



“十四五”职业教育国家规划教材

全国测绘地理信息职业教育教学指导委员会“十四五”规划教材

# 摄影测量与遥感

(第2版)

主 编 张 军  
副主编 刘安伟 刘 辉 陈会明  
主 审 张晓东



本书立体化资源

黄河水利出版社

· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书是“十四五”职业教育国家规划教材、全国测绘地理信息职业教育教学指导委员会“十四五”规划教材,具体内容包括影像获取及预处理、影像控制测量、解析空中三角测量、3D 数据生产、影像调绘及地物补测、遥感图像处理、遥感图像的计算机分类、遥感专题制图与应用等。

本书可作为高职高专院校工程测量技术专业及相关专业的教材,也供从事测绘工作的技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

摄影测量与遥感/张军主编. —2 版. —郑州:  
黄河水利出版社,2023. 7  
“十四五”职业教育国家规划教材  
ISBN 978-7-5509-3395-8

I. ①摄… II. ①张… III. ①摄影测量-高等职业教  
育-教材②遥感技术-高等职业教育-教材 IV. ①P23  
②TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 174049 号

策划编辑:陶金志 电话:0371-66025273 E-mail:838739632@qq.com

出版社:黄河水利出版社

网址:www.yrcp.com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:17.25

字数:396 千字

版次:2023 年 7 月第 2 版

印次:2023 年 7 月第 1 次印刷

定价:48.00 元



# 前 言

二十大报告站在国家经济社会发展大局的高度,将教育作为一个整体进行设计,明确提出三教协同和三融的教育发展要求。习近平总书记强调,各级党委和政府要高度重视技能人才工作,大力弘扬劳模精神、劳动精神、工匠精神,激励更多劳动者特别是青年一代走技能成才、技能报国之路,培养更多高技能人才和大国工匠,为全面建设社会主义现代化国家提供有力人才保障。职业教育将面临新的机遇与挑战,在此背景下,编者团队结合教学改革需要对本书进行了修订。

依据二十大对职业教育的新要求,本书结合产教融合教学需求,注重工匠精神的培养,根据职业教育的特点,注重内容理论及实践的融合。在各位参编者多年摄影测量与遥感教学及生产经验的基础上,充分参考相关资料,比较系统地介绍了摄影测量与遥感技术的理论基础,同时结合实践案例介绍了完整的工作流程。

全书以生产案例为主线将技术内容分为八个项目。覆盖摄影测量与遥感生产全过程,按照项目化模式编写,每个项目列出了任务描述、教学目标、相关知识、任务实施、技能训练及思考练习,其中相关知识主要介绍理论基础,每个项目结束附有技能训练及思考练习进行知识巩固,并配备完整的教学微课、课件及实践训练微视频辅助教学。

本书编写人员及编写分工如下:绪论、项目一、项目三由甘肃工业职业技术学院张军编写,项目二、项目五由华北水利水电大学刘辉编写,项目四、项目六由甘肃工业职业技术学院刘安伟编写,项目七、项目八由河南测绘职业学院陈会明编写。本书由张军担任主编,由刘安伟、刘辉、陈会明担任副主编。全书由张军负责统稿,由甘肃工业职业技术学院张晓东审阅全书并定稿。本书配套微课及微视频由三和数码测绘地理信息技术有限公司等单位协助录制,微课由校企共建教学团队陈维林、杨军义、陈琴、王萍、胡文欣、魏军、郭恒共同录制。

本书优化了知识结构,突出了能力培养和技能训练的职业教育特点。学生通过对本书的学习,能参与完成摄影测量的生产任务,并能解决工作中出现的技术问题。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2023年5月



# 目 录

前 言	
绪 论	(1)
项目一 影像获取及预处理	(6)
任务一 摄影测量影像获取	(6)
任务二 单张航摄影像解析	(22)
任务三 立体观察	(44)
任务四 航摄影像分析及 POS 数据预处理	(50)
任务五 航摄影像快速拼接	(56)
任务六 机载激光雷达数据获取	(66)
项目二 影像控制测量	(71)
任务一 影像控制点的布设	(71)
任务二 影像控制点测量	(80)
项目三 解析空中三角测量	(92)
任务一 解析空中三角测量数据准备	(92)
任务二 解析空中三角测量连接点提取	(96)
任务三 空中三角测量整体平差加密	(110)
项目四 3D 数据生产	(118)
任务一 立体测图(DLG)制作	(118)
任务二 数字高程模型(DEM)制作	(127)
任务三 数字正射影像图(DOM)制作	(133)
任务四 倾斜摄影测量技术	(140)
项目五 影像调绘与地物补测	(145)
任务一 影像调绘	(145)
任务二 地物补测	(179)
项目六 遥感图像处理	(183)
任务一 遥感图像预处理	(183)
任务二 遥感图像增强处理	(194)
项目七 遥感图像的计算机分类	(199)
任务一 遥感图像的非监督法分类	(199)
任务二 遥感图像的监督法分类	(212)
任务三 遥感图像智能分类方法	(226)



---

项目八 遥感专题制图与应用 .....	(237)
任务一 遥感影像地图制图 .....	(237)
任务二 遥感土地利用监测 .....	(248)
任务三 植被遥感 .....	(252)
任务四 遥感变化检测 .....	(259)
参考文献 .....	(267)

# 绪论



码 0-1 摄影测量概述

## 一、摄影测量的基本概念、分类及特点

摄影测量学是通过影像研究信息获取、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取的影像,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。它的内容包括获取被摄物体的影像,研究单张和多张影像处理的理论、方法、设备和技术,以及如何将所测得的成果以图解形式或数字形式表示出来。

现代摄影测量学是运用声、光、电等遥感技术设备(摄像机、扫描仪、雷达)测量被测物,生成图片或者声像数据的学科,一般认为就是“拍照—测量”。摄影测量的主要特点是在影像上进行量测和解译,无须接触物体本身,因而很少受到自然和地理环境的限制。

摄影测量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(4D 数据)。摄影测量研究内容如图 0-1 所示。



在线课 0-1 摄影测量的概念及特点

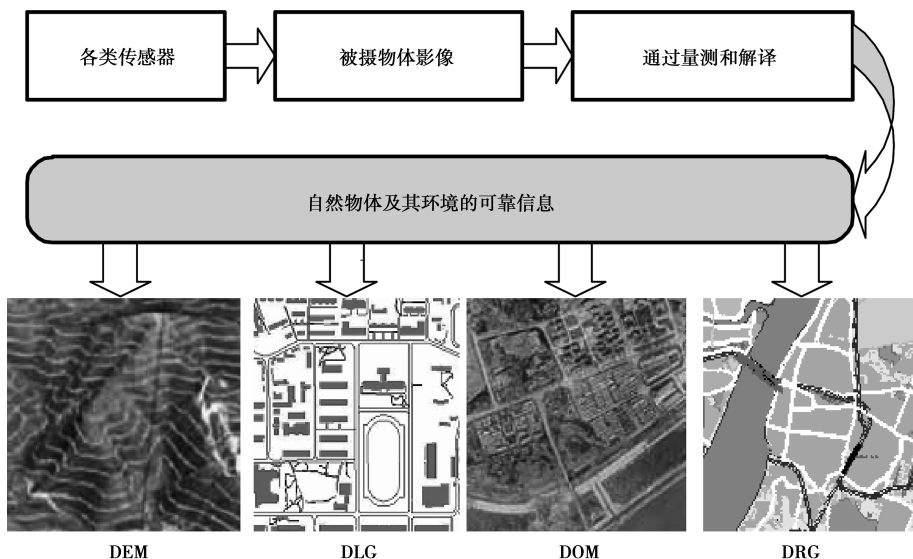


图 0-1 摄影测量研究内容

4D 数据具体指以下内容:

(1) 数字高程模型(digital elevation model, DEM)。

数字高程模型是投影平面上规则格网点平面坐标 $(x, y)$ 及其高程 $(z)$ 的数据集。

(2)数字正射影像图(digital orthophoto map,DOM)。

数字正射影像图是利用数字高程模型对航空影像/遥感影像(单色/彩色),经逐像元进行纠正,再按影像镶嵌,根据图幅范围剪裁生成的影像数据,一般是带有格网,图廓内、外整饰和注记的平面图。

(3)数字线划地图(digital line graph,DLG)。

数字线画地图是现有地形图上基础地理要素的矢量数据集,保存了要素间空间关系和相关的属性信息。

(4)数字栅格地图(digital raster graphic,DRG)。

数字栅格地图是纸质地形图的数字化产品。每幅图经扫描、纠正、图幅处理及数据压缩处理后,形成在内容、几何精度和色彩上与地形图保持一致的栅格文件。

## 二、遥感的基本概念

摄影测量与遥感(photogrammetry and Remote Sensing, photogrammetry and RS)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与解译的过程,是获取自然物体环境可靠信息的一门工艺、学科和技术,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。

自从苏联宇航员加加林进入太空之后,在20世纪60年代,航天技术迅速发展起来,美国地理学者首先提出了“遥感”这个名词,用来取代传统的“航片判读”这一术语,随后得到了广泛使用。遥感的含义是一种探测物体而又不接触物体的技术。

遥感技术对摄影测量学的冲击作用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限。在遥感技术中,除使用可见光的框幅式黑白摄影机外,还使用彩色摄影、彩红外摄影、全景摄影、红外扫描仪、多光谱扫描仪、成像光谱仪、CCD阵列扫描和矩阵摄影机合成孔径侧视雷达等手段。特别是诸如美国在1999年发射的EOS地球观测系统空间站,主要传感器ASTER覆盖可见光到远红外,有较高的空间分辨率(15 m)和温度分辨率(0.3 K)。其中,高分辨率成像光谱仪有36个波段,加上其微波遥感EOSSAR,基本上覆盖了大气窗的所有电磁波范围。空间飞行器作为平台,围绕地球长期运行,为我们提供大量的多时相、多光谱、多分辨率的丰富影像信息,而且所有的航天传感器也可以用于航空遥感。正由于遥感技术对摄影测量学的作用,早在1980年汉堡大会上,国际摄影测量学会就正式更名为国际摄影测量与遥感学会(ISPRS),世界各国对此均有相应的变动,并且在第14届大会上提出了摄影测量与遥感的新定义:使用一种传感器,根据电磁波的辐射原理,不接触物体而通过一系列的技术处理,获得物体的物理性质与几何性质。

## 三、摄影测量与遥感的发展史及发展趋势

### (一)摄影测量与遥感的发展史

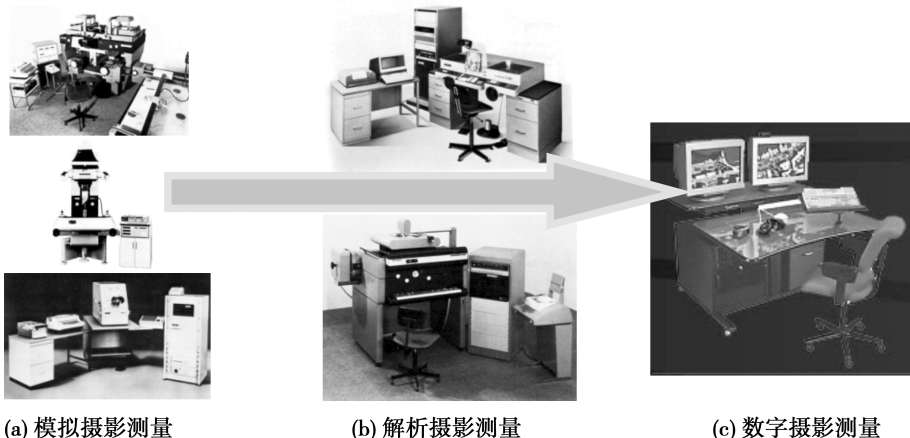
摄影测量从诞生到现在已有百余年的历史,经历了由模拟摄影测量、解析摄影测量到数字摄影测量的一个相当长的发展阶段。



模拟摄影测量是用光学机械的方法模拟摄影时的几何关系,通过对航空摄影过程的几何反转,由影像重建一个缩小了的所摄物体的几何模型,对几何模型进行量测便可得出所需的图形,如地形原图。模拟摄影测量是最直观的一种摄影测量,也是延续时间最久的一种摄影测量方法。1859年法国陆军上校劳赛达特在巴黎试验用影像测制地形图获得成功,从而诞生了摄影测量以来,除最初的手工量测外,模拟摄影测量主要致力于模拟解算的理论方法和设备研究。在飞机发明以前,虽然借助气球和风筝也取得了空中拍摄的照片,但是并未形成真正的航空摄影测量。在飞机发明以后,特别是第一次世界大战,加速了航空摄影测量事业的发展,模拟摄影测量的技术方法也由地面摄影测量发展到航空摄影测量的阶段。

解析摄影测量是伴随电子计算机的出现和发展而发展起来的。它始于20世纪50年代末,完成于80年代。解析摄影测量是依据像点与相应地面点间的数学关系,用电子计算机解算像点与相应地面点的坐标和进行测图解算的技术。在解析摄影测量中利用少量的野外控制点加密测图用的控制点或其他用途的更加密集的控制点的工作,叫作解析空中三角测量。由电子计算机实施解算和控制进行测图则称为解析测图,相应的仪器系统称为解析测图仪。解析空中三角测量俗称电算加密。电算加密和解析测图仪的出现,是摄影测量进入解析摄影测量阶段的主要标志。

数字摄影测量则是以数字影像为基础,用电子计算机进行分析和处理,确定被摄物体的形状、大小、空间位置及其性质的技术,它具有全数字的特点。数字影像的获取方式有两种:一是由数字式遥感器在摄影时直接获取,二是通过对影像的数字化扫描获取。对已获取的数字影像进行预处理,使之适于判读与量测,然后在数字摄影测量系统中进行影像匹配和摄影测量处理,便可以得到各种数字成果。这些成果可以输出成图形、图像,也可以直接应用。数字摄影测量适用性很强,能处理航空影像、航天影像和近景摄影影像等各种资料,能为地图数据库的建立与更新提供数据,能用于制作数字地形模型、数字地球,它是地理信息系统获取地面数据的重要手段之一。数字摄影测量目前已得到广泛应用,并仍在迅速发展之中。图0-2表示了摄影测量的发展历程。不同摄影测量方法的特点见表0-1。



(a) 模拟摄影测量

(b) 解析摄影测量

(c) 数字摄影测量

图 0-2 摄影测量的发展历程

表 0-1 不同摄影测量方法的特点

分类	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	20 世纪 30~70 年代	影像	物理投影	模拟测图仪	作业员手工	模拟产品
解析摄影测量	20 世纪 60~90 年代	影像	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	20 世纪 90 年代至今	影像、数字影像、数字化影像	数字投影	计算机	自动化操作+作业员干预	数字产品

