信息系统,为国民经济服务。摄影测量工作站不仅是用于航测测图,也可用于地图编辑,在计算机制图方面,两者可融为一体。

三、与工程测量学的关系

工程测量是以工程建设为对象的测绘工作。它的主要任务是工程规划、施工和管理各阶段的测绘工作。还包括测绘大比例尺的地形图,施工放样,设备安装,竣工检测,变形观测等。摄影测量是测绘方法中技术先进的一种。它可测绘各种比例尺地形图,最大的比例尺可达到1:500或1:200。各种竣工检测,变形观测,则是非地形摄影测量的主要任务。因此,摄影测量应是工程测量学的主要技术基础课。摄影测量中的数字化产品(数字高程模型、数字化地图等)可参与工程设计的优化方案选择和各种工程规划设计的自动化。

四、与地籍测量学的关系

地籍测量是为合理开发利用土地资源,摸清土地资源现状,进行土地管理、评价、开发,建立土地信息系统,为规划、决策、管理等服务。这种全国性大面积的地籍测量工作,也应是以摄影测量方法为主。因此,摄影测量是该学科的主干课程。

五、与海洋、军事测绘的关系

对海洋、军事为目标的测绘工作,需要用到测绘学科各分支学科的基本知识,作为测绘学科分支之一的摄影测量学,无疑应是这些学科的技术基础课或专业课。其间有着不可分割的关系。

综上所述,作为一个测绘工作者,应全面了解与掌握测绘学科的各种知识,为本分支学科服务。因此,应该努力学好摄影测量学,以推动本学科的发展。

复习思考题

1. 摄影测量学的定义是什么? 发展中的摄影测量与遥感学又应如何定义?
2. 摄影测量学如何分类? 它的主要任务是什么? 可应用于哪些方面?
3. 摄影测量学的发展分为哪三个阶段? 各阶段的主要特点是什么?
4. 线画地形图用航测的什么方法测绘? 数字化地图产品又需用航测的什么方法测绘? 为什么?
5. 通过什么方法可将测绘成果与地理信息系统结合起来?
6. 测绘学可分为哪些分支学科? 摄影测量学与你学习的专业有什么关系?
7. 你对如何学好本课程有何建议和设想?

第二章 摄影的基本知识与影像误差处理

摄影测量是在物体的影像上进行量测与判译,因此,首先要对被研究的物体进行摄影,以获得被研究对象的影像。为此,要对摄影的基本知识,摄影资料如何获取有一基本的了解。另外,由于摄影测量是利用立体进行观测,各种测图仪器有其自身的限制条件,测量中为了获得较高精度,所以对摄影有一些特殊要求。对影像存在的各种系统误差也要进行改正。本章重点是讲述这些问题,并对彩色摄影与其他摄影也作简单介绍。

§ 2—1 摄影原理与摄影机

一、摄影原理

摄影是根据小孔成像原理,用一个摄影物镜代替小孔,在像面处放置感光材料,物体的投射光线经摄影物镜后聚焦于感光材料上,感光材料受成像光线的光化学作用后生成潜像,再经摄影处理得到光学影像,这一过程称为摄影。摄影的主要工具是摄影机。被摄物体在感光材料上的影像是摄影所获得的成果,此成果统称为像片。由于感光材料的片基上涂布不同的感光乳剂,使感光材料有正性和负性之分。负性感光材料多用于摄影,曝光后的负性感光材料经摄影处理后所得影像,对黑白摄影而言,黑白灰度与被摄物的明亮程度相反,故这类像片称为负片,习惯上也称底片。正性感光材料多用于晒印像片,影像的黑白灰度由负片反转过来,其影像的黑白灰度与被摄物的明亮程度一致。所以,此类像片习惯称为正片。用软片晒印的此类像片,称为透明正片。两类感光材料在曝光和摄影处理的光化学作用与反应基本是相同的。

二、摄影机

摄影机的结构形式种类繁多,其基本结构大致相同,它可由镜箱和暗箱两个基本部分组成,如图 2—1 所示。

镜箱是摄影机的光学部分,它包括物镜筒、镜箱体和像框平面。物镜筒内嵌有摄影物镜、光圈和快门,是摄影机的重要组件,光线由物镜筒进入摄影机内。镜箱体是一可以调节摄影物镜与像框平面之间距离的封闭筒。

