

普通高等教育测绘类规划教材

基础摄影测量学

李德仁 金为铄 尤兼善 朱宜萱 合编

JICHU SHEYING CELIANGXUE

测绘出版社

普通高等教育测绘类规划教材

基础摄影测量学

李德仁 金为铄
尤兼善 朱宜萱 合编

测绘出版社

内 容 简 介

本书为摄影测量学的基础部分,内容涉及投影几何、被摄物体与像点的数学关系、平面和立体摄影测量的基本原理,主要仪器和作业方法,以及地面摄影测量。全书共八章,每章后附有习题与思考题。

本书可作为高等院校摄影测量与遥感专业本科和函授的教材,也可供其他测绘专业的师生、工程技术人员和研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础摄影测量学/李德仁等编. —北京:测绘出版社, 1995. 9

普通高等教育测绘类规划教材

ISBN 7-5030-0786-9

I. 基… II. 李… III. 摄影测量法-基础理论-高等学校-教材 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 03548 号

基础摄影测量学

李德仁 金为铨 合编
尤兼善 朱宜萱

*

测绘出版社出版

北京市王史山胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 21.5·字数 480 千字

1995 年 9 月第一版·1995 年 9 月第一次印刷

印数: 0001—3000 册·定价: 22.00 元

前 言

本书是根据武汉测绘科技大学摄影测量与遥感专业的《基础摄影测量学》教学大纲编写的，可作为大学本科和函授的教材，也可供其他测绘专业的师生、工程技术人员和研究人员学习参考。

摄影测量学已有 150 年的历史，它经历了从模拟法到解析法的转变，并正朝数字化方向发展。本书作为摄影测量学的基础部分，它涉及投影几何、被摄物体与像点的数学关系、平面和立体摄影测量的基本原理、主要仪器和作业方法，也包括了地面摄影测量。通过本书的学习，使学生能够直观地、形象地了解摄影测量的基本原理，并为学习解析摄影测量和数字摄影测量打下坚实的基础。

模拟摄影测量方法仍是现今我国及外国许多生产部门使用的常规方法，模拟法仪器加上电子计算机和相应接口也同样可以采集到数字形式的空间信息。因此，在一段时间内，多种作业方法并存是合理而必要的。国外数字化作业经验表明，由于模拟法摄影测量作业是在一个完全模拟摄影过程反转的环境下进行，它有较强的视场，作业员在勾绘地貌和地物时可以发挥技巧和智能，所以，在复杂地区用常规摄影测量方法测图，再进行数字化，有可能效率更高，成本更低。

本书共分八章。前三章介绍摄影测量学的定义、任务和发展过程，航空摄影基础知识，投影几何的基础知识和单、双像片解析。第四章叙述像片平面图的制作，即像片纠正。第五章叙述立体观察和立体量测原理及一些简易仪器。第六、七两章包括模拟法立体测图的原理、仪器和作业方法。第八章收入了地面摄影测量，因为它属于基础摄影测量的范畴，且未列入《近景摄影测量》一书中。每章后附有习题与思考题，另有《摄影测量基本实验》一书与本书相配套，为学生提供实验课和教学实习，以求学以致用。

本书第一、五、六、七章由李德仁和尤兼善编写，第二、三、四章由金为铨编写，第八章由朱宜萱编写。全书由李德仁统稿。书稿承刘静宇教授和吴世棋副教授初审，刘静宇教授复审；我校航测与遥感系的许多老师和同学提出了许多建议和意见，在此谨致以衷心的感谢。