## (二) 摄影测量与遥感技术发展现状

(1) 轻小型低空摄影测量及遥感平台的广泛应用。轻小型低空摄影测量及遥感平台有着方便、灵活、经济的特点。低空摄影测量及遥感平台对低空数码影像资料比较容易获取,而且可以放大比例尺测图,可用于高精度城市三维建模,因而满足了各类工程技术项目中的应用需要。由于其经济实惠、机动灵活,受云层的影响较小,所以对现有的航空遥感手段起到了很好的补充作用。

(2) 高分辨率卫星遥感影像技术的发展。随着科技水平的发展,国内外已有多颗高分辨率的遥感卫星得以成功发射。卫星遥感影像的分辨率不断提高,而且其成像的方式多样,由原先的单线阵推扫成像方式逐渐发展成为多线阵推扫成像方式。另外,其立体模型的构建方式也呈现多元化倾向,立体成图随着基高比和多像交会方式的提高而更为精准。

(3) 航空数码相机的使用。随着影像技术的发展,传统的胶片式航测相机逐渐被航空数码相机所替代,成为大比例尺地理空间数据信息的主要获取手段。2008 年,自 Vexcel、Leica 等多家厂商推出新型航空数码相机以来,多种型号的航空数码相机相继问世,相机的硬件性能在原来基础上有了很大的提高。我国以往仍需进口大幅面的航空数码相机,而在 2007 年,由刘先林院士支持研发的 SWDC 系列航空数码相机的问世改变了此局面,该相机的系统技术指标达到了国际先进水平,在选用 50 mm 的镜头时,相机的精度高达 1/10 000,而且价格低,使我国的影像技术有了一个新的突破。

(4) 新一代数字摄影测量系统发展平民化。近几年我国高校及企业自主研发的新一代数字摄影测量系统非常多,相比传统的数字摄影测量系统,具有智能化程度高、操作简单、精度高、界面友好等特点,使得摄影测量数据处理工作变得简单高效,极大地促进了摄影测量技术的发展与普及。

## (三) 摄影测量与遥感技术发展趋势

(1) 传感器平台多样化。传感器平台的选择在进一步丰富,在实际的生产作业中,我们可以根据生产需要,选择适合的传感器和传感平台。

(2) 新型传感器入市。多种新型传感器流入市场,并增加其市场份额,而机械激光雷达系统对于获取点云数据发挥着重要的作用。

(3) 摄影测量软件平台的并行化。随着新型数字航摄仪的出现和遥感传感器的分辨率大大提高,获得的数据量也相应增加。此外,测图周期缩短,数据必须在短时期内处理完成,因而对摄影测量平台的数据处理能力提高了要求,推动器向并行化方向发展。



(4) 新型传感器 SAR 系统及其数据处理。怎样合理高效地处理 SAR 数据并进行信息提取是当今研究的一个重要方向,在立体 SAR 方面,构像方程的建立、精度评估和平差参数的选取还将是研究的重点。在参数的提取上已经发展到基于知识的识别阶段,处理对象发生从像元到同质像斑的转变,但是 SAR 数据参数的提取效率和精度仍然影响着其发展。

(5) 多源遥感数据融合。在多源遥感数据融合方面,线特征的配准是当今的研究重点,现如今,各种新的数据融合方法不断出现,目标旨在保持丰富的光谱信息并提高计算效率。但是目前还缺乏统一的融合模型以及客观的评价方法。

(6) 高级新型分类算法。分类计数在近几年飞速发展,各种智能化和自动化程度很高的新算法涌现出来,成为了研究的热点。这些新的算法在精度方面都有了明显提高,而且分类的不确定性分析也受到了重视。

(7) 遥感可反演参数的类型增多,精度提高。在参数反演方面,通过引进先验知识,改进参数的反演策略,使得涉及海洋、陆地、大气、社会、生物等多领域的反演参数类型有了增加,而且其精度正在提高。

#### 四、摄影测量与遥感在现代测绘地理信息中的作用

摄影测量与遥感技术推动了测绘技术的进步。现阶段,我国数字栅格图、数字高程模型、数字正射影像等的建立,为摄影测量与数据库的多样性作出了重要贡献,为生产运用提供了技术支持,测绘技术也得到了进一步的发展。摄影测量与遥感技术的发展也推动了地理信息数据库的建立,为我国开展土地调查提供了便利。摄影测量与遥感技术促进了空间数据获取能力的提高,通过对自主知识产权的处理遥感数据平台的研发,我国国产卫星遥感摄像地面处理系统不断建立和完善,为我国独立处理地理信息提供了先进的技术手段。按照新时期测绘事业的工作定位,结合实景三维中国建设,自然资源部 2021 年 8 月颁布了《实景三维中国建设技术大纲》,而摄影测量与遥感则是实景三维获取的核心技术。随着摄影测量与遥感技术的发展,获取数据的能力不断增强,对于资源勘察、气象预测、环境减灾能力的提高有着重要意义,对海洋现象、大气成分及自然灾害的监测也不断完善。

#### 五、数字摄影测量系统概述(数字摄影测量工作站)

数字摄影测量工作站指具有高精度、大容量、高处理速度、高显示分辨率、良好的用户界面、功能较强的支持局域网硬、软件及外围设备和用户开放系统的特性,按照摄影测量的原理,把数字影像或数字化影像作为输入,以交互或自动方式进行摄影测量处理和输出的计算机硬、软件系统。

数字摄影测量工作站是摄影测量技术进行产品生产的工具,摄影测量技术分为两个部分:一部分是航空摄影,另一部分就是内业摄影测量工作。航空摄影主要是获取影像,内业摄影测量主要是通过获取的影像进行测绘产品的生产,而数字摄影测量工作站是内业处理的工具。现代数字摄影测量工作站主要分为两大模块,第一模块是解析空中三角测量及 DEM、DOM 的生产,第二模块是 DLG 的采集。

## 项目一 影像获取及预处理

### 项目概述

影像数据是摄影测量所有工作的基础材料,在了解影像资料自身性质特点的基础上,去学习影像资料采集的方法。影像获取平台包含两个内容,一是飞行平台的选择,二是航摄仪的选择。在此基础上学习如何获取航空摄影影像,对获取的影像进行分析及预处理,为后期内业工作做好准备。

### 任务一 摄影测量影像获取



码 1-1 摄影  
测量影像获取

#### 一、任务描述

摄影测量是基于影像获取地表信息的一门技术,如何获取影像以及了解获取影像过程中涉及影响影像质量的因素,都是摄影测量学习过程中需要重点掌握的内容。从影像分类、影像的质量要求、相机的要求、航摄飞行平台的选取及航空摄影的实施几个方面去掌握摄影测量影像获取的基本知识。

#### 二、教学目标

- (1) 掌握航摄影像的基本特点。
- (2) 掌握摄影测量对于航摄影像的基本要求。
- (3) 了解航摄相机及飞行平台的基本知识。
- (4) 掌握航空摄影的基本流程。

#### 三、相关知识

##### (一) 航摄影像的分类

通过航空摄影得到的影像主要分为胶片影像和数字影像两类。

##### 1. 胶片影像

以胶片作为介质存储的影像称为胶片影像。

传统摄影一般分为三个主要过程,即摄影过程、负片过程和正片过程。摄影过程是将装有感光材料的照相机对准被摄景物,随之通过镜头的移动,使物、像之间满足透镜成像公式,此过程称为调焦或对光。然后,根据感光材料的感光性能和景物的光照等条件,调

