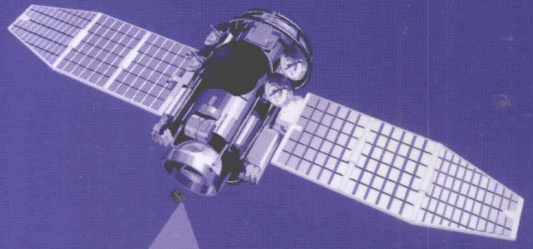


Photogrammetry



# 摄影测量学 基础

杨可明 编



 中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 摄影测量学基础

杨可明 编

## 内 容 提 要

本书根据摄影测量的发展现状,结合编者多年的教学经验,系统地讲述了摄影测量的基本概念、基本理论及解析和数字摄影测量技术。全书内容包括:绪论、航空摄影的基本知识、单张航摄像片解析、双像解析摄影测量、解析空中三角测量、数字摄影测量基础、数字高程模型及其应用、数字微分纠正及摄影测量的外业工作。

本书可作为高等学校测绘工程专业、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

摄影测量学基础/杨可明编. —北京:中国电力出版社, 2011. 7

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1959 - 2

I. ①摄… II. ①杨… III. ①摄影测量学 IV. ①P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 150690 号

中国电力出版社出版、发行

北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:王晓蕾 电话:010-63412610

责任印制:蔺义舟 责任校对:焦秀玲

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2011 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·9.5 印张·230 千字

定价:28.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 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教材。编写本书的宗旨是既要剔除以往教材中陈旧的内容，又要考虑内容的承前启后，顾及摄影测量发展的新技术、新方法，这样有利于初学者的学习及后续的发展。

本书根据摄影测量的发展现状，结合编者多年的教学经验，系统地讲述了摄影测量的基本概念、基本理论及解析和数字摄影测量技术。全书内容包括：绪论、航空摄影的基本知识、单张航摄像片解析、双像解析摄影测量、解析空中三角测量、数字摄影测量基础、数字高程模型及其应用、数字微分纠正及摄影测量的外业工作。

本书可作为高等学校测绘工程、地理信息系统和其他相关专业的教材，也可供测绘工程技术人员学习参考。

本书由中国矿业大学（北京）杨可明编写。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

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	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
1.3 摄影测量与遥感的结合 .....	5
1.4 摄影测量学与测绘学科的关系 .....	6
习题与思考题.....	8
<b>第 2 章 航空摄影的基本知识</b> .....	9
2.1 摄影的基本原理 .....	9
2.2 航空影像的获取.....	13
2.3 中心投影的基本知识.....	18
2.4 航空摄影的基本要求.....	20
习题与思考题 .....	24
<b>第 3 章 单张航摄像片解析</b> .....	25
3.1 航摄像片上特殊的点、线、面.....	25
3.2 摄影测量常用的坐标系.....	26
3.3 航摄像片的内、外方位元素.....	29
3.4 像点的空间直角坐标变换.....	31
3.5 中心投影构像方程与投影变换.....	38
3.6 航摄像片的像点位移与构像比例尺.....	41
3.7 单张像片的空间后方交会.....	44
习题与思考题 .....	50
<b>第 4 章 双像解析摄影测量</b> .....	52
4.1 立体视觉原理.....	52
4.2 航摄像对的立体观察与立体量测.....	54
4.3 双像解析摄影测量的基本概念与方法.....	60
4.4 空间后方交会—前方交会算法.....	61
4.5 解析法相对定向.....	65
4.6 模型点坐标的计算.....	72
4.7 立体模型的绝对定向.....	74
4.8 光束法双像解析摄影测量.....	78
习题与思考题 .....	81
<b>第 5 章 解析空中三角测量</b> .....	82
5.1 概述.....	82