由于水平所限，书中存在不足之处，敬请读者不吝指正。

作 者

· 1994 年 3 月于武汉测绘科技大学

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 摄影测量学的定义、任务和发展过程	(1)
一、摄影测量学的定义与任务	(1)
二、摄影测量学发展的三个阶段	(2)
§ 1-2 影像信息科学的形成与内容	(7)
一、摄影测量与遥感的结合	(7)
二、摄影测量、遥感与地理信息系统(GIS)的结合	(8)
三、影像信息科学的崛起	(10)
§ 1-3 航空摄影的基础知识	(11)
一、航空摄影机	(11)
二、对航空摄影的基本要求	(13)
§ 1-4 本书的学习方法	(17)
第二章 中心投影与透视变换	(19)
§ 2-1 投影的分类与透视变换	(19)
一、投影分类	(19)
二、仿射变换	(20)
三、透视变换	(23)
§ 2-2 透视变换作图	(25)
一、航摄像片和地平面上的特殊点和线	(25)
二、透视作图	(26)
三、透视旋转定律	(27)
四、透视变换的应用	(28)
§ 2-3 双心投影	(30)
一、双心投影(立体像对)的特殊点和线	(30)
二、几何反转性	(31)
第三章 像片解析	(32)
§ 3-1 航摄像片的内、外方位元素	(32)
一、内方位元素	(32)
二、外方位元素	(33)
§ 3-2 像点坐标及坐标变换	(35)
一、像点坐标	(35)

二、像点坐标在不同坐标系中的变换	(37)
§ 3-3 旋转矩阵中方向余弦值的确定	(42)
一、用角元素表示方向余弦值	(42)
二、用方向余弦中三个独立元素表示的旋转矩阵	(43)
三、由反对称矩阵元素组成的正交矩阵	(44)
四、不同元素表示旋转矩阵之间的关系	(46)
§ 3-4 像点空间坐标变换的应用	(47)
一、倾斜像片和水平像片的坐标变换公式	(47)
二、像点坐标与物点(模型点)坐标的关系式	(49)
三、中心投影的共线方程式	(50)
四、像点坐标的多次变换	(51)
五、像点坐标变换的一次项式	(52)
§ 3-5 航摄像片比例尺	(53)
一、地面水平、航摄像片不水平时的航摄像片比例尺	(54)
二、像片水平、地面不平时的像片比例尺	(55)
三、实际测求像片比例尺的方法	(55)
§ 3-6 像片倾斜和地形起伏引起的像点位移和方向偏差	(56)
一、像片倾斜引起的像点位移	(56)
二、地形起伏引起的像点位移	(57)
三、方向偏差	(60)
四、方向偏差理论的应用举例	(61)
§ 3-7 物理因素与投影变换面不同引起的像点位移	(62)
一、航摄机物镜畸变差对像点的影响	(63)
二、摄影材料收缩变形对像点的影响	(63)
三、大气折光差对像点的影响	(65)
四、地球曲率对像点的影响	(66)
§ 3-8 立体像对的前方交会公式	(67)
一、空间前方交会的一般公式	(67)
二、水平像片的立体像对的前方交会公式	(69)
三、理想像对的前方交会公式	(69)
四、理想像对的高差公式	(70)
第四章 像片纠正与像片平面图的制作	(73)
§ 4-1 纠正的目的与分类	(73)
一、纠正的目的	(73)
二、纠正的分类	(74)
§ 4-2 像片纠正的几何条件与光学条件	(74)
一、像片纠正的几何条件	(75)

二、纠正仪的光学条件	(76)
三、几何条件与光学条件的结合	(78)
§ 4-3 纠正仪的自由度与纠正元素	(80)
一、纠正仪的自由度	(80)
二、纠正仪的结构轴与纠正元素	(80)
三、复倾斜式纠正仪的自由度与纠正元素	(83)
§ 4-4 纠正仪	(84)
一、蔡司 SEG-1 型纠正仪	(84)
二、国产 HJ24 型纠正仪	(86)
三、HJ3 型纠正仪	(90)
四、威特 E4 型纠正仪	(93)
五、欧波同蔡司 SEG- VI 型正仪	(95)
§ 4-5 平坦地区像片纠正技术	(96)
一、纠正技术与分类	(96)
二、安置元素纠正	(97)
三、对点纠正	(98)
§ 4-6 平坦地区像片平面图的制作	(102)
一、准备工作	(102)
二、纠正对点	(103)
三、投影晒像	(103)
四、镶嵌	(103)
五、质量评定	(104)
§ 4-7 丘陵地区的分带纠正	(105)
一、平坦地区的高差限制	(105)
二、分带纠正原理	(106)
三、分带纠正的作业过程	(107)
四、光学分带镶嵌纠正中的近似性与底点归心	(109)
§ 4-8 仿射纠正	(109)
一、仿射纠正的概念与原理	(109)
二、倾斜面纠正的几何证明	(110)
三、仿射纠正的应用	(113)
§ 4-9 微分纠正基本原理	(113)
§ 4-10 投影转绘	(114)
一、基本原理	(114)
二、HCD-1 转绘仪	(115)
三、投影转绘作业	(116)
§ 4-11 纠正与投影转绘中像片偏心的讨论	(118)