暗箱是存放感光材料用的,安装在镜箱体的后面,摄影时借助机械或其他装置的作用,使感光材料展平并紧贴在像框平面上。像框平面就是光线通过摄影物镜后的成像平面。镜箱体和暗箱都必须密闭不得漏光。普通摄影机的镜箱和暗箱是连成一体的。而量测用的摄影机镜箱和

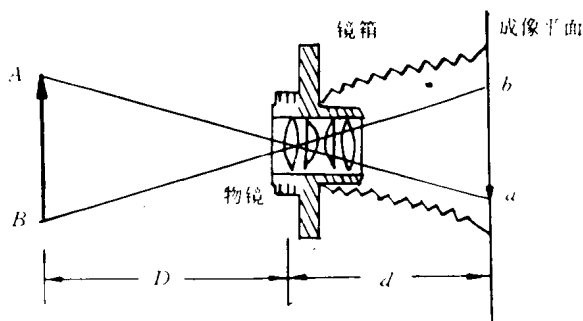


图 2—1

暗箱是可以分开的,它一般备有多个暗箱,临摄影前装在镜箱体的后面,在摄影间歇过程中可以调换备用暗箱。

1. 摄影物镜

摄影机物镜是一个复杂的光学系统,它是由多个透镜组合而成。在摄影时起成像和聚光作用,它能聚集被摄物体较多的投射光线,使得像框平面上的影像有较高的亮度。被摄物体影像的质量主要取决于摄影物镜的品质。单透镜物镜有各种像差,为克服像差的影响,一般摄影机物镜都是由几个组合透镜组合而成。透镜两球面曲率中心的连线是透镜的光轴,物镜光学系统中诸透镜的光轴应重合为一,即为物镜的主光轴。物体的投射光线

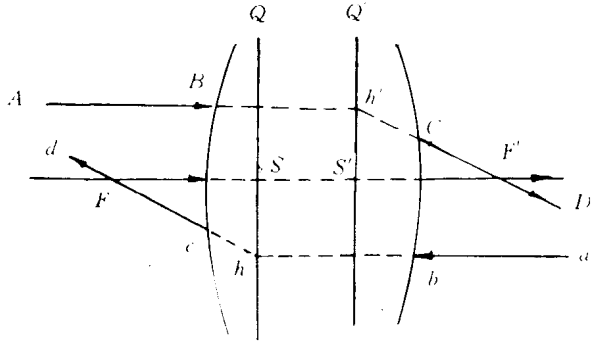


图 2—2

经诸透镜界面的逐次折射后,最终取得折射光线。如图 2—2 所示,假定物方空间有一平行于主光轴的光线 AB ,经物镜诸透镜界面折射后得折射光线 CD ,折射光线 CD 偏向主光轴,并相交于主光轴 F' 点延长 AB 和 CD 相交于点 h' ,这相当于入射光线 AB 是在 h' 点处发生折射得 CD 折射光线。 F' 点是在像方空间,故称像方主焦点或称后主焦点。过 h' 作垂直于主光轴的主平面 Q' ,将会发现平行于主光轴的诸投射光线的折射光线,都在平面 Q' 上发生折射现象。同样,当投射光线来自物镜的另一方射入时,经物镜诸透镜界面折射后得折射光线,按上述方法延长入射和折射光线相交 h 点,并过 h 作垂直于主光轴的主平面 Q ,那么平面 Q 相当于物镜的另一个折射面。由于光线的可逆性,这两个平面都是投射光线的折射面。综上所述,不论物镜由多少个透镜组成,经过多少次的折射,其结果都相当于在主平面 Q 和 Q' 上发生折射,由此,可以用主平面 Q 和 Q' 作为等价物镜,在作图时采用 Q 和 Q' 来代表物镜实体。