节照相机的光圈和快门,使胶片获得正确的曝光量,此过程称为曝光。这是由于感光物质受光后发生化学反应,而部分卤化银还原为金属银,其作用的大小与景物所反射的光线强弱成正比,故使感光片上构成了金属影像。由于光对卤化银的还原能力很弱,生成的金属银很少,一般肉眼是看不见的,故把这种影像称为潜影。为了使潜影成为可见影像,应将曝光后的感光材料在暗室里进行冲洗处理,这个过程称为负片过程。负片过程包括显影、定影、水洗、干燥等步骤,因形成的影像层次与景物的明暗相反,故称为负片或阴片,又因常根据它洗印影像,故称为底片。为了得到与景物明暗相同的影像,必须再利用感光材料紧密叠加于负片上曝光影像,经过与负片一样的显影、定影、水洗、干燥等处理后,则可得到与负片黑白相反,而与景物明暗相同的影像,具有这种影像的片子称为正片或阳片,如果晒印在像纸上,也可称为影像,上述处理过程称为正片过程。



在线课 1-1 摄影测量成像系统(1)

摄影测量是以被测量物体的影像信息为依据的。传统摄影测量的影像信息主要是利用光学摄影机摄取的框幅式影像,是记录在感光胶片上的影像信息,这种影像也称模拟影像。

## 2. 数字影像

以数字形式存储的影像称为数字影像,获取数字影像主要通过数字相机来实现。



在线课 1-2 数字影像的概念

数字相机(即数字式摄影机)也叫数字式照相机,英文全称为 digital camera,简称 DC。数字相机是集光学、机械、电子于一体的产品。数字相机最早出现在美国,人们曾利用它通过卫星向地面传送照片,后来数字摄影转为民用并不断拓展应用范围。数字相机以电子存储设备作为摄像记录载体,通过光学镜头在光圈和快门的控制下,实现被摄物体在电子存储设备上曝光,完成被摄影像的记录。传统相机使用胶片(卷)作为记录信息的载体,而数字相机的“胶片”则是其成像感光器件加存储器。目前,数字相机的核心成像感光器件有两种:一种是广泛使用的电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)图像传感器,另一种是互补金属氧化物半导体(complementary metal oxide semiconductor, CMOS)图像传感器。数字相机由光学镜头、光电传感器、微电脑、操作面板、取景器、LCD 显示器、存储卡、闪光灯、连接接口、电源等部分构成。它集成了影像信息的转换、存储和传输等部件,具有数字化存取模式与电脑交互处理和实时拍摄等特点。数字相机以电子存储设备作为摄像记录载体,在摄影期间完全摒弃了传统的曝光、冲洗、扫描等过程,而是由电子元器件直接记录、存储地面信息,获取数字影像。数字影像可以借助各种媒介实现图像的实时传递,直接提供给数字摄影测量、遥感图像处理系统做进一步处理。随着科学技术的发展进步,数字相机在摄影测量中的应用日益广泛。

### 1) 数字影像获取

数字影像是对现实事物离散化的一个描述方式,是一种栅格数据形式。数字影像的采样是对实际连续函数模型离散化的量测过程,每隔一个间隔获取一个点的灰度值,这样获取的一个点称为样点,也就是像素。这样的一个间隔称为一个采样间隔,间隔的大小称为像素大小,一般采样以矩形为主,也可使用六边形、三角形等。如图 1-1 所示为数字图像采样。

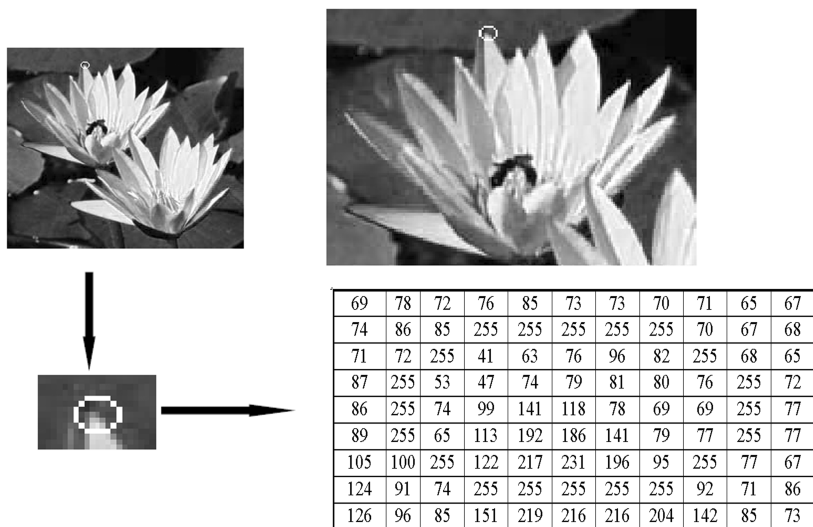


图 1-1 数字图像采样

## 2) 影像灰度及量化

如图 1-1 所示,数字影像表示的最小单位为栅格,每个栅格用影像的灰度代表其属性。灰度就是光学密度,影像的灰度值反映了影像的透光能力。式(1-1)表示其光学密度:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{F}{F_0} \\ O &= \frac{F_0}{F} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中: $T$ 为光线的透过率; $O$ 为阻光率; $F_0$ 为投射在底片上的光通量; $F$ 为透过底片的光通量。

人眼对明暗程度的感觉是以阻光率的对数关系变化的,若灰度用  $D$  表示,则有:

$$D = \lg O = \lg \frac{1}{T} \quad (1-2)$$

灰度值如果用实数表示,则一幅数字影像的存储空间将非常大,为解决这一问题,实际应用时需要量化处理。

将各点的灰度值转换为整数,将透明底片有可能出现的最大灰度变化范围进行等分,分为若干灰度等级,一般取为  $2^m$ 。 $m$  取 8 时得到 256 个灰度级,其级数是介于 0~255 的一个整数,0 为黑,255 为白,每个像元素的灰度值占 8 bit,即一个字节。

## 3) 数字影像重采样

数字影像只记录采样点的灰度值,当所求像点不落在原始影像上像元素的中心(非采样点)时,要获取非采样点的灰度值就要在原采样的基础上再一次采样,即重采样(resampling),如图 1-2 所示。数字影像重采样的方法有很多,下面简要介绍几种常用方法。

### (1) 最近相邻插值算法。

最近相邻插值算法也叫最邻近像元法(nearest neighbour interpolation),是一种速度快但精度低的图像像素模拟方法。该方法中缺少的像素通过直接使用与之最接近的原有像素的

灰度生成,也就是说照搬旁边的像素,这样做的结果是产生了明显可见的锯齿。如图 1-3 所示,中间点的像素灰度直接取图 1-3 右上角点的灰度值。

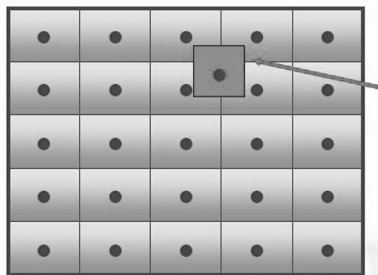


图 1-2 影像重采样

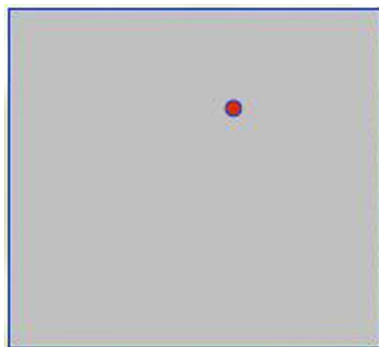


图 1-3 最近相邻插值算法

最近相邻插值算法的优点是计算量很小,算法也简单,因此运算速度较快。但它仅使用离待测采样点最近的像素的灰度值作为该采样点的灰度值,而未考虑其他相邻像素点的影响,因而重新采样后灰度值有明显的非连续性,图像质量损失较大,会产生明显的“马赛克”和锯齿现象。