一、保证纠正几何条件引入的像片偏心	(118)
二、引入正确偏心值后引起的底点光线不铅垂问题	(118)
三、解决底点光线不铅垂的办法	(118)
四、忽视偏心的影响	(119)
五、过度偏心的影响	(120)
§ 4-12 纠正误差理论简介	(121)
一、理论精度的研究方法	(121)
二、地面水平时的纠正理论精度	(121)
三、地形起伏对纠正精度的影响	(123)
第五章 立体观察和立体量测	(125)
§ 5-1 人体的立体视觉	(125)
一、从摄影机角度看人眼的基本结构	(125)
二、人眼光学感觉过程	(126)
三、双眼观察	(126)
§ 5-2 人造立体视觉	(129)
一、人造立体视觉的产生和视模型	(129)
二、人造立体观察的条件	(129)
三、像对立体观察的立体效果	(129)
§ 5-3 像对的立体观察	(131)
一、概述	(131)
二、立体镜和用立体镜观察	(132)
三、叠映影像的立体观察	(134)
四、双目镜观测光路的立体观察	(135)
§ 5-4 立体量测	(136)
一、立体镜下用视差杆进行量测	(136)
二、叠映影像的立体量测	(138)
三、双目镜观测系统下的立体量测	(138)
§ 5-5 立体模型的高程扭曲	(138)
一、左右视差与外方位元素的近似关系	(139)
二、立体模型高程扭曲	(140)
三、立体模型扭曲的形状	(140)
§ 5-6 反光立体镜在航测中的应用	(142)
一、反光立体镜的一般应用	(142)
二、用反光立体镜和视差杆进行简易高程测定	(143)
三、基于反光立体镜的简易机助测图系统	(144)
四、具有纠正装置的立体像片判读仪器	(144)
§ 5-7 立体量测仪的基本原理	(146)

一、基本思想和发展过程	(146)
二、立体量测仪的基本结构	(146)
三、基本改正机件的结构原理	(148)
四、补充改正机件的结构原理	(150)
五、立体量测仪上的定向	(152)
六、 δP 的处理和“模型基线”	(153)
七、分工法测图的作业流程	(154)
§ 5-8 X-2 视差测图仪简介	(154)
一、仪器的基本结构	(155)
二、高程改正机件	(155)
三、平面改正机件	(156)
第六章 模拟法立体测图	(160)
§ 6-1 模拟法立体测图的基本原理	(160)
一、摄影过程的几何反转性	(160)
二、像对定向的概念	(161)
§ 6-2 相对定向元素和绝对定向元素	(161)
一、定义与概念	(161)
二、定向元素的不同选取方式	(161)
§ 6-3 相对定向——立体模型的构成	(163)
一、像片方位元素的微小变化引起投影点位移的公式	(163)
二、上下视差与相对定向元素的关系式	(165)
三、相对定向各个元素微小变化引起的投影点在 Y 方向位移	(166)
四、相对定向的原理	(167)
五、相对定向的实际方法	(170)
六、平坦地区像对相对定向的操作方法	(171)
§ 6-4 几种特殊情况下的相对定向	(173)
一、山区相对定向	(173)
二、像主点落水时的相对定向	(174)
三、半张像片“落水”	(175)
四、不完整立体模型的相对定向的处理原则	(176)
§ 6-5 相对定向的不定性	(176)
一、什么叫相对定向不定性	(176)
二、相对定向不定性的推证	(176)
三、相对定向不定性的处理	(179)
§ 6-6 光学机械法相对定向的精度分析	(179)
一、连续像对相对定向的精度	(180)
二、分析与讨论	(181)