主平面 Q 和 Q' 将空间分为两部分,物体所处的空间称为物方空间,影像所处的空间称为像方空间。因此, Q 和 Q' 也相应称为物方主平面和像方主平面。平面 Q 和 Q' 与物镜主光轴的交点 S 和 S' 也相应称为物方主点和像方主点。由物方平行于主光轴的诸投射光线经物镜折射后,诸折射光线都交于主光轴的像方焦点 F' 上;而一组与主光轴斜交的投射光线,经物镜折射后若为平行于主光轴的平行线组,那么诸投射光线则必然相交于主光轴的 F 点上,该点称为物方焦点。自像方主点 S' 到像方焦点 F' 之间的距离称为物镜的像方焦距,也用 F' 表示;相应地自物方主点 S 到物方焦点 F 之间的距离称为物方焦距,仍用 F 表示。过像方焦点作垂直主光轴的平面称为焦平面。显然无穷远点的发射光线,可视为平行光线,经物镜折射后均应该会聚于焦面上某一点处。在平面 Q 和 Q' 之间的光线途径就可理解为总是平行于主光轴的。

上述的像空间和物空间、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相互对应的。

在由物点发射的诸入射光线和经物镜出射的诸成像光线中,有一对共轭光线,其入射光线与主光轴的夹角 β 和出射成像光线与主光轴的夹角 β' 恰好相等,如图 2—3 所示。此时共轭光线与主光轴的交点分别为 k 和 k' ,称点 k 为前方节点,点 k' 为后方节点。前节点又称物方节点,后节点也称像方节点。

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,理想的物镜,一对节点正好与一对主点重合。这时物镜的主点就具有节点的特性,即 $\angle\beta=$

$\angle\beta'$, 像方焦距等于物方焦距。具有节点的一对共轭光线, 正好通过物镜主点, 称此投射光线为某一物点的主光线。主光线在摄影测量中有很重要的意义。设想物镜的两个主平面重合, 由于主光线的 $\angle\beta = \angle\beta'$, 则投射光线与折射光线为一条直线, 在像平面位置一定时, 物点在像片平面上的影像可以由主光线与像片平面的交点来确定。

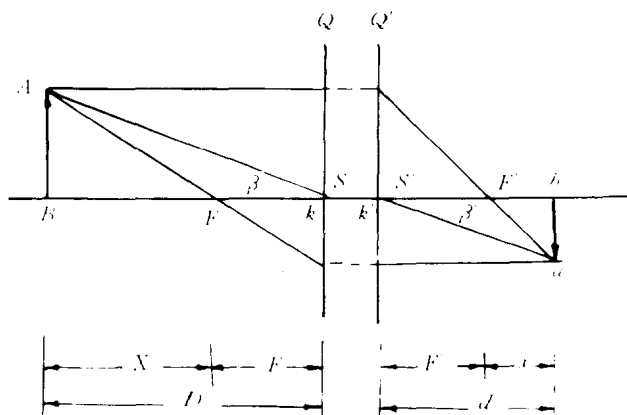


图 2—3

2. 物镜的成像公式

在图 2—3 中, 物方主平面 Q 到物点 A 的距离 D , 称为物距; 像方主平面 Q' 到像点 a 的距离 d , 称为像距。物镜的焦距为 F 。由光学成像公式可知

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

(2—1)式称为构像公式。它表示一个物点发出的所有投射光线, 经理想物镜后所有对应的折射光线仍然会聚于一个像点上, 则这个像点是清晰的。若物距和像距分别取焦点 F 和 F' 为起算点, 相应的物距和像距用 X 和 x 表示, 则得构像公式的另一种形式

$$X \cdot x = F^2 \quad (2-2)$$

3. 物镜的光圈和光圈号数

实际使用的物镜都不是理想的, 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。为限制物镜边缘部分的使用, 并控制和调节进入物镜的光量, 通常在物镜筒中间设置一个光圈。现代摄影机都采用虹形光圈, 它是由多个镰形黑色金属薄片组成, 中央形成一个圆孔, 孔径的大小可用光圈环调节, 它是一个可以改变的光栏。

现有一束平行于主光轴的光线投向物镜, 当在物镜前面设置一个光圈时, 光圈的直径就起到限制进入物镜光线束柱的断面面积的作用, 其面积为 $A = \pi r^2 = \frac{1}{4} \pi d^2$ 。为了改善物镜各种像差对影像变形的影响, 通常是将光圈放置在物镜的两透镜组之间, 起着控制光束柱面积的真实光圈孔径, 称为有效孔径, 以 d 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进入物镜的光束柱断面的面积成正比, 也就是与有效孔径 d 的平方成正比。此外, 单位面积影像的亮度又与物镜焦距的平方成反比。因此, 有效孔径 d 与物镜焦距 F 之比, 作为控制影像亮度的一个因素, 称这一因素为相对孔径 (d/F)。相对孔径的倒数 $K = F/d$, 称为光圈号数。所以, 焦面上影像的亮度与光圈号数的平方成反比。使用的光圈号数越大, 影像亮度就越小。摄影时只要选择适当的光圈号数和配以曝光时间, 就能得到一定的曝光量 $H = Et$ (其中 E 为照度, t 为曝光时间)。