### (2) 两次线性插值算法。

两次线性插值算法(bilinear interpolation)是一种通过平均周围像素颜色值来添加像素的方法。该方法可生成中等品质的图像。两次线性插值算法输出图像的每个像素都是原图中 4 个像素( $2 \times 2$ )运算的结果,由于它是从原图 4 个像素运算得到的,因此这种算法很大程度上消除了锯齿现象,而且效果也比较好。如图 1-4 所示, $P$  点的灰度是由周围 4 个点的灰度按比例内插得到的。

两次线性插值算法是一种较好的材质影像插补的处理方法,这种算法会先找出最直接相邻像素点的 4 个灰度值,然后在它们之间做差补效果,最后产生的结果才会被贴到像素的位置上,这样不会看到“马赛克”现象。这种处理方式较适用于有一定景深的静态影像,不过无法提供最佳品质。两次线性插值算法效果要好于最近相邻插值算法,只是计算量稍大一些,算法复杂些,程序运行时间也稍长些,但缩放后图像质量高,基本克服了最近相邻插值算法灰度值不连续的缺点,因为它考虑了待测采样点周围 4 个直接相邻像素点对该采样点的相关性影响。但是,此方法仅考虑待测样点周围 4 个直接相邻像素点灰度值的影响,而未考虑到各邻点间灰度值变化率的影响,因此具有低通滤波器的性质,从而导致缩放后图像的高频分量受到损失,图像边缘在一定程度上变得较为模糊。

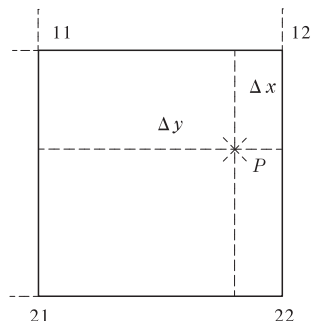


图 1-4 两次线性插值算法

### (3) 两次立方插值算法。

两次立方插值算法(bicubic interpolation)是两次线性插值算法的改进算法,它输出图像的每个像素都是原图 16 个像素( $4 \times 4$ )运算的结果。该算法效果较好,运算速度也不慢。

两次立方插值算法计算量最大,算法也是最为复杂的。在几何运算中,两次线性插值算法的平滑作用可能会使图像的细节产生退化,在进行放大处理时,这种影响更为明显。在其他应用中,两次线性插值算法的斜率不连续性会产生不理想的结果。两次立方插值算法不仅考虑到周围4个直接相邻像素点灰度值的影响,还考虑到它们灰度值变化率的影响,因此克服了前两种方法的不足,能够产生比两次线性插值算法更为平滑的边缘,计算精度很高,处理后的图像像质损失最少,效果是最佳的。

在进行图像缩放处理时,应根据实际情况对几种算法作出选择,既要考虑时间方面的可行性,又要对变换后的图像质量进行考虑,这样才能达到较为理想的结果。

## (二) 航摄影像的基本要求

航摄影像的质量影响到内业处理成果的可靠性,数字航空摄影规范对于航摄影像质量做出了明确要求,主要从飞行质量及影像质量两方面去衡量影像整体质量。

### 1. 飞行质量

#### 1) 影像重叠度

摄影测量使用的航摄影像,要求沿航线飞行方向两相邻影像上对所摄的地面有一定的重叠影像,这种重叠影像部分称为航向重叠,其重叠影像与像幅边长之比的百分数称为航向重叠度。对于区域摄影(面积航空摄影),要求两相邻航带影像之间有一定的影像重叠,这种重叠影像部分称为旁向重叠,其重叠影像与边长之比的百分数称为旁向重叠度(见图1-5、图1-6)。



在线课 1-3 航摄影像的基本要求

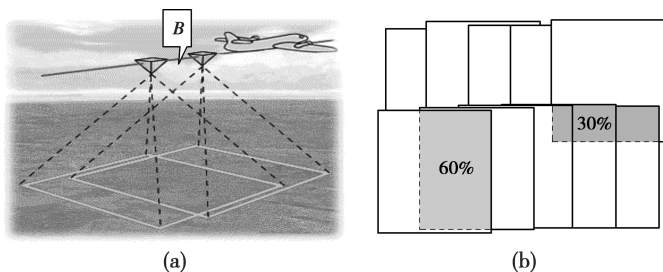


图 1-5 影像重叠度示意



图 1-6 影像重叠度实例

影像的重叠部分是立体观察和影像模型连接所必需的条件。在航向方向必须要有三张相邻影像有公共重叠影像,这一公共重叠部分称为三度重叠部分,这是摄影测量选定控制点的要求。所以,一般情况下要求航向重叠度保持在 60%~65%,最小不能小于 53%;旁向重叠度保持在 30%~35%,最小不能小于 15%。对于低空无人机数字摄影测量来说,要求可以放宽很多,重叠度大大增加。

### 2) 影像倾斜角

影像倾斜角指的是航摄仪物镜主光轴与铅垂线之间的夹角,以  $\alpha$  表示(见图 1-7)。以测绘地形为目的的空中摄影多采用竖直摄影方式,要求航摄仪在曝光的瞬间物镜主光轴保持垂直于地面。实际上,由于飞机的稳定性和摄影操作的技能限制,航摄仪主光轴在曝光时总会有微小的倾斜,按规范要求影像倾斜角  $\alpha$  应小于  $2^\circ \sim 3^\circ$ ,这种摄影方式称为竖直摄影。

### 3) 影像旋偏角

相邻两影像的主点连线与像幅航带飞行方向的两框标连线之间的夹角称为影像的旋偏角,习惯用  $k$  表示。它是由于摄影时,航摄仪定向不准确而产生的。旋偏角不但会影响影像的重叠度,而且给航测内业作业增加困难。因此,对影像的旋偏角,一般要求小于  $6^\circ$ ,个别最大不应大于  $8^\circ$ ,而且不能连续三片有超过  $6^\circ$  的情况(见图 1-8)。

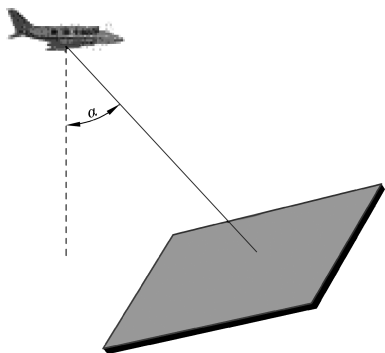


图 1-7 影像倾斜角

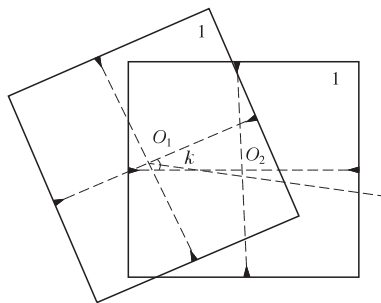


图 1-8 影像旋偏角

### 4) 航带弯曲度

沿航线方向两相邻摄影站之间的距离称为摄影基线  $B$ [见图 1-5(a)]。

一条航线上,实际航迹与航线首末端像主点连线的偏离程度称为航带弯曲度,通常以最大弯曲的矢距  $L$  与航线长度  $D$  之比来表示(见图 1-9 航带弯曲)。通常要求航线弯曲度  $R$  不超过 3%,如式(1-3)所示,以免影响旁向重叠及导致常规测绘过程中的空中三角加密和影像联测等发生困难。

$$R = L/D \times 100\% \quad (1-3)$$

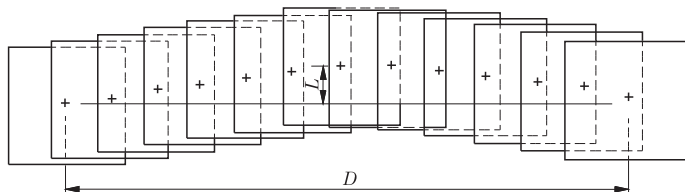


图 1-9 航带弯曲

### 5) 航高差

摄影航高称为航高  $H_{\text{相}}$ , 是指航摄仪物镜中心  $S$  在摄影瞬间相对某一基准面的高度。航高是从该基准面起算的, 向上为正号。根据所取基准面的不同, 航高可分为相对航高和绝对航高(见图 1-10)。