§ 6-7 立体模型的绝对定向	(182)
一、概述	(182)
二、模拟测图仪上绝对定向的方法	(183)
三、绝对定向中残余误差的配赋	(186)
§ 6-8 测绘地物与地貌	(187)
一、模拟仪器上立体测图概述	(187)
二、测绘地物	(188)
三、测绘地貌	(188)
四、接边	(188)
五、进一步的讨论	(189)
§ 6-9 绝对定向的精度分析	(190)
一、概述	(190)
二、相对定向元素误差对模型坐标的影响	(190)
三、模型的高程定向精度分析	(191)
四、模型的平面定向	(194)
§ 6-10 用立体测图仪进行空中三角测量	(198)
一、空中三角测量的必要性和分类	(198)
二、利用模拟测图仪进行单航带空中三角测量	(198)
三、对高程误差的图解改正法	(200)
第七章 立体测图仪	(206)
§ 7-1 综述	(206)
一、模拟立体测图仪的分类	(206)
二、模拟立体测图仪的主要组成部分	(207)
三、蔡司平行四边形原理	(208)
§ 7-2 光学投影类立体测图仪	(210)
一、双像投影类测图仪	(210)
二、Stereoplanigraph 型立体测图仪 C5	(214)
§ 7-3 光学机械投影类立体测图仪	(221)
一、光学机械投影类仪器的基本结构特点	(221)
二、汤姆逊-瓦茨测图仪简介	(222)
§ 7-4 机械投影类立体测图仪	(224)
一、结构特点	(224)
二、Wild Avio graph B8S 立体测图仪	(226)
三、A10 立体测图仪简介	(232)
四、投影器转节偏心安置的立体测图仪 D2	(235)
五、平面型立体测图仪	(241)
§ 7-5 立体测图仪的检校与精度评定	(250)

一、机械结构的检校	(250)
二、光学系统的检校	(252)
三、总体精度评定	(253)
§ 7-6 变换光束测图原理与仪器	(256)
一、变换光束测图的基本原理	(257)
二、在普通立体测图仪上作变换光束测图	(259)
三、变换光束的立体测图仪 HCT-1	(262)
§ 7-7 解析测图仪简介	(265)
一、解析测图仪的基本原理	(265)
二、解析测图仪的基本组成部分	(266)
三、解析测图仪的优点	(269)
四、解析测图仪发展的三个阶段	(269)
第八章 地面摄影测量	(274)
§ 8-1 地面摄影测量的解析基础	(274)
一、概述	(274)
二、地面摄影测量的坐标系	(277)
三、地面摄影测量的内、外方位元素	(278)
四、摄影方式	(279)
五、地面摄影测量的基本公式	(281)
六、地面摄影测量中的共线方程式	(289)
七、摄影测量坐标与地面坐标的关系式	(290)
§ 8-2 地面摄影测量的外业仪器设备	(290)
一、DJS 19/1318 型摄影经纬仪及其检校	(291)
二、其它类型地面摄影机的综合特点	(296)
三、UMK 型全能量测摄影仪	(296)
四、P 型摄影经纬仪	(300)
五、立体摄影仪	(302)
§ 8-3 地面摄影测量的外业工作	(304)
一、踏勘与控制测量	(304)
二、摄站布设与摄影方式的选择	(304)
三、控制点和检查点的布设	(311)
四、外业的观测工作	(313)
五、摄影与摄影处理	(313)
六、地面摄影测量的像片调绘	(314)
§ 8-4 地面摄影测量的内业仪器及作业方法	(314)
一、坐标量测仪	(314)
二、1318 立体自动测图仪及作业方法	(315)

三、Technocart 工程测图仪及作业方法	(322)
四、利用精密立体测图仪和解析测图仪量测地面摄影立体像对	(325)
§ 8-5 地面摄影测量的误差分析	(326)
一、量测值 x, z, p 及基线长 B 的误差对点位坐标的影响	(326)
二、外方位元素误差的影响	(327)
三、内方位元素误差的允许值	(329)
四、地面摄影测量网的优化设计	(329)
主要参考文献	(331)