5.2	航带网法空中三角测量	84
5.3	独立模型法区域网空中三角测量	88
5.4	光束法区域网空中三角测量	90
5.5	精度分析与 GPS 辅助空中三角测量	92
5.6	自动空中三角测量概述	94
	习题与思考题	97
<b>第 6 章</b>	<b>数字摄影测量基础</b>	<b>98</b>
6.1	概述	98
6.2	数字影像及数字影像重采样	98
6.3	基于灰度的数字影像相关	100
6.4	核线相关与同名核线的确定	104
6.5	数字摄影测量系统	107
	习题与思考题	110
<b>第 7 章</b>	<b>数字高程模型及其应用</b>	<b>111</b>
7.1	数字地面模型的概念	111
7.2	数字高程模型的数据获取与预处理	113
7.3	数字高程模型的内插方法	115
7.4	数字高程模型的数据存储	120
7.5	三角网数字高程模型	123
7.6	数字高程模型的应用	126
	习题与思考题	127
<b>第 8 章</b>	<b>数字微分纠正</b>	<b>128</b>
8.1	数字微分纠正的概念	128
8.2	数字微分纠正方法	129
8.3	数字正射影像图的制作	131
	习题与思考题	132
<b>第 9 章</b>	<b>摄影测量的外业工作</b>	<b>133</b>
9.1	摄影测量外业工作	133
9.2	像片控制点的布设	134
9.3	像片控制点的选刺与整饰	137
9.4	像片控制点的联测	140
9.5	像片解译与调绘	142
	习题与思考题	144
	<b>参考文献</b>	<b>146</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 摄影测量学的定义和任务

### 1.1.1 摄影测量学的定义和任务

摄影测量学 (Photogrammetry) 是利用光学或数码摄影机摄得的影像, 研究被测物体信息的获取、处理、提取和成果表达的一门信息科学, 是研究和确定被摄物体的形状、大小、性质和相互关系的一门学科与技术。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。

摄影测量学是测绘学的分支学科, 它的主要任务是测绘各种比例尺的地形图, 建立地形数据库或数字地面模型, 进行影像的分析与应用, 为各种地理信息系统 (GIS) 和土地信息系统 (LIS) 提供基础数据。摄影测量学要解决的主要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, 交会出构成这两摄影光线的特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被摄物体信息是摄影测量学的主要研究方向之一。

摄影测量的主要特点是在影像上进行测量和解译, 无需接触物体本身, 因而很少受气候和地理等条件的限制。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。摄影测量适用于大范围地形测绘, 成图快, 效率高; 产品形式多样, 可以生成纸质地形图、数字线划图 (Digital Line Graphics, DLG)、数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)、数字正射影像 (Digital Orthophoto Map, DOM) 和数字栅格地图 (Digital Raster Graphics, DRG) 等地图产品。其中 DEM、DOM、DRG、DLG 被合称为 4D 数字产品。

摄影测量学的应用领域十分广泛。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。被摄影物体可以是固体、液体或气体; 可以是静态的或动态的; 可以是微小的 (如电子显微镜下的细胞) 或巨大的 (宇宙星体)。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、农业、环境、气象、军事、考古等方面。因此, 摄影测量学可成为多方面应用的一种测量手段和数据采集与分析的方法。

### 1.1.2 摄影测量学的分类

摄影测量学可从不同角度进行分类。

按摄影距离的远近, 摄影测量学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。地面摄影测量是将摄影机安装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



## 2 摄影测量学基础

1:5000~1:10万比例尺的国家基本图和大型工程勘察设计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。航天摄影测量又称为遥感技术,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、地质调查、地形测绘和军事侦察等领域,也可用于农业、林业、气象等领域。

按用途的不同,摄影测量学可分为地形摄影测量与非地形摄影测量。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。

按处理技术手段(或发展阶段)的不同,摄影测量学可分为模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量。模拟法摄影测量是摄影过程的几何反转,其成果为各种图件,如地形图、专题图等,它必须经过数字化才能进入计算机中。解析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GIS提供基础地理信息。

### 1.2 摄影测量学的发展概况

摄影测量发展至今,经历了模拟法摄影测量、解析法摄影测量和数字摄影测量三个发展阶段。

#### 1.2.1 模拟法摄影测量阶段

1839年法国人Daguerre(达盖尔)和Niepce(尼普斯)发明了摄影技术,摄影测量学开始了它的发展历程,因此摄影测量已经有170多年的历史。1851~1859年法国人Aime Laussedat(劳赛达特)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(普尔弗里希)制成了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(奥雷尔)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年在奥地利成立了国际摄影测量学会(International Society for Photogrammetry, ISP),后更名为国际摄影测量与遥感学会(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS)。