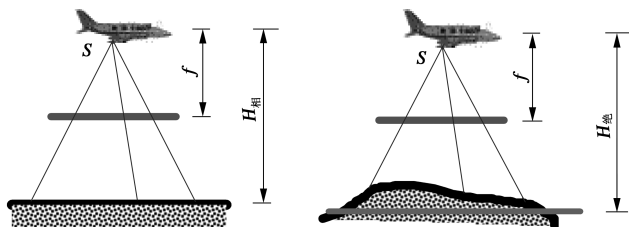


图 1-10 摄影航高

(1) 相对航高  $H_{\text{相}}$ : 航摄仪物镜中心  $S$  在摄影瞬间相对于某一基准面(通常是摄影区域地面平均高程基准面)的高度。

(2) 绝对航高  $H_{\text{绝}}$ : 航摄仪物镜中心  $S$  在摄影瞬间相对于大地水准面的高度。摄影区域地面平均高程  $A$ 、相对航高  $H_{\text{相}}$ 、绝对航高  $H_{\text{绝}}$  之间的关系为

$$H_{\text{绝}} = A + H_{\text{相}} \quad (1-4)$$

为了避免同一摄取影像比例尺不一致,《1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影规范》(GB/T 15661—2008)规定,同一航线内最大航高与最小航高之差不得大于 30 m, 摄影区域内实际航高与设计航高之差不得大于 50 m。

### 6) 摄影比例尺

摄影比例尺是指空中摄影设计时的影像比例尺。航摄比例尺要考虑成图比例尺、摄影测量内业成图方法和成图精度等因素来选取, 还要考虑经济性和摄影资料的可使用性。摄影比例尺可分为大、中、小三种。为充分发挥航摄负片的使用潜力, 考虑上述因素, 一般都应选择较小的摄影比例尺。航空摄影比例尺与成图比例尺之间的关系参照表 1-1 确定。

表 1-1 航空摄影比例尺与成图比例尺的关系

比例尺类别	航摄比例尺	成图比例尺
大比例尺	1:2 000~1:3 000	1:500
	1:4 000~1:6 000	1:1 000
	1:8 000~1:12 000	1:2 000
中比例尺	1:15 000~1:20 000	1:5 000
	1:10 000~1:25 000	1:10 000
	1:25 000~1:30 000	
小比例尺	1:20 000~1:30 000	1:25 000
	1:35 000~1:55 000	1:50 000



在线课 1-4 航  
摄因子的计算

在实际应用中, 航空摄影比例尺是由摄影机的主距和摄影航高来确定的, 即

$$1/m = f/H \quad (1-5)$$

式中: $m$ 为航摄比例尺分母; $f$ 为航摄仪的主距; $H$ 为摄影航高。对于数码影像成图,其精度主要由影像的地面采样间隔决定,比例尺的概念弱化了。

利用此公式在航摄仪确定的情况下可以根据影像地面分辨率的要求计算摄影航高。

## 2. 影像质量

对于传统胶片影像,主要从以下几方面判断其质量:

- (1) 负片上影像是否清晰,框标影像是否齐全,像幅四周指示器件的影像是否清晰可辨。
- (2) 由于太阳高压角的影响,地物阴影长度是否超过规定,地物阴暗和明亮部分的细部能否辨认。
- (3) 负片上是否存在云影、划痕、折伤和乳剂脱落等现象。
- (4) 负片上的黑度是否符合要求,影像反差是否超限。
- (5) 航带的直线性、平行性、重叠度、航高差、摄影比例尺等是否超出规定的技术指标。

对于数字影像,主要从以下几方面判断其质量:

- (1) 影像应清晰,层次丰富,反差适中,色调柔和;应能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像,能够建立清晰的立体模型。
- (2) 影像上不应有云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷。虽然存在少量缺陷,但不影响立体模型的链接与测绘,可以用于测制线画图。
- (3) 确保因飞机的速度影响,在曝光瞬间造成的像点位移不大于一个像素,最大不大于1.5个像素。
- (4) 拼接影像应无明显模糊、重影和错位现象。

### (三) 航摄相机(航摄仪)的分类及要求

安装在飞机上对着地面能自动进行连续摄影的照相机称为航摄相机。由于当代航摄相机都是一台相当复杂、精密的全自动光学电子机械装置,具有精密的光学系统和电动结构,所摄取的影像能满足量测和判读的要求。因此,航摄相机一般也称为航摄仪,表示这种照相机如同一台结构复杂的光学仪器。



在线课 1-5 摄影测量成像系统(2)

航摄相机的结构形式种类繁多,但其基本结构大致相同,有镜箱和暗箱两个基本部分,一般由物镜、光圈、快门、暗箱、检影器及附加装置组成。

根据摄影时摄影物镜主光轴与地面的相对位置,航摄相机可分为框幅式航摄相机和全景式航摄相机两大类。框幅式航摄相机摄影时主光轴对地面的方向保持不变,每曝光一次获得一幅中心透视投影的图像,与普通的120型、135型相机相同;全景式航摄相机摄影时主光轴相对地面在不断移动。

因为航摄相机是用来从空中对地面进行大面积摄影的,所摄取的影像又必须能满足量测和判读的要求,所以无论是航摄相机的结构还是摄影物镜的光学质量都与普通相机有重大的区别。在结构上,现代航摄相机一般备有重叠度调整器,能每隔一定时间间隔进行连续摄影,保证在同一条航线上,相邻影像之间保持一定的重叠度以满足立体观测要求。根据摄影测量的需要,航摄相机的焦平面上必须有压平装置及贴附框,并在贴附框的四边中央及角隅处分别装有机械框标和光学框标。此外,为了避免各种环境因素的影响,航摄相机必须有减振装置,制作航摄相机的机械部件应选用防腐蚀和变形极小的特种合金,以保证航摄相机光学系统的稳定性,防止飞机发动机的振动、大气温度的变化( $\pm 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和飞机升降时由于

过载负荷等因素对摄影影像质量的影响。现代最新型的航摄相机还备有像移补偿装置,以消除曝光瞬间由于飞机向前运动而引起的像点位移。

航摄相机的像幅比较大,一般有  $18\text{ cm}\times 18\text{ cm}$ 、 $23\text{ cm}\times 23\text{ cm}$ 、 $30\text{ cm}\times 30\text{ cm}$  三种。要在这样大的幅面内获取高质量的影像,在摄影物镜的光学设计,制造摄影物镜所用的光学玻璃的选材、加工、安装和调试等方面都要求特别精细。此外,摄影时为了保证正确曝光,当代航摄相机一般具有自动测光系统,因此航摄相机的光学系统是相当复杂的。随着当代科学技术的不断进步,摄影物镜和航摄胶片质量的不断提高,航摄资料用途的不断开拓,现代航摄相机已发展成高度精密的全自动化航摄仪。

### 1. 按摄影机物镜的焦距和像场角分类

航摄相机可按摄影机物镜的焦距和像场角分类:

- (1) 短焦距航摄相机,其焦距  $f < 150\text{ mm}$ ,相应的像场角  $2\beta > 100^\circ$ 。
- (2) 中焦距航摄相机,其焦距  $150\text{ mm} < f < 300\text{ mm}$ ,相应的像场角  $70^\circ < 2\beta < 100^\circ$ 。
- (3) 长焦距航摄相机,其焦距  $f > 300\text{ mm}$ ,相应的像场角  $2\beta \leq 70^\circ$ 。

### 2. 从专业角度分类

航摄相机从专业角度可划分为量测用与非量测用两类。

量测用相机是专业用于摄影测量的相机,这类相机具有相幅大(通过多镜头影像组合)、有框标、内方位元素已知、分辨率高、体积大、对于航摄平台要求高,甚至有多光谱特性等。

量测用摄影相机要求:

- (1) 物镜具备良好的光学特性,物镜的畸变差要小,分辨率要高,透光率要强。
- (2) 机械结构要稳定。
- (3) 航空摄影仪应同时具备摄影过程的自动化装置,使安装在飞机上的此类摄影仪能对地面连续进行摄影。

量测用摄影相机特征如下:

(1) 量测用相机的像距是一个固定的已知值。用于测绘地形的航摄相机,摄影的物距要比像距大得多,摄影时摄影物镜固定调焦于无穷远点处,因此像距是一个定值,约等于摄影物镜的焦距  $f$ 。

(2) 相机相面框架上有框标标志(fiducial marks)。像平面与物镜的主光轴垂直,同时像平面也是一个框标平面(见图 1-11),因此像点在影像平面上的位置,可以根据影像上的框标坐标系来确定(见图 1-12)。

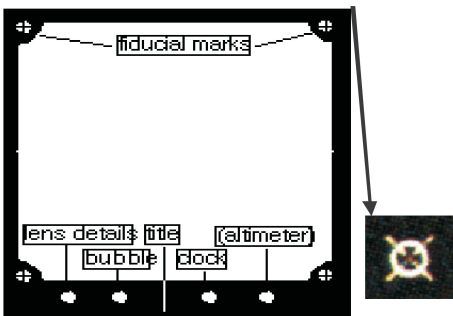


图 1-11 相机框标平面

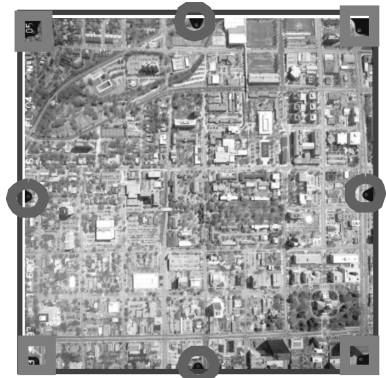


图 1-12 影像上的框标

(3)内方位元素(elements of interior orientation)的数值是已知的。

像主点(principal point):相机主光轴与像平面的交点[像主点在框标坐标系坐标 $(x_0, y_0)$ ]。

影像主距( $f$ ):相机物镜后节点到影像主点的垂距(见图 1-13)。

随着无人机技术的发展,以其为航摄平台,大量的非量测相机用于摄影测量技术,非量测相机的特点是质量轻、无框标、分辨率满足摄影测量要求、内方位元素未知(需要进行相机检校获取)、使用灵活、价格经济等。

几种摄影仪简介:RC-30 航空摄影系统由 RC-30 航摄仪、陀螺稳定平台和飞行管理系统组成,具有像移补偿装置和自动曝光控制设备,并具有 GNSS 导航数据接口,可进行 GNSS 辅助航空摄影,如图 1-14 所示。UltraCam-D 采用了由 8 个小型镜头组成的镜头组,共有 13 块大小为 4 008×2 672 像素的 CCD 面阵传感器担负感光的责任,其中 9 个为全色波段,另外 4 个为 R、G、B 和近红外波段,如图 1-15 所示。LeicaADS 机载数字航空摄影测量系统是目前先进的推扫式机载数字航空摄影测量系统,LeicaADS 集成了高精度的惯性导航定向系统(IMU)和全球卫星定位系统(GNSS),采用 12 000 像元的三线阵(SH81 型号相机有 11 条、SH82 型号相机有 12 条)CCD 扫描和专业的单一大孔径焦阑(远心)镜头,一次飞行就可以同时获取前视、底点和后视的具有 100%三度重叠、连续无缝、具有相同影像分辨率和良好光谱特性的全色立体影像以及彩色影像和彩红外影像。在 ADS SH82 相机的 12 条 CCD 中,每条 CCD 为 12 000 像元,像元大小为 6.5  $\mu\text{m}$ ,按照前视( $28^\circ$ )、下视( $0^\circ$ )、后视( $14^\circ$ )分为三组排列,前视组包括一条单独的全色 CCD,底视组包括一对相错半个像素的全色 CCD 和红、绿、蓝、近红外等各一条 CCD,后视组包括一条单独的全色 CCD 和红、绿、蓝、近红外等各一条 CCD,如图 1-16 所示。

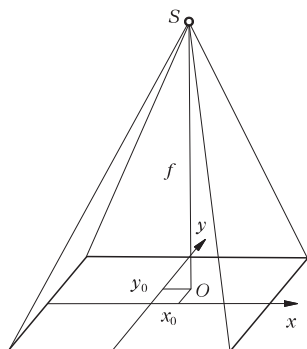


图 1-13 内方位元素示意



图 1-14 RC-30 航空摄影系统

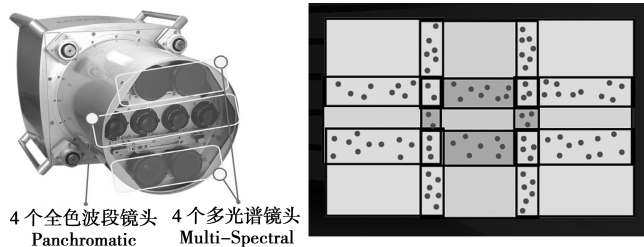


图 1-15 UltraCam-D

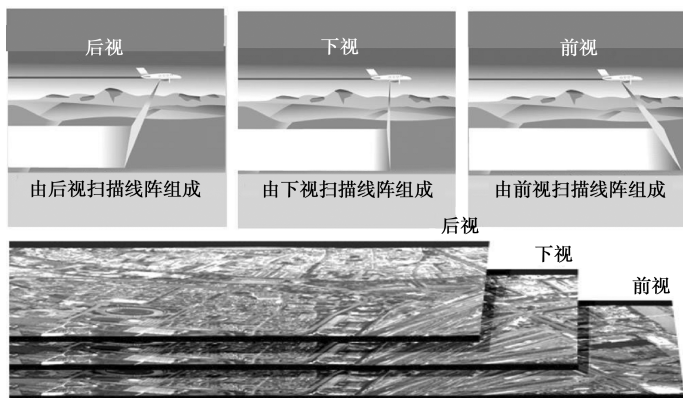


图 1-16 三线阵数字航空摄影原理示意

#### (四) 航摄飞行平台的分类及分析

可用于航空摄影的飞行平台很多,使用比较普遍的有以下几种:卫星、喷气式飞机、直升机、滑翔飞机、飞艇、无人机等。

航摄平台的选择:

(1) 量测用航摄影质量比较大,应选择飞机、飞艇等平台。

(2) 非量测相机质量比较小,一般选择各种类型的无人机作为航摄平台。无人机根据其动力来源可分为油机、电机及油电混合三种类型;根据其飞行模式可分为固定翼及旋翼两种类型,固定翼无人机根据其起飞方式又可分为滑跑式、弹射式、垂直起降式、手抛式四种类型,旋翼无人机可分为四旋翼、六旋翼、八旋翼三种主要类型。