第一章 绪 论

§ 1-1 摄影测量学的定义、任务和发展过程

一、摄影测量学的定义与任务

摄影测量学是利用光学摄影机获得的像片,研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质和相互关系的一门学科和技术。它包括的内容有:获取被摄物体的影像,研究单张和多张像片影像的处理方法,包括理论、设备和技术方法,以及将所处理和量测得到的结果以图解或数字形式输出的方法和设备。

认识世界,改造世界,以推动人类的文明和社会的进步是全中国和全世界人民义不容辞的职责。由于客观世界和所要研究的对象具有从宏观到微观,各种各样的复杂特性,人们不可能总是亲身去接触这些物体。因此借助于非接触传感器获得影像,通过对影像的研究,实现对客观世界的认识,是非常重要而有意义的。例如,通过对月球和其它星体的摄影像片的量测和处理可以测出它们的表面形状和特征。通过X光透视片,医生可以方便地诊断出人体内部是否有某种疾病。利用航空摄影测量和卫星摄影测量。可以比人工实地测量更加快速和方便地测制和更新地球表面的各种比例尺地形图和专题图,为国民经济和国防建设服务。

摄影测量学的主要任务是测制各种比例尺地形图、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。摄影测量学作为影像信息获取、处理、加工和表达的一门学科,又受到影像传感器技术、航空航天技术、计算机技术的影响,并随着这些技术的发展而发展。

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,如人不能到达,人不能触及等条件限制,而且可摄得瞬间的动态物体影像。像片及其它各种类型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和物理信息。

由于现代航天技术和电子计算机技术的飞速发展,摄影测量的学科领域更加扩大了。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研究所摄物体的几何和物理特性。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。由于摄影测量的非接触传感的特点。自70年代以来,从侧重于解译和

判读应用的角度出发，人们又提出了“遥感”一词。

70年代，美国地球资源卫星(Landsat)上天后，遥感技术获得了极为广泛的应用。由于遥感技术能为资源勘察和环境监护等提供极丰富的大量信息，很快就得到全世界的重视。在遥感技术中，除了使用对可见光摄影的框幅式黑白摄影机外，还使用了彩色、彩红外摄影机、全景摄影机、红外扫描仪、多光谱扫描仪、CCD(电荷耦合器件，英文Charge Coupled Devices的缩写)推帚式行阵列扫描仪或矩阵数字摄影机以及各种主动成像的合成孔径侧视雷达等等。它们提供比黑白像片丰富得多的影像信息。各种航空航天飞行器作为传感平台，围绕地球长期运转，为我们提供大量的多时相、多光谱和多分辨率的丰富影像信息，于是摄影测量发展成为摄影测量与遥感。

国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)在1988年对摄影测量与遥感下的定义为：“摄影测量与遥感乃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、量测和解译的过程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，它乃是影像信息获取、处理、分析、解译和应用的一门技术科学。

摄影测量学的主要任务是从理论上研究摄影像片与所摄物体之间的内在几何和物理关系。利用这种几何关系可以确定被摄物体的形状、大小、位置等几何特性；利用它们之间的物理关系可以判定所摄物体的性质，作出正确的解译。为了实现上述目的，还需要从技术上研究和制造出摄影像片获取和处理的仪器、材料和作业方法。

可以从不同角度对摄影测量学进行分类：按距离远近分有航空摄影测量、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；按用途分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、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、事故调查、军事侦察、弹道轨迹、爆破、矿山工程以及生物和医学等各个方面的一门技术科学；按技术处理方法分，则有模拟法摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。模拟法摄影测量是用光学和机械方法模拟摄影成像过程，通过摄影过程的几何反转建立缩小了的几何模型，在此模型上量测便可得到所需的各种图件(主要是地形原图)。解析摄影测量是用计算的方法在计算机中建立像点坐标和物点坐标之间的几何关系，所量测的结果先贮存在电子计算机中，再通过数控绘图仪绘出图来。数字摄影测量则是解析摄影测量的进一步发展，包括摄影测量的数字测图和以数字(化)影像为出发点的全数字化摄影测量，是摄影测量的发展方向。