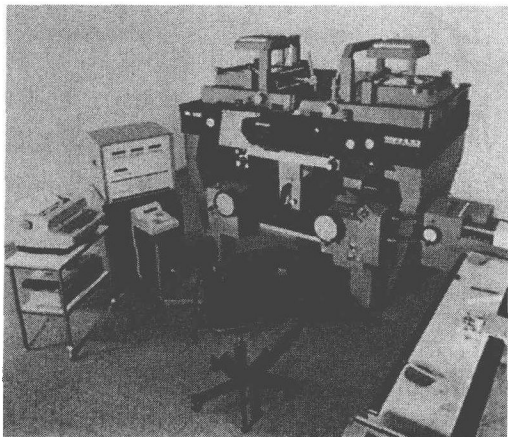


图1-1 Wild公司的A10模拟立体测图仪

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实验。1858年Nadar(纳达)成功地在气球上拍摄到地面的照片。1903年美国的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。利用飞机进行航空摄影,促使了航空摄影测量迅速发展。

20世纪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量仪器（如图 1-1 所示为 Wild 公司生产的 A10 模拟立体测图仪），这些仪器主要是用于地面摄影测量。此阶段是模拟航空摄影测量的黄金时代。在我国它一直延伸到 20 世纪 70 年代。我国航空摄影测量始于 1930 年，1949 年后进入兴旺发达时期。

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 1-2 所示。这一模拟过程就是实现摄影过程的几何反转。

### 1.2.2 解析法摄影测量阶段

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。由于电子计算机的问世，人们自然想到如何用它来完成摄影测量中复杂的几何解算和大量的数值计算，从此开辟了解析摄影测量的新纪元。20 世纪 30 年代开始研究解析法空间前方交会、后方交会和双点交会；20 世纪 50 年代发展了解析空中三角测量（精确测定点位的摄影测量方法）、解析测图仪与数控正射投影仪（利用数字投影方法进行量测、制图和制作正射像片）。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间三角测量。

电子计算机技术的发展使航测成图时所需地面控制点的摄影测量加密已发展到使用电子计算机及相应软件阶段，称为测图控制点加密的解析空中三角测量。它是运用建立投影光束，单个模型，航带模型或区域的数学模型，根据少量地面控制点按最小二乘法原理进行平差计算，解求出各加密点的地面坐标和测图时所需的像片外方位元素。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。

解析法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的思想，并于 20 世纪 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 20 世纪七八十年代，解析测图仪得到了快速发展，欧美许多著名的摄影测量仪器制造商，如德国的 Zeiss（蔡司）、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领域。图 1-3 是 1976 年德国首次推出 Planicomp C-100 解析测图仪，图 1-4 是 Zeiss 公司的 C-100 解析测图仪。解析测图仪由一台立体坐标测量仪，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。

解析测图仪是世界上首先实现测量成果数字化的仪器。我国在 20 世纪 60 年代初期也开始了此项工作的起步。解析测图仪在机助测图软件控制下，将在立体模型上测得的结果存于计算机中，最后由数控绘图仪绘图。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。1987 年后，解析测图仪的发展进

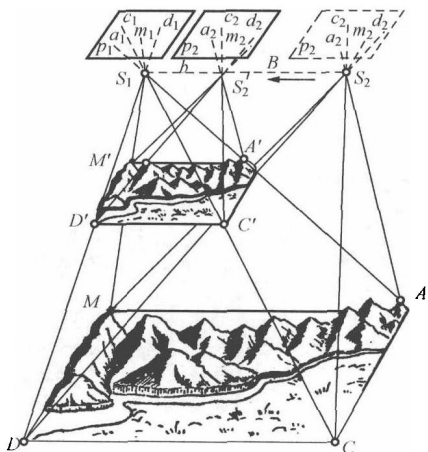


图 1-2 模拟摄影测量的基本原理

#### 4 摄影测量学基础

人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 GIS 基础数据获取和数据更新的重要手段，也使测量与编图融为了一体。20 世纪 80 年代，我国也相继研制出 HT、JX-1、APS-1、DPG 等型号的解析测图仪。