假定在摄影时取 E_1 和 t_1 得到最恰当的曝光量 H , 那么当曝光时间取 t_2 时, 仍想取得相同的曝光量 H , 则应取 E_2 为多少呢? 根据 $H = E_1 t_1 = E_2 t_2$, 则得

$$E_1/E_2 = t_2/t_1 \quad (2-3)$$

因为影像亮度是与相对孔径成正比, 则影像亮度与光圈号数的平方成反比, 即

$$E_1/E_2 = K_2^2/K_1^2 \quad (2-4)$$

由此得

$$t_2/t_1 = (K_2/K_1)^2 \quad (2-5)$$

如果曝光时间改变一倍,即 $t_2/t_1=2$,要满足式(2-4)要求,相应光圈号数之比(K_2/K_1)应改变 $\sqrt{2}$ 倍。所以在摄影机上曝光时间的分划尺注记是按倍数改变的,而光圈上所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

如果保持原光圈号数不变,而曝光时间改变一档,或者保持原曝光时间不变,而光圈号数改一档,则曝光量将改变一倍。

4. 景深和无穷远起点

用摄影机摄取有限距离的景物时,根据物镜构像公式(2-1),在摄取某一物距为 D 的物点 A 时,只有在像距为 d 时才能得到清晰像点 a 。取过 a 点作一垂直物镜主光轴的平面为像平面,如图 2-4 所示。物距大于或小于 D 的景物如 B 和 C 点,在像面上的构像将形成一个模糊圆斑,此圆斑称为模糊圆。由于人眼观察分辨能力有限,当模糊圆的直径(ϵ)小到一定限度时,模糊圆的影像仍是一个清晰点。这样,在摄影时虽对光于 A 点,但在远景点 B 和近景点 C 之间,沿主光轴这一段间距内的所有景物,在像面上仍可以认为获得的影像是清晰的。把摄影对光调焦于 D 距离时远景点 B 和近景点 C 之间的纵深间距,称为景深。计算景深 $D \cdot F$ 公式为:

$$D \cdot F = \frac{2\epsilon K(FD)^2}{F^4 - (\epsilon KD)^2} \quad (2-6)$$

由(2-6)式看出,景深与物距、光圈号数及物镜焦距有关。物距愈大或光圈号数愈大,景深也愈大。在摄影时宁愿取较大光圈号数,即较小的相对孔径,而增长曝光时间,以增大景深,使摄影对光不很准确时,仍可获得清晰影像。

当物镜对光无穷远,像面位于焦面处,这时设离物镜距离为 D 的某近物点,在像面上像点的模糊圆直径等于允许的极限值,那么比该物点更远的所有景物都能在对光于无穷远时的像面上取得清晰的构像。

在焦面上能构成清晰影像的最近物距称为无穷远起点。无穷远起点就是对光于无穷远时景深的近景点距离,它将随光圈号数等因素而定。

一般在摄影机的物镜筒上都刻有景深的标志。摄影时,当调好焦对好光后,选定光圈号数,此时景深标志的刻划就指出前景点距离和后景点距离的数据,即得景深范围。

5. 摄影机快门

摄影机快门是控制曝光时间的机件装置,它是摄影机的重要部件之一。快门从打开到关闭所经历的时间称为曝光时间,或称快门速度。常用的快门有中心快门和帘式快门。中心快门由 2~5 个金属叶片组成,它位于物镜的透镜组之间,紧靠着光圈,起遮盖投射光线经物镜进入镜箱体内的作用。曝光时利用弹簧机件使快门叶片由中心向外打开,让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

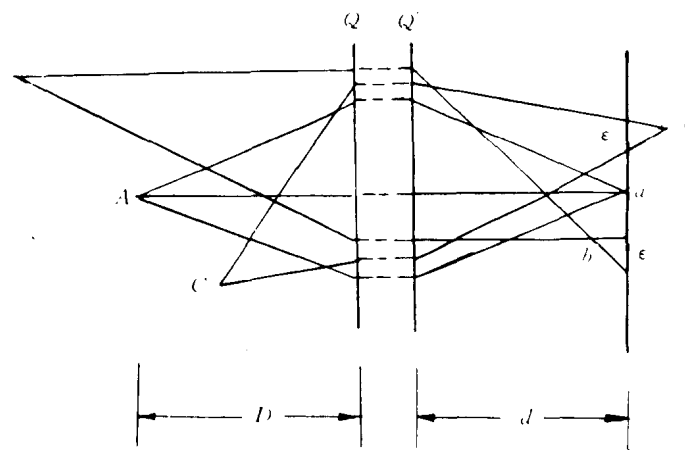


图 2-4

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,由不透光的黑布卷帘构成。卷帘上有一窄长缝隙与卷帘运动方向垂直。未曝光时卷帘不透光的黑布掩盖着全部感光材料,启动曝光后卷帘在感光材料上滑行,缝隙所过之处即对感光材料实施曝光。调节缝隙的宽度,或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,且这种机构设计可以做到曝光时间很短,如1/500秒或1/1000秒。帘式快门又称焦面快门。

在物镜筒上有一个控制曝光时间的套环,上面刻有曝光时间的数据序列:

B 1 2 4 8 15 30 60 125 300

这些数值是以秒为单位的曝光时间倒数。例如60表示 $\frac{1}{60}$ 秒。符号B是1秒以上的短曝光标志,俗称B门。指标对准B门时,手按下快门按钮,快门就打开,手一松开按钮,快门立即关闭。有些摄影机还设有T门,它是长时间曝光标志,当指标对准T门时,手掀一下按钮,快门打开,达到预定曝光时间后,再按一下按钮,快门才关闭。

三、摄影机简介

摄影机按使用目的可分为专业摄影机和普通摄影机两大类。量测用的摄影机属专业摄影机,它能摄取适合摄影测量用的像片,普通摄影机指日常生活中用来摄取生活照片或其他用的摄影机。

1. 普通摄影机

这类摄影机的结构形式种类繁多,就其光学质量而言,从低级的生活娱乐摄影机,到精密的高级摄影机都有。就外型结构看,有轻便手提式摄影机和折叠式摄影机。但它们使用的软片不外乎两种,即120软片和135软片。因此,普通摄影机按所使用软片代号分为120摄影机和135摄影机。普通摄影机多是为生活娱乐摄影而设计的。现今人们多喜爱彩色像片,而彩色像片惯用135型彩色软片扩印。为摄取远近不等的人物景像,普通摄影机物镜相对像框平面的距离是可以改变的,随时进行调焦对光,满足清晰构像的条件公式。某些摄影机将调焦对光的距离划分为两挡,如2m到无穷远一挡,2m以内为一挡,利用小光圈增大景深的办法谋求影像清晰。这是因为生活像片对影像清晰要求不那么严格。摄影机的调焦对光有的采用反光系统,有的设置专用的调焦光学系统。对好光之后,选择曝光时间和光圈号数。尽可能选取较小的光圈再配以适当的曝光时间。当光圈和曝光时间匹配好之后,再上紧快门,取景,按快门按钮进行曝光。一般的摄影机在曝光之后,如不卷片,快门按钮就失去作用,这是避免在同一张底片上曝光两次。新式自动摄影机能自动选择曝光量,自动曝光,曝光后也能自动卷片,并附有闪光设备。

2. 量测用摄影机

这类摄影机是指的航空摄影机、地面摄影测量用的摄影经纬仪,以及近景摄影测量用的摄影机。这种摄影机的物镜要求具备良好的光学特性,其物镜的畸变差要小,分辨力要高,透光率要强。而且摄影机的机械结构要稳定,要求在较长的时期内能保持内在关系不发生变化。对航空摄影机而言,还要求整个摄影系统应具备摄影过程的自动化装置。如图2—5所示。

安装在飞机上对地面能自动地进行连续摄影的摄影机称为航摄机。它是一台结构复杂、具有精密的全自动光学系统及电子机械装置,所摄取的影像能满足量测和判读的要求。其结构原理如图2—6所示。