二、摄影测量学发展的三个阶段

说到摄影测量学的发展历史，利用透视画法徒手草绘地图，当数我国最早。长沙马王堆汉墓中出土的一幅96cm×96cm的正方形地形图是世界上发现的最早的一幅地图。它的比例尺为1:18万，大约绘制于公元前168年。

1759年德国的自然科学家兰贝特(J. H. Lambert)在他的著作中(Freyen 透视画法·第八章)系统地阐述了中心透视的反转，从而提出了摄影测量学的第一个理论根据。只有在尼普斯(J. H. Niepce)和达盖尔(J. L. M. Daguerre)懂得制作可用的照片和阿拉

戈 (F. Arago) 于 1839 年发明了摄影术之后, 摄影测量学才开始获得真正的意义。

《环球》杂志 1982 年第 1 期上有趣地介绍了世界上第一张照片的由来: 1839 年 8 月 15 日, 法国科学院大厅向世界展出了第一张光学照片, 轰动巴黎。巴黎人物肖像画家纷纷上书法国政府, 要求取缔之。德国报刊也愤怒抨击说: “把镜子里面漏掉的形象抓回来”、“简直是无稽之谈”, “这项发明是亵渎神明, 是欺骗”。事实上, 正是从这里, 引出了当今的摄影测量与遥感科学。

不妨看看达盖尔发明摄影术的过程。1826 年, 达盖尔用涂有沥青的锡片作底片, 在太阳下曝光 8 小时, 露光部分变硬, 未露光部分变软。然后用熏烟草花油和松节油冲洗, 首先显示出庄园和景色照片。1830 年, 他正使一张片子感光, 忽然太阳被云遮住了, 他只好把感光不足的薄片子放在化学药品柜内, 三天后取片时, 发现照片异常清晰。当时, 他取出柜中所有的化学药品, 甚至连温度计里的水银也倒出来化验, 以便证实他的发现是否可靠。他使碘化银薄片短时间感光, 然后放入稀释水银溶液中显影, 再用苏打碱溶液冲洗定影, 最后获得清晰照片, 诞生了世界上第一张照片。

真正的摄影测量学创始人一般公认为法国陆军上校劳赛达特 (A. Laussedat), 他在 1851 至 1859 年之间, 首先创造了适合于摄影测量用的摄影仪器和作业方法。该方法是利用从一条“基线”的两端点摄取的某一物体的两张像片, 从这两张像片向每个要测定的点引出方向线, 通过这种“交会摄影测量”就可以以点的形式表达出所摄的整个物体。差不多同时, 德国的迈登鲍尔 (A. Meydenbauer) 根据建筑物的两张像片, 用交会法进行了第一次建筑物摄影测量的试验。他还于 1885 年在柏林建立了普鲁士测量像片馆作为建筑物图像档案馆。最初的这种摄影测量仅处理地面的正直摄影, 用作建筑物摄影测量, 而并不是首先用作地形测量。

在此期间, 从空中拍摄地面照片的航空摄影并行不悖地发展着。1858 年法国摄影师纳达尔 (Nadar) 乘坐气球在巴黎郊外 80m 上空拍摄了世界上第一张航空像片。1860 年 10 月 13 日, 美国人布莱克 (Black) 利用湿板拍摄了波士顿的航空像片, 1885 年法国人又从 2000 英尺高度的气球上拍摄了巴黎的航空像片。1906 年美国旧金山地震引起了大火灾, 劳伦士 (Rorence) 用 17 只风筝吊着巨型相机, 用 $18\frac{3}{4} \times 48$ 英寸的大底片从空中拍摄了照片。到本世纪初, 怀特兄弟发明了飞机, 飞机制造业突起, 利用飞机进行航空摄影成为可能, 一张法国炮兵阵地的航空像片就是在轻质飞机上拍摄的。

如何用像片来建立和量测被摄物体的位置、形状和大小呢? 在摄影测量发展的早期阶段, 限于当时的计算技术, 不可能对摄影测量的复杂几何关系直接计算, 因此, 人们只好依赖当时的光学和机械学技术, 来重建经缩小的摄影时的几何模型, 这样摄影测量便以模拟法起步了。