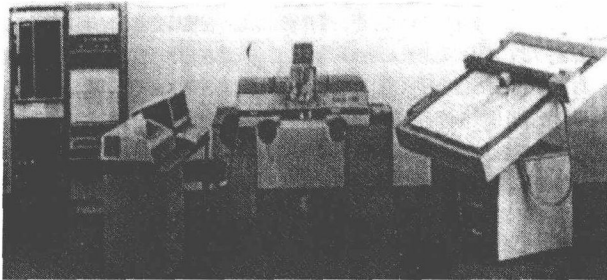


图 1-3 Planicom C-100 解析测图仪

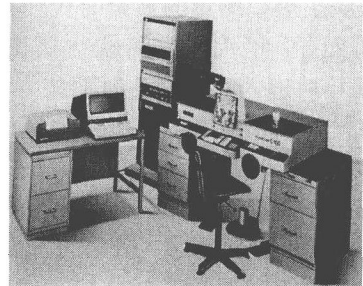


图 1-4 Zeiss 公司的 C-100 解析测图仪

### 1.2.3 数字摄影测量阶段

解析法摄影测量的进一步发展是数字摄影测量。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的测量阶段。

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，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。获得数字/数字化影像的方法有两种：一种是直接用数字摄影机（如 CCD 阵列扫描仪）、数码相机和各种数字式扫描仪获得，称为数字影像；另一种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。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、GIS 和 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。

美国于 20 世纪 60 年代初研制成全数字自动化系统 DAMC，它是把模拟的像片进行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。武汉大学研制的 VirtuoZo 全数字自动化测图系统（图 1-5）和中国测绘科学研究院研制的 JX-4A 数字摄影测量工作站（图 1-6）都属于目前世界上较成功的系统。

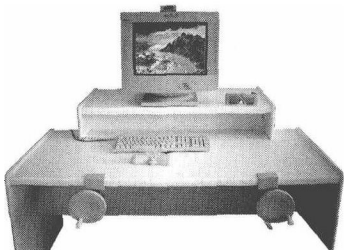


图 1-5 VirtuoZo 全数字自动化测图系统

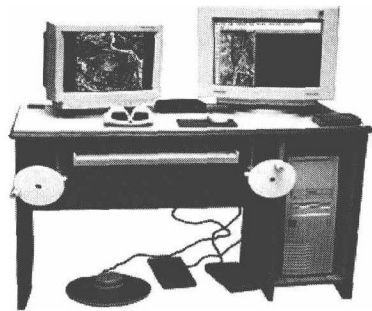


图 1-6 JX-4A 数字摄影测量工作站

总之,数字摄影测量是一门相对年轻的学科。由于它利用计算机替代“人眼”,使得其无论在理论上还是在实践上都得到迅速的发展,而且它正在与新的传感器和其他的测量仪器等相结合起来。

综上所述,摄影测量经历了模拟法、解析法和数字化三个发展阶段,而数字摄影测量的内涵已远远超过传统摄影测量的范围。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;其产品的形式是数字的,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。表1-1列出了摄影测量三个发展阶段的特点。

表 1-1 摄影测量三个发展阶段的特点

发展阶段	原始资料	投影方式	仪器	操作方式	新产品
模拟法摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	手工	模拟产品
解析法摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助	模拟/数字产品
数字摄影测量	像片 数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化+人工交互	数字产品 模拟产品

### 1.3 摄影测量与遥感的结合

随着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不断扩大,已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。只要物体能够被摄成影像,都可使用这一技术。由于其具有非接触传感的特点,自20世纪70年代以来,从侧重于解译和应用角度,又提出了“遥感”一词。

20世纪70年代以来,美国陆地资源卫星(Landsat)上天后,使得遥感(Remote Sensing, RS)作为一门新兴的技术得到了极为广泛的应用,全世界很快重视起来。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)阵列扫描与数字摄影,以及合成孔径侧视雷达(SAR)等,它们提供了比黑白像片更丰富的影像信息。传感平台围绕地球长期运转,提供了大量的多时相、多光谱、多分辨率的丰富影像信息。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。

