



RS与GIS 原理及技术

郭贵海 韩 博 著

地质出版社

RS 与 GIS 原理及技术

郭贵海 韩 博 著

地 资 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书主要内容包括摄影测量与遥感和地理信息系统两部分内容。两部分内容相对独立。全书简明扼要地阐述相关基本原理和基本方法,具有实用性和可操作性。

本书的学习对象要求有《普通测量学》课程基础,可供地理信息、国土资源调查、环境保护等从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

RS 与 GIS 原理及技术 / 郭贵海等著. —北京:地质出版社, 2017. 10

ISBN 978 - 7 - 116 - 10539 - 3

I. ①R… II. ①郭… III. ①测绘学 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