摄影测量学发展的早期阶段 (19 世纪末到第一次世界大战前) 中, 一些欧洲学者曾做出了基础的贡献。德国的芬士特瓦尔德 (S. Finsterwalder) 利用投影几何原理提出了空间后方交会和像片对的相对定向和绝对定向概念; 奥地利的向甫鲁 (T. Scheimpflug) 提出像片纠正、双像投影测图仪以及辐射三角测量的概念。耶拿蔡司厂的普弗里希 (C.

Pulfrich) 提出了立体观测的量测原理, 并于 1901 年制造了立体坐标量测仪, 在德国被称为“立体摄影测量之父”; 1909 年根据奥雷尔 (E. Von Orel) 的建议, 蔡司厂制成立体自动测图仪 (Stereoautograph), 可对理想像对进行测图, 至今仍可用于地面摄影测量。

第一次世界大战格外加速了航空摄影测量事业的发展, 摄影机日趋成熟和完善。在第一次世界大战中, 热情的英国飞行员带着相机上天, 拍下了照片, 并绘制出战壕分布位置。尽管英国官方说“绘制战壕位置分布图不是英国皇家空军干的事”, 但空中摄影的明显优点和价值不得不使英国官方很快改变了调子。第一台航空摄影机是第一次世界大战期间在美国由巴格莱 (Bagleg) 和布洛克 (Brock) 制造的。

在两次世界大战之间的 20 年中, 有五、六家欧洲光学仪器公司发展了丰富多彩的模拟仪器结构和新式的摄影镜头。1919 年尼斯特里 (U. Nistri) 在罗马开始制造双像投影仪器, 称为像片测图仪 (Photocartograph), 并于 1922 年投入生产作业。1920 年由海德 (Heyde) 制造的第一台自动测图仪 (Autokartograph) 完工, 开创了威特厂系列航测仪器的起点。1923 年, 蔡司厂造出了立体测图仪 (Stereoplanigraph C5)。

在此同时, 作业方法也有相应的研究和发展。在向甫鲁和芬斯特瓦尔德工作的基础上, 格鲁伯 (O. Von Gruler) 首创辐射三角测量和空中三角测量法。每像对取 6 个标准定向点就是他提出的, 故称格鲁伯点。在这期间航空摄影测量得到了迅速发展。随着 30 年代多倍仪的普及。多倍仪空中三角测量和多倍仪测图技术, 为中、小比例尺地形测图提供了既快又省的途径。除了测制地形图外, 航测也积极用于林业和地质等其它专业中。

20 世纪 30 年代, 苏联发展了将平面位置和高程分别求解的分工法方法, 采用立体坐标量测仪、立体量测仪和单投影器这些结构简单、造价低廉的仪器。分工法在苏联和我国建国初期的中、小比例尺测图中曾得到广泛应用。

在第二次世界大战和朝鲜战争中, 航空摄影用来进行大量的侦察活动, 包括用长焦距摄影机在高空无人驾驶飞机上的侦察摄影。

战后在 50—60 年代, 随着精密机械技术的成熟, 模拟型摄影测量仪器的品种繁多, 性能优良, 达到了高峰。但是到了 70 年代之后, 随着电子计算机技术的普及, 解析测图仪有了飞速的发展和极大的应用价值。人们不再去设计新的模拟测图仪了, 而只是简化主机, 发展仪器与计算机相连接的外围设备, 如记录装置、电子绘图仪和正射投影仪等等。这以后模拟法摄影测量逐步让位于解析摄影测量。