摄影测量与遥感是一种探测物体而又不接触物体的技术,是如何从摄影测量与遥感影像中,提取GIS和其他空间信息系统所需要的基础空间信息。正是由于遥感技术对摄影测量学的作用,早在1980年汉堡大会上,国际摄影测量学会(ISP)正式更名为国际摄影测量与遥感学会(ISPRS),包括中国在内的世界各有所相应的变动。1988年,ISPRS在日本京都召开的第16届大会上给摄影测量与遥感作了定义: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、技术和科学。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。

遥感技术对摄影测量学的冲击和作用首先在于：它打破了摄影测量学长期以来过分局限于测绘物体形状与大小等数据的几何处理，尤其是航空摄影测量长期以来只偏重于测制地形图的局面。进入 20 世纪 80 年代以后，遥感技术的新的跃进再次显示了它对摄影测量的巨大作用：首先是航天飞机作为遥感平台或发射手段，可重复使用和返回地面，大大提高了遥感应用的性能与价格比；更重要的是许多新的传感器的地面分辨率（空间分辨率）、温度分辨率、光谱分辨率（光谱带数）和时间分辨率（重复周期）都有了很大提高。此外，作为主动遥感的侧视雷达在进行对地观测、海洋研究和陆地资源探测方面极有发展前途。

从另一方面讲，我们也应当看到解析摄影测量，尤其是数字摄影测量对遥感技术发展的推动作用：遥感图像的高精度几何定位和几何纠正就是解析摄影测量现代理论的重要应用；数字摄影测量中的影像匹配理论可用来实现多时相、多传感器、多种分辨率遥感图像的复合和几何配准；自动定位理论可用来快速、及时地提供具有“地学编码”的遥感影像；摄影测量的主要成果（如 DEM、地形测量数据库和专题数据库），乃是支持和改善遥感图像分类效果的有效信息；至于像片判读和图像分类的自动化和智能化则是摄影测量和遥感技术共同研究的课题。

总之，一个现代的数字摄影测量系统与一个现代遥感图像处理系统已看不出有什么本质差别。

事实上，摄影测量学历史，就是遥感发展的历史；而遥感技术则是传统摄影测量学发展的必然趋势。两者有机地结合起来，已成为地理信息系统（GIS）技术中数据采集和更新的重要手段。

## 1.4 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、图片和其他资料。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，相传公元前两千年夏朝《九鼎》就是一幅体现测绘技术的原始地图。摄影测量学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，因此摄影测量学的发展，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。

### 1.4.1 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,因此其与大地测量学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。

#### 1.4.2 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适用于航测测图,也可用于地图编辑。在计算机制图方面,两者可融为一体。

#### 1.4.3 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。它的主要任务是进行工程规划、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(DEM、DLG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。

#### 1.4.4 与地籍测量学的关系

地籍测量的主要任务是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。

#### 1.4.5 与海洋、军事测绘的关系

以海洋、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,作为一名测绘工作者,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。

## 习题与思考题

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. 通过什么方法可将测绘成果与地理信息系统结合起来？
5. 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何关系？

## 第 2 章 航空摄影的基本知识

摄影测量是在物体的影像上进行量测与判译,因此,摄影测量的前期工作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 摄影的基本原理

#### 2.1.1 摄影的基本原理概述

摄影的实质是根据小孔成像的原理,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。

#### 2.1.2 摄影机的基本结构

摄影的主要工具是摄影机。摄影机的种类很多,但其基本结构大致相同,主要由镜箱和暗箱两部分组成,如图 2-1 所示。

镜箱包括物镜筒、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。物体的投射光线经物镜聚焦后进入摄影机,成像于像框平面上。镜箱体是一个封闭筒,用来调节摄影物镜与像框平面之间的距离。暗箱用来存放感光材料,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。而测量专用的摄影机镜箱和暗箱是可以分开的,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。

##### 1. 摄影物镜

摄影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,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,一般摄影物镜都是由几个凸、凹透镜组合而成。