(3) 大型飞行平台稳定性好、抗风能力强、续航时间长、对场地要求比较高、使用不灵活;无人机使用灵活、对飞行场地要求比较低、可云下摄影、使用成本低,如图 1-17 所示为垂直起降固定翼无人机。



图 1-17 垂直起降固定翼无人机

#### (五) 航空摄影的过程及基本要求

航空摄影任务实施过程一般包括任务委托、签订合同、航摄技术计划制订、航摄申请与审批、空中摄影实施、摄影处理、资料检查验收等环节。在空中摄影实施前,任务承担单位应根据下达的任务,收集资料及设备,依据现行航空摄影技术设计规定及待测图相应比例尺地形图的航空摄影规范,拟订技术设计书,制订航摄任务计划。为了满足测绘地形图以及获取地面信息的需要,空中摄影要按航摄计划的要求进行,并确保获得完整的立体覆盖及航摄影像质量。航空摄影作业通常是通过飞机上的导航系统来控制航线飞行、航线间距及影像曝

光间隔等。

### 1. 航空摄影任务委托书的主要内容

(1) 根据计划测图的范围和图幅数,划定需航摄的区域范围,按经纬度或图幅号在计划图上标示出所需航摄的区域范围,或直接标示在小比例尺的地形图上。

(2) 确定航摄比例尺。

(3) 根据测区地形和测图仪器,提出航摄仪的类型、焦距、像幅的规格。

(4) 确定对影像重叠度的要求。

(5) 规定提出资料成果的内容、方式和期限,航摄资料成果包括航摄底片、航摄影像(按合同规定提供的份数)、影像索引图、航摄软件变形测定成果、航摄仪鉴定表、航摄影像质量鉴定表等。

### 2. 航摄技术计划的主要内容

(1) 收集航摄地区已有的地形图、控制测量成果、气象等有关资料。

(2) 根据成图比例尺确定设计用图(成图比例尺及设计用图比例尺关系如表 1-2 所示)、摄影比例尺或影像分辨率,选择合适的航摄仪。从飞机上摄影,摄影对象是动态景物,因此要求快门工作的曝光延续时间内不致产生不容许的像点位移。为了适应不同航高和飞行速度的需要,航摄仪的快门应具有较宽的曝光时间变化范围( $1/100 \sim 1/1\ 000$  s)。此外,还要求快门的光效系数要高(80%~90%或更高些)。

表 1-2 成图比例尺及设计用图比例尺关系

成图比例尺	设计用图比例尺
$\geq 1:1\ 000$	1:1万
$\geq 1:1$ 万	1:2.5万~1:5万
$\geq 1:10$ 万	1:10万~1:25万

(3) 划分航摄分区。航摄分区划分时,要根据以下原则进行:

① 分区界限应与图廓线一致。

② 分区内的地形高差一般不能大于  $1/4$  相对航高;当航摄比例尺大于或等于  $1:7\ 000$  时,一般不能大于  $1/6$  相对航高。

③ 分区内的地物景物反差、地貌类型应尽量一致。

④ 根据成图比例尺确定分区最小跨度,在地形高差许可的情况下,航摄分区的跨度应尽量大,同时分区划分还应考虑用户提出的加密方法和布点方案的要求。

⑤ 当地面高差突变,地形特征显著不同时,在用户认可的情况下,可以破图幅划分航摄分区。

⑥ 划分航摄分区时,应考虑航摄飞机侧前方安全距离和安全高度。

⑦ 当采用 GNSS 辅助空中三角摄影时,划分分区除应遵守上述各规定外,还应确保分区界限与加密分区界限相一致或一个航摄分区内可覆盖多个完整的加密分区。

(4) 确定航线方向和敷设航线。

① 航线应东西向直线飞行。特定条件下也可按照地形走向做南北方向飞行或沿线路、河流、海岸、境界等任意方向飞行。

② 常规方法敷设航线时,航线应平行于图廓线。位于摄区边缘的首末航线应设计在摄

区边界线上或边界线外。

③水域、海区航摄时,航线敷设应尽量避免像主点落水;要确保所有岛屿完整覆盖,并能构成立体像对。

④荒漠、高山区隐蔽地区等和测图控制作业特别困难的地区,可以敷设构架航线。构架航线根据测图控制点设计的要求设置。

⑤根据合同要求,航线按图幅中心线或按相邻两排成图图幅的公共图廓线敷设时,应注意计算最高点对摄区边界图廓保证的影像和与相邻航线重叠度的保证情况,当出现不能保证的情况时,应调整航摄比例尺。

(5)计算航摄所需的飞行数据和摄影数据(主要是绝对航高、摄影航高、影像重叠度、航摄基线、航线间隔距、航摄分区的航线数、曝光时间间隔和影像数等)。

(6)编制领航图。

(7)确定航摄的日期和时间。

航空摄影应选择本摄区最有利的气象条件,并尽可能地避免或减少地表植被和其他盖物(如积雪、洪水、沙尘等)对摄影和测图的不良影响,确保航摄影像能够真实地显现地面细部。在合同规定的航摄作业期限内选择最佳航摄季节,综合考虑下列主要因素:

①摄区晴天日数多。

②大气透明度好。

③光照充足。

④地表植被及其盖物(如洪水、积雪、农作物等)对摄影和成图的影响最小。

⑤彩红外、真彩色摄影,在北方一般避开冬季。

航摄时间的选定原则如下:

①既要保证具有充足的光照度,又要避免过大的阴影,一般按表 1-3 的规定执行。对高差特大的陡峭山区或高层建筑物密集的特大城市,应进行专门的设计。

表 1-3 航摄时间选择与太阳高度角的关系

地形类别	太阳高度角( $^{\circ}$ )	阴影倍数(倍)
平地	$>20$	$<3$
丘陵地、小城镇	$>30$	$<2$
山地、中等城市	$\geq 45$	$\leq 1$
高差特大的陡峭山区和高层建筑物密集的大城市	限在当地正午前后各 1 h 进行摄影	$<1$

②沙漠、戈壁滩等地面反光强烈的地区,一般在当地正午前后各 2 小时内不应摄影。

③彩红外与真彩色摄影应在色温 4 500~6 800 K 范围内进行;雨后绿色植被表面水滴未干时不应进行彩红外摄影。

## 四、任务实施

### (一)任务规划

以校园为例:

(1)校园区域一般较小,一个摄区就可以完成任务。



在线课 1-6 航线规划及参数设置

(2) 根据成果要求确定规划用图、摄影比例尺或分辨率、影像重叠度要求等内容,如摄影分辨率要满足 1:500 成图精度要求,地面分辨率优于 5 cm,重叠度航向 80%,旁向 60% (若采用无人机低空摄影,重叠度一般较大,这样立体模型的范围才大),以 Google earth 为底图做校园航线规划设计如图 1-18 所示,飞行参数设置如图 1-19 所示。



图 1-18 以 Google earth 为底图做校园航线规划设计



图 1-19 飞行参数设置

## (二) 航摄相机及飞行平台选择

根据实训现有设备选择航摄相机及飞行平台。摄区范围小时,可选择旋翼无人机作为飞行平台,相机可选择非量测相机。

## (三) 航线规划

根据摄区范围、重叠度、分辨率等要求进行航线规划,人工输入要求,地面站自动完成航线设计,人工调整至最佳效果。航线规划成果如图 1-20、图 1-21 所示。

### (1) 相对航高 $H$ 计算方法: