

普通高等院校测绘课程系列规划教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO CEHUI KECHENG XILIE GUIHUA JIAOCAI

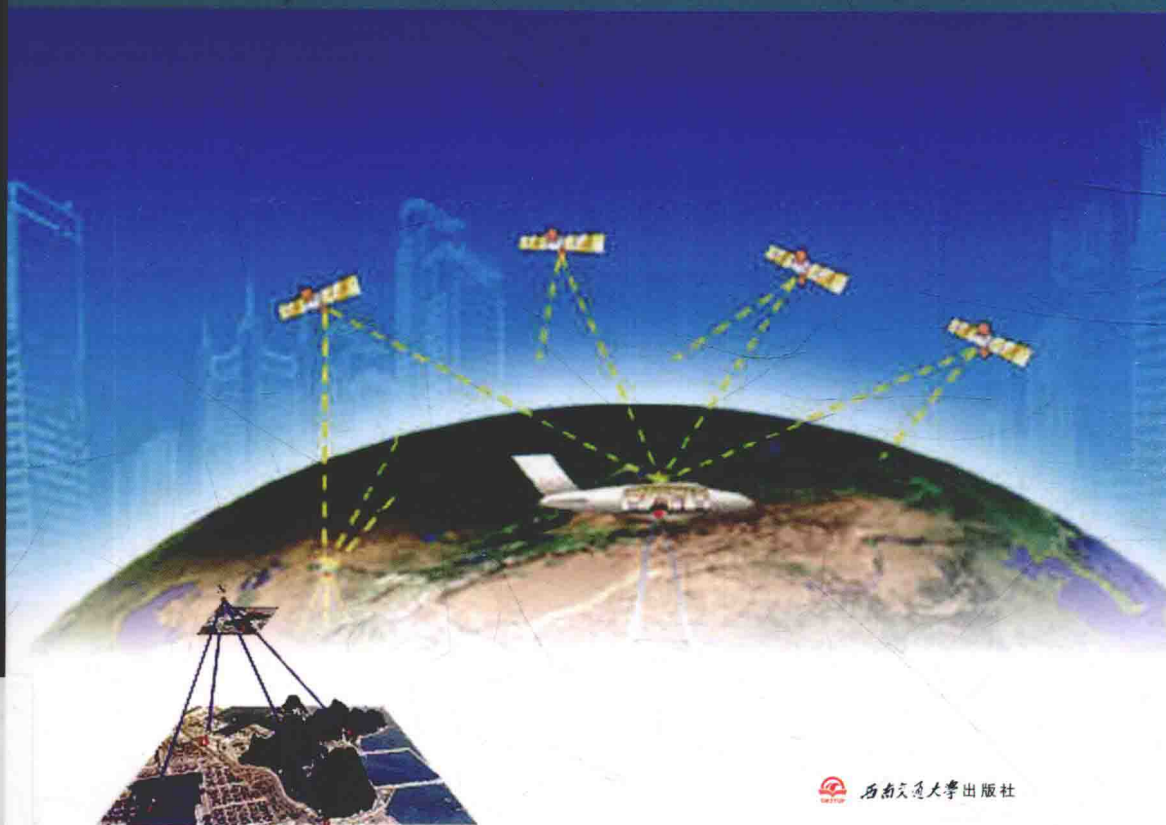


SHEYING CELIANGXUE

摄影测量学

主 编 \ 潘洁晨

副主编 \ 王冬梅 李爱霞



西南交通大学出版社

普通高等院校测绘课程系列规划教材

摄影测量学

主 编 潘洁晨

副主编 王冬梅 李爱霞

参 编 文 睿 蔡庆空



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

摄影测量学 / 潘洁晨主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.9

普通高等院校测绘课程系列规划教材

ISBN 978-7-5643-4966-0

I. ①摄… II. ①潘… III. ①摄影测量学 - 高等学校 - 教材 IV. ①P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 205509 号

普通高等院校测绘课程系列规划教材

摄影测量学

主编 潘洁晨

责任编辑	柳堰龙
封面设计	何东琳设计工作室 西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	13.75
字 数	340 千
版 次	2016 年 9 月第 1 版
印 次	2016 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4966-0
定 价	35.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校测绘课程系列规划教材

编审委员会

编审委员会主任：黄丁发

编审委员会副主任：郑加柱 方渊明

编委会成员：（以姓氏笔画为序）

马飞虎	马玉晓	王卫红	王化光	王增武
史玉峰	叶险峰	左小清	石信喜	刘国栋
刘绍堂	刘贵明	刘福臻	吉长东	邢文战
何立恒	余代俊	张 飞	张文君	张国辉
张明华	张燕茹	李长春	李保平	杨久东
杨明强	汪金花	沙从术	肖东升	陈绍杰
林友军	青 盛	胡圣武	徐 兮	聂启祥
高德政	程海琴	蒋端波	鲁小平	满 旺
潘国兵	潘建平	潘炳玉		

前 言

摄影测量学是测绘学的一门分支学科,随着信息时代的发展,3S 技术逐渐成熟,数字地球逐步发展,先进的仪器设备制造产业。摄影测量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。空间定位技术、解析空中三角测量、DOM 制作、影像匹配、自动变换匹配是摄影测量的核心技术,围绕着这些方法技术,摄影测量学的发展将更加完善。

随着科学技术的不断进步,摄影测量技术的发展也经历了模拟—解析—数字等不同阶段,本书在介绍摄影测量基本原理、方法与内涵时,对于模拟摄影测量部分仅做了适当的扼要介绍,进而过渡到解析与数字摄影测量,并介绍了摄影测量目前新技术倾斜摄影测量。这样既使初学者容易理解掌握所学基础理论内容,又有利于其了解摄影测量学科最新技术的发展。本教材系统介绍了影像信息的获取、摄影测量学的基础理论知识、外业控制及信息加工处理的知识,有利于学习者与所学其他专业知识的有机融合。另外,在附录中增加了目前生产上使用最广泛的数字摄影测量系统 MapMatrix 的实践操作。

本书由河南工程学院潘洁晨担任主编,王冬梅(黄河水利职业技术学院)、李爱霞(浙江水利水电学院)担任副主编。具体分工如下:第 1 章和第 8 章由蔡庆空(河南工程学院)编写;第 2 章由文睿(河南工程学院)编写;第 3 章和第 7 章由王冬梅(黄河水利职业技术学院)编写;第 4 章和第 5 章及附录由潘洁晨(河南工程学院)编写;第 6 章和第 9 章由李爱霞(浙江水利水电学院)编写。全书由潘洁晨负责统稿、定稿,并对部分章节进行补充和修改。

由于作者水平有限且时间仓促,书中尚有不足与不妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。有任何建议和意见请随时和我们联系(E-mail: pjc903@163.com),我们将及时给予回复,并将意见反馈在再版教材中。

编 者

2016 年 6 月

目 录

第1章 绪 论	1
第1节 摄影测量学的定义和任务及分类	1
第2节 摄影测量学的发展阶段与发展趋势	2
第2章 摄影与航空摄影	9
第1节 摄影机概述	9
第2节 各类摄影机简介	12
第3节 航空摄影	20
第4节 遥感影像	28
第3章 摄影测量基础知识	32
第1节 中心投影的基本知识	32
第2节 透视变换中重要点、线、面	34
第3节 摄影测量常用的坐标系统	39
第4节 航摄像片的内、外方位元素	42
第5节 像点空间直角坐标的变换	46
第6节 中心投影的构像条件方程	53
第7节 航摄像片上的像点位移	56
第8节 航摄像片的构像比例尺	61
第4章 立体测图原理与方法	65
第1节 人眼的构造和立体视觉	65
第2节 像对立体观察和立体量测	69
第3节 双像立体测图的基本原理	74
第4节 像点坐标量测	78
第5章 双像解析摄影测量基础	80
第1节 双像解析摄影测量的概念	80

第2节	单像空间后方交会	81
第3节	立体像对的前方交会	88
第4节	立体像对的相对定向与相对定向元素	91
第5节	立体像对解析法相对定向	93
第6节	立体模型的解析法绝对定向	101
第7节	双像解析的光束法严密解	106
第6章	解析空中三角测量	110
第1节	解析空中三角测量概述	110
第2节	航带网法空中三角测量	113
第3节	独立模型法区域网空中三角测量	120
第4节	光束法区域网空中三角测量	122
第5节	三种区域网平差方法比较	124
第6节	解析空中三角测量精度分析	125
第7节	GPS 辅助空中三角测量	127
第8节	自动空中三角测量	128
第7章	数字摄影测量基础	132
第1节	概 述	132
第2节	数字影像及数字影像的获取	136
第3节	数字影像相关	143
第4节	核线相关与同名核线的确定	145
第5节	数字摄影测量系统	150
第8章	像片纠正与正射影像图	165
第1节	像片纠正的概念与分类	165
第2节	数字微分纠正	168
第3节	数字正射影像图的制作方法	171
第9章	摄影测量的外业工作	173
第1节	摄影测量外业工作任务及作业流程	173
第2节	摄影测量外业控制测量工作	174
第3节	像片判读	180
第4节	像片调绘	185

附录 MapMatrix4.1 多源空间信息综合处理平台操作实践.....	191
第 1 节 工程创建	191
第 2 节 内定向	197
第 3 节 相对定向	198
第 4 节 绝对定向	200
第 5 节 核线采样与影像匹配	202
第 6 节 生成 DEM.....	204
参考文献	210

第1章 绪论

【学习目标】

理解摄影测量学的定义。掌握基于摄影距离的分类方法,了解航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量等各自的定义。掌握基于研究对象的分类方法,了解地形摄影测量和非地形摄影测量各自的主要任务。了解摄影测量学的任务,清楚摄影测量学的地位和作用。掌握基于摄影测量技术方法的分类方法,了解模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量的特点。了解摄影测量的历史及发展概况,清楚摄影测量学发展过程、现状和发展趋势。通过本章的学习,建立对摄影测量学的总体认识,培养对测绘科学的学习兴趣。

第1节 摄影测量学的定义和任务及分类

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,研究单张和多张像片影像的处理方法,包括理论、设备和技术,以及将所测得的成果以图解形式或数字形式输出的方法和设备。

摄影测量的主要特点有:被摄对象可以是固体、液体或气体,可以是动态或静态的,可以是巨大的宇宙星体,也可以是微小的细胞组织;在影像上进行量测与解译等处理,无须接触物体本身,因此较少受到自然和地理条件的限制;可以获得动态物体的瞬间影像,完成常规方法中难以实现的测量工作,地形测绘范围大、成图快、效率高;获得的像片及其他各种类型影像均是客观物体或目标的真实反映,信息丰富、逼真,可以从中获得所研究物体的大量几何信息和物理信息;产品形式可以是纸质地形图、数字线划图(DLG)、数字高程模型(DEM)和数字正摄影像(DOM)等地图产品。

作为测绘学的分支学科,摄影测量学的主要任务是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个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。影像解译是确定影像对应地物的性质。目前,采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发展方向之一。

随着航空航天技术和电子技术的飞速发展,摄影测量学科领域的研究对象和应用范围不断扩大。20 世纪 70 年代,美国陆地卫星发射成功,使得遥感技术作为一门新兴技术得到了广泛应用。在遥感技术中,传感器类型除了传统摄像机以外,还包括多光谱扫描仪、成像光谱仪、合成孔径侧视雷达等,这些传感器能够提供多时相、多光谱、多分辨率的影像信息。随着摄影测量的发展,摄影测量与遥感之间的界限变得越来越模糊,并逐步发展为摄影测量与遥感学科。正因为如此,国际摄影测量与遥感学会 ISPRS (International Society Photogrammetry and Remote Sensing) 于 1988 年在日本京都召开的第 16 届大会上给出摄影测量与遥感的定义: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,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

摄影测量按摄影机平台的位置不同可分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量、水下摄影测量和显微摄影测量。航天摄影测量又称遥感技术,是将传感器安置在航天器或卫星上对地面进行遥感,用于资源调查、环境保护、灾害监测、地形测绘、农业、林业、地质调查和军事侦察等领域。航空摄影测量是将摄影机安置在飞机平台上对地面进行摄影,主要用于测制各种比例尺的地形图。地面摄影测量是将摄影机安置在地面上对目标进行摄影,主要包括地面立体摄影测量和近景摄影测量。水下摄影测量是将摄影机置于水中,对水中的目标进行测量或对水下地表面进行摄影以获得水下地形图。显微摄影测量是将微小目标物放大几千倍甚至上万倍的情况下进行摄影成像。

按研究对象的不同,摄影测量又分为地形摄影测量和非地形摄影测量。地形摄影测量是以地表形态为研究对象,生产各种比例尺的地图产品。非地形测量一般是指近景摄影测量,其研究对象体积和面积较小,摄影机离目标距离较近,主要用于工业、建筑、考古、生物医学、变形监测、弹道轨道与军事侦察等方面。

按摄影测量技术处理手段的不同,摄影测量可分为模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。

第 2 节 摄影测量学的发展阶段与发展趋势

一、摄影测量的发展阶段

摄影测量发展至今可分为模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量三个发展阶段。

(一) 模拟摄影测量

1839 年达古赫 (Daguerre) 研制出第一张像片之后,摄影测量学开始了它的发展历程。

1851—1859 年法国陆军上校劳赛达 (A. Laussedat) 提出并进行的交会摄影测量, 被称为摄影测量学的真正起点, 但该技术仅限于处理地面的正直摄影, 主要用于建筑物摄影测量。1901 年国际摄影测量学会 ISP (International Society for Photogrammetry) 成立, 之后又更名为国际摄影测量与遥感学会 ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)。20 世纪初, 维也纳军事地理研究所按奥雷尔的思想制成了“立体自动测图仪”, 后来由德国卡尔·蔡司厂进一步发展, 成功地制造了实用的“立体自动测图仪”。经过半个世纪的发展, 到 20 世纪 60—70 年代, 这类仪器发展到了顶峰。为了避免烦琐的计算, 人们只好利用光学器械“模拟”装置, 通过这些仪器来交会被测物体的空间位置, 实现了复杂的摄影测量计算, 这就是所谓的“模拟摄影测量”阶段。在模拟摄影测量阶段, 摄影测量的发展基本是围绕昂贵的立体测图仪进行的。根据投影方式的不同, 模拟测图仪分为光学投影、光学-机械投影、机械投影三种类型。图 1.1 为 Wild A10 模拟立体测图仪。

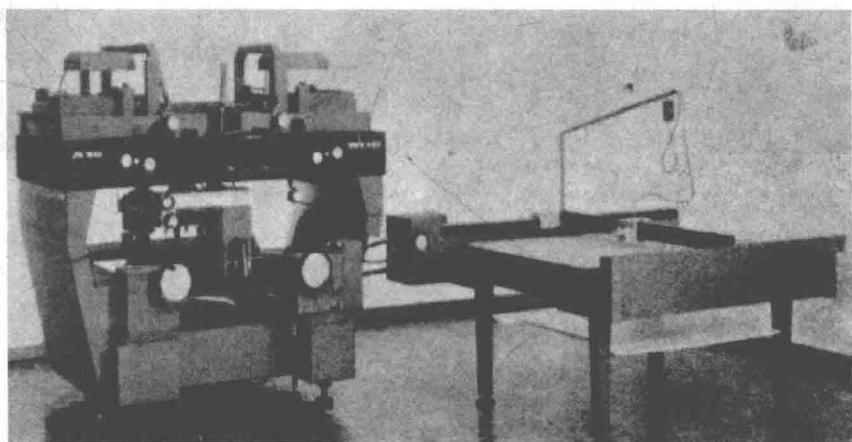


图 1.1 Wild A10 模拟立体测图仪

(二) 解析摄影测量

随着模/数转换技术的实用化、计算机技术与自动控制技术的发展, Helava (海拉瓦博士) 于 1957 年提出了一个摄影测量的新概念, 即“用数字投影代替物理投影”, 标志着解析摄影测量的开始。所谓“物理投影”就是指“光学的、机械的, 或光学-机械”的模拟投影。“数字投影”就是利用计算机实时地进行共线方程的解算, 从而交会得到被摄物体的空间位置, 从此迈进了“解析摄影测量”阶段。解析摄影测量是以电子计算机为主要手段, 通过对摄影像片的量测和解析计算方法的交会方式来研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质及其相互关系, 并提供各种摄影测量产品的一门科学。

1976 年召开的国际摄影测量大会上, 七家仪器厂商展示了 8 种型号的解析测图仪, 解析测图仪才逐渐成为摄影测量的主要测图仪。到 20 世纪 70 年代末至 90 年代初, 解析测图仪的发展进入鼎盛时期, 并进入民用领域。摄影测量在这一时期代表性的仪器设备是“解析立体测图仪”。图 1.2 为德国 Zeiss 厂 C-100 型解析测图仪, 图 1.3 为瑞士 Kern 厂 DSR-1 型解析测图仪。

解析摄影测量的发展, 使其不再受模拟测图仪的限制, 而具备了新的活力。通过对待测

目标进行各种方式的摄影,进而研究和监测器外形和几何位置,如不规则物体的外形测量、动态目标的轨迹测量、病灶变化与细胞成长等不可接触的测量,解析摄影测量的应用领域十分广泛。

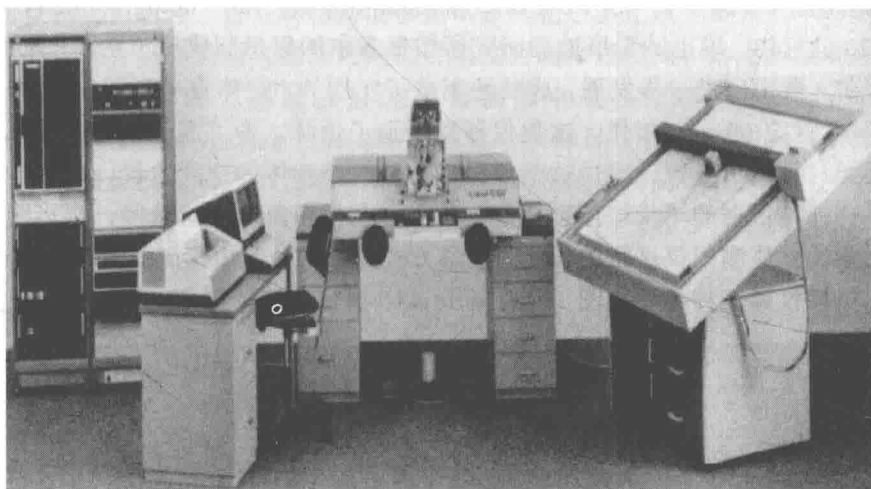


图 1.2 德国 Zeiss 厂 C-100 型解析测图仪

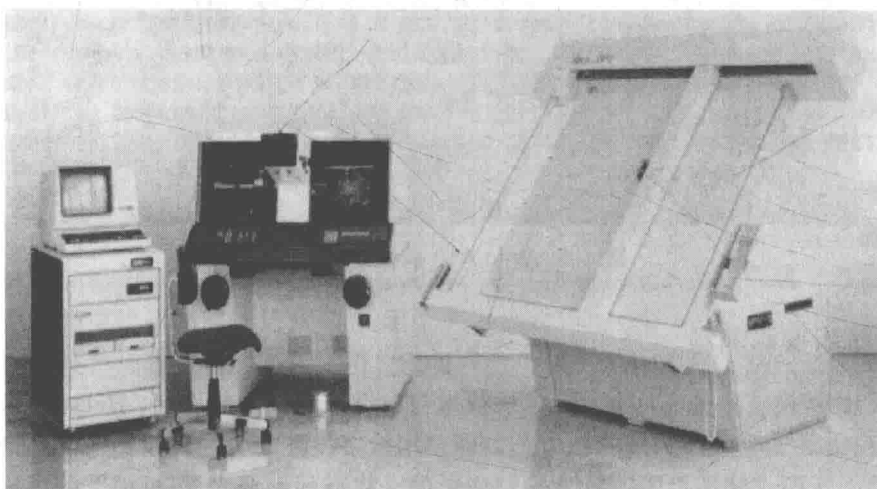


图 1.3 瑞士 Kern 厂 DSR-1 型解析测图仪

(三) 数字摄影测量

用影像相关(或影像匹配)技术代替人眼立体量测与识别,实现影像几何与物理信息的自动提取,标志着数字摄影测量阶段的到来。数字摄影测量是基于摄影测量的基本原理,通过对所获取的数字/数字化影像进行处理,自动(半自动)提取被摄对象用数字方式表达的几何与物理信息,从而获得各种形式的数字化产品和目视化产品。随着计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的不断发 展,数字摄影测量已被公认为摄影测量的第三个发展阶段。20 世纪 60 年代初,美国研制出全数字自动化系统 DAMC,它是将由影像灰度

转换成的电信号再转变成数字信号,然后由计算机来实现摄影测量的自动化过程。1992年国际摄影测量与遥感大会上推出了基于 SUN、SGI 工作站的数字摄影测量系统。数字摄影测量与模拟、解析摄影测量的最大区别在于:它处理的原始信息不仅可以是像片,更主要的是数字影像或数字化影像;它最终是以计算机视觉代替人眼的立体观测,因而它所使用的仪器最终将只是通用计算机及其相应外部设备;其产品形式是数字的,包括数字地图、数字地面模型、数字正摄影像和数字景观图等。

20 世纪 90 年代数字摄影测量进入实用化阶段,并逐步取代传统的摄影测量仪器和作业方法。我国自主研制的全数字摄影测量系统 VirtuoZo(原武汉测绘科技大学)与 JX-4A(中国测绘科学研究院研制)已大规模应用于摄影测量生产中,并在国际上得到了应用。图 1.4 为 JX-4A 数字摄影测量工作站。



图 1.4 JX-4A 数字摄影测量工作站

表 1.1 列出了摄影测量发展的三个阶段的特点。

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	产品
模拟摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	手工操作	模拟产品
解析摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助 作业员操作	模拟产品 数字产品
数字摄影测量	数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作 +作业员干预	数字产品 4D

二、摄影测量的现状与发展趋势

传统的摄影测量经历着不断的发展,它不仅仅由“摄影测量”发展为“摄影测量与遥感”,而就其本身而言,它已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”发展阶段,进入数字摄影测量阶段。而“实际上,摄影测量发展到数字摄影测量时期就是遥感”(王之卓语)。它将给摄影测量带来前所未有的革命,给摄影测量赋予全新的面貌。由此产生的数字摄影测量工作站必将以其无可比拟之优点,代替所有的常规的摄影测量仪器和设备,同时也将与遥感以及地理信息系统更加紧密地结合起来,最终发展成为不可分割的集成系统。

(一) 从遥感的发展看摄影测量的发展

王之卓教授指出:遥感与摄影测量的具体内容可以相差很多,但都是因为两者所处的时代不同,科技水平不同,而本质都是一样的。“可以说遥感是代表摄影测量的发展”。

李德仁教授指出:遥感在经历了 30 多年的探索,到今天已取得了令人瞩目的成绩,从实验到应用、从单一技术到遥感科技领域、从单学科到学科综合、从静态到动态、从区域到全球、从地表到太空,无不表明遥感已经发展到相当的阶段。当代遥感的发展主要表现在它的多传感器、高分辨率和多时相特征。

(1) 多传感器技术。已经覆盖大气窗口的所有部分,光学遥感技术可包含可见光、近红外和短波红外区域。热红外遥感的波长可达 $8\text{ }\mu\text{m}$,微波遥感观测目标物电磁波的辐射和散射,分被动微波遥感和主动微波遥感,波长范围为 $1\text{ mm} \sim 100\text{ cm}$ 。从目前的动向看,微波遥感将是今后极有前途的遥感手段。

(2) 形成多极分辨率影像序列的金字塔,以提供从粗到精的对地观测数据源。全面体现在空间分辨率、光谱分辨率和温度分辨率三方面,长线阵 CCD 成像扫描仪可以达到 $1 \sim 2\text{ m}$ 的空间分辨率,成像光谱仪的光谱细分可达到 $5 \sim 6\text{ nm}$ 的水平。热红外辐射计的温度分辨率可从 0.5 K 提高到 0.3 K 乃至 0.1 K 。

(3) 可以反复获得同一地区影像数据的多时相性。可以用多颗小卫星实现每 $3 \sim 5\text{ d}$ 对地重复一次采样,获得高分辨率成像光谱仪数据,多波段、多极化方式的雷达卫星,将能解决阴雨多雾情况下的全天候和全天时的对地观测。卫星遥感与机载和车载遥感技术的结合,是实现多时相遥感数据获取的有力保证。

(4) 尽可能增加更多谱段的遥感数据。一方面充分利用能透过大气的各类电磁波谱段向红外、远红外和微波方面发展,另一方面则是细分光谱段。

(二) 无人机倾斜摄影

随着社会信息化建设和“数字城市”“智慧城市”建设的推进,社会对城市和地表信息的获取和处理提出了更迫切的需求。倾斜摄影测量作为一项高新技术,颠覆了以往正摄影像只能从垂直角度拍摄的局限。其通过在同一飞行平台上搭载多台传感器,同时从一个垂直、

四个倾斜等五个不同的角度采集影像，将用户引入了符合人眼视觉的真实直观世界。

倾斜摄影技术是在摄影测量技术之上发展起来的，和摄影测量不同的是：倾斜摄影是通过在同一飞行平台上搭载多台传感器（目前常用五镜头相机），同时从垂直、倾斜等不同角度采集影像，获取地面物体更为完整准确的信息。垂直地面角度拍摄获取的影像称为正片（一组影像），镜头朝向与地面成一定夹角拍摄获取的影像称为斜片（四组影像）。图 1.5 所示是一组利用倾斜摄影技术获取的影像示意图。

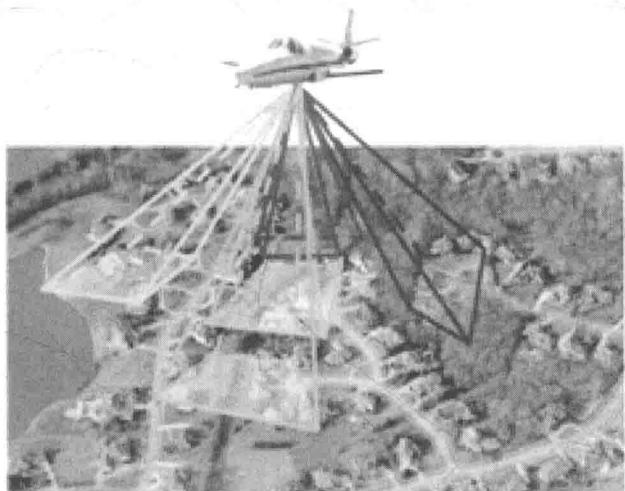


图 1.5 一组影像获取示意图

而无人机因其成本低、适应性强、低空域等特点，使得以无人机为平台（见图 1.6），通过倾斜航空摄影有效采集地表地物与建筑纹理成为数字城市建设及地理国情监测技术发展的必然，它能够为社会提供更多、更好、更丰富精确的城市三维模型产品和服务。图 1.7 为未经过倾斜摄影技术处理和经过倾斜摄影技术处理的效果对比图。

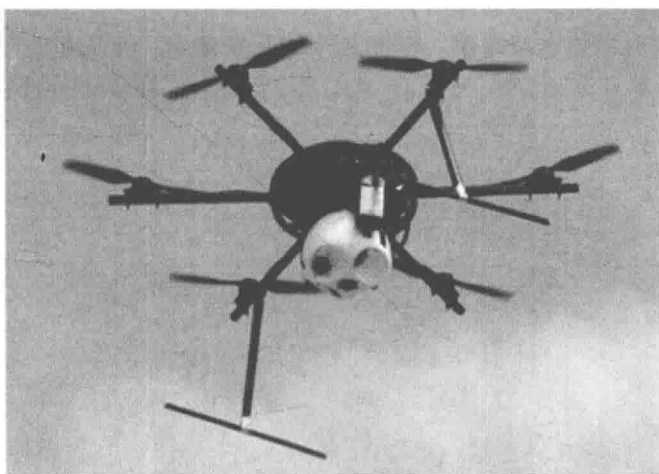


图 1.6 倾斜摄影无人机



正射影像



倾斜影像

图 1.7 倾斜摄影效果对比图

【习题与思考题】

1. 简述摄影测量的概念、任务及分类。
2. 摄影测量经历了哪些发展阶段？
3. 简述摄影测量未来的发展趋势。

第2章 摄影与航空摄影

【学习目标】

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。本章主要学习摄影的基本原理与构造、各类摄影机的认识 and 了解、航空摄影的技术的基本要求、遥感影像的处理及应用。

第1节 摄影机概述

一、摄影的基本原理

摄影根据的是小孔成像原理:用一个摄影物镜代替小孔,在成像面处放置感光材料。当物体的投射光线经摄影物镜聚焦成像于感光材料上时,感光材料感光后发生光化学作用生成潜像,这种潜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

摄影的主要工具是摄影机。摄影机的种类很多,但基本结构大致相同,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、镜像体和成像面,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。物体的透射光线经物镜聚焦后进入摄影机,成像于像平面上。镜像体是一个封闭筒,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。

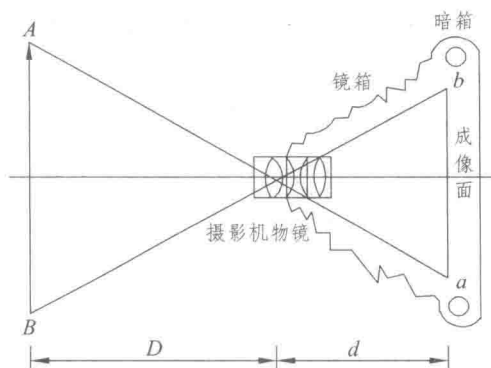


图 2.1 摄影机基本结构示意图