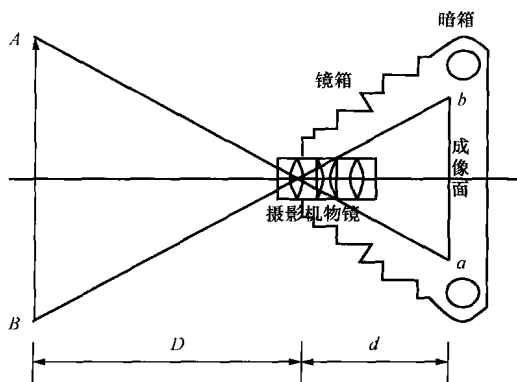


图 2-1 摄影机构造示意图



光学透镜的镜面通常制成球面状，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 2-2 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。物方主点  $S$  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相互对应的。

如图 2-3 所示，从主光轴外的物点，如在由物点  $A$  发射的诸入射光线和经物镜出射的诸成像光线中，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  $\beta$  和出射成像光线与主光轴的夹角  $\beta'$  恰好相等，即  $\angle\beta = \angle\beta'$ ，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。

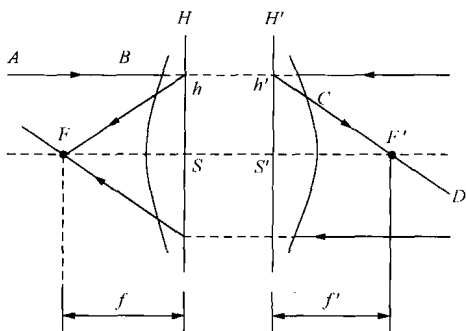


图 2-2 物镜的主平面、主点、焦点

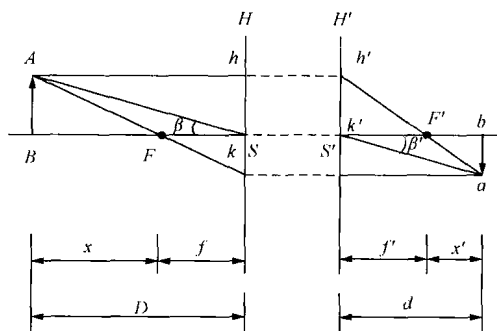


图 2-3 物方节点与像方节点

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，一对节点正好与一对主点重合，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. 物镜的成像公式

根据图 2-3，设某一物点  $A$  到物方主平面  $H$  的距离为  $D$ ，称为物距。其成像点  $a$  到像方主平面  $H'$  的距离为  $d$ ，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

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

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

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

式(2-2)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. 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,它由多个瓣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。光圈的作用在于:可调节物镜使用面积的大小和进入物镜的光量。

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的作用,其断面为  $A = \pi r^2 = \frac{1}{4} \pi \delta^2$ 。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  $\delta$  表示,如图2-4所示。

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  $\delta$  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  $\delta$  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 ( $\delta/f$ )。相对孔径的倒数  $k = f/\delta$ ,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  $M = Et$  (其中  $E$  为照度,  $t$  为曝光时间)。

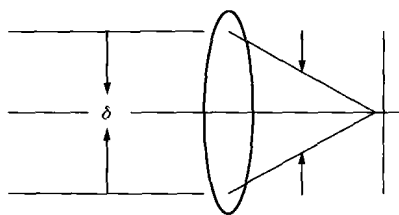


图2-4 有效孔径

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{t_2}{t_1} \quad (2-3)$$

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{k_2^2}{k_1^2} \quad (2-4)$$

由此得

$$\frac{t_2}{t_1} = \left( \frac{k_2}{k_1} \right)^2 \quad (2-5)$$

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数的排列顺序是以  $\sqrt{2}$  为公比的等比数列,如一般光圈号数为

1.4 2 2.8 4 5.6 8 11 16 23 32

光圈号数越大,光通量越小。光圈号数每改变一档,相应曝光时间应改变一倍,就能够保持相同的曝光量,取得同等的构像亮度。如果保持原光圈号数不变,而曝光时间改变一档,或者曝光时间改变一档,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。