随着电子计算机的问世, 人们自然会想到如何用电子计算机来完成摄影测量中复杂的几何解算和大量的数值计算。

其实, 早在 50 年代, 当欧洲在发展模拟测图仪的时候, 美国人丘奇 (E. Church) 便开始用手摇计算机来发展解析的迭代计算方法。德国人施密特 (H. Schmid) 在美国工作时建立了解析摄影测量的基本理论, 并于 1957—1958 年提出了进行空间区域三角测量的光束法平差的思想。电子计算机在摄影测量中的应用是从解析空中三角测量起步的。首先是在 60 年代推广的航带法平差和航带法区域网平差, 如加拿大的舒特 (Schut) 和我国王之卓, 随后在 70 年代初期, 由阿克曼 (F. Ackermann) 等人发展了独立模型法平差。随着电子计算机容量增大和速度加快, 各种光束法区域网平差也相继问世。在 70—80 年代, 围绕如

何提高摄影测量测定点位的精度和可靠性，人们又集中研究和解决了系统误差补偿和粗差剔除的问题。目前的发展是在空中三角测量中如何利用 GPS 全球定位系统的问题。

当电子计算机问世不久，海拉瓦 (Melava) 就于 1957 年提出了解析测图仪的思想。当时，由于电子管计算机体积庞大，稳定性差，人们对这种用“数字导杆”来取代早已完善的机械导杆抱怀疑态度。但是，经过一段时间的研究之后，在电子计算机飞速进步下，到了 70 年代，解析测图仪便以明显优于模拟测图仪的特点而正式登台，走上了商用阶段。1976 年联邦德国蔡司厂 (Oberkochen) 首次推出了 Planicomp C100 解析测图仪。1980 年瑞士威特厂和克恩厂也相继推出了 AC1, BC1, AC2 和 BC2 以及 DSR1, DSR11 型解析测图仪。蔡司厂也形成了 C100, C110, C120, C130 系列解析测图仪。解析测图仪的价格逐步达到与一级精度模拟测图仪相近的价格，使它在全世界获得广泛的应用。

解析测图仪是世界上首先实现测量成果数字化的仪器，在机助测图软件控制下，将在立体模型上测得的结果首次存在计算机中，然后再传送到数控绘图机上绘出图件。这种以数字形式存贮在计算机中的地图，构成了测绘数据库和建立各种地理信息系统的基础。

为了使解析测图仪量测得到的数字地图更好地满足建立数据库和建立地理信息系统的要求，自 1987 年来，这类仪器已发展到以数据库管理系统控制下的数据采集工作站的第三个发展阶段。例如蔡司厂生产的 P1、P2、P3 型解析测图仪乃是在 PHOCUS 这一航测与制图通用数据库系统下进行数据采集；威特厂和 Prime 公司联合推出的 System-9 以面向特征的数据库管理系统为中心，且在该系统上可配有 BC3 解析测图仪的 P 工作站（摄影测量工作站），或实现地图数字化的 D 工作站，以及图形编辑的 E 工作站；克恩厂的 DSR-15 等解析测图仪也与相应的地学信息系统 INFOCAM 相连接。这样一来，摄影测量就成为地理信息系统获取基础数据和更新数据的重要手段。

与此同时，解析正射投影仪也相继问世，主要有蔡司 Z-2 型和威特厂 OR-1 型两种。它们为起伏地区制作正射像片提供了可能。

解析摄影测量的发展，使得非地形摄影测量不再受模拟测图仪的限制，而有了新的生命力，其中尤其是近景摄影测量。它通过对所测目标进行各种方式摄影来研究和监测其外形和几何位置，包括不规则物体的外形测量，动态目标的轨迹测量，燃烧爆炸与晶体生长，病灶变化与细胞成长等不可接触物体的测量，广泛应用于建筑工程、地质、考古、医学、生物、交通事故、公安侦破、汽车制造、采矿、冶金、船舶安装、结构物变形、粒子运动等方面。

解析摄影测量的进一步发展是数字摄影测量。从广义上讲，数字摄影测量指的是从摄影测量和遥感所获取的数据中，采集数字化图形或数字/数字化影像，在计算机中进行各种数值、图形和影像处理，研究目标的几何和物理特性，从而获得各种形式的数字产品和目视化产品。这里的数字产品包括数字地图、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；这里的目视化产品包括地形图、专题图、纵横剖面图、透视图、正射影像图、电子地图、动画地图等。

获得数字化图形的方法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完成的。也可以直接在更高级的数据库系统下进行数据采集，对采集的数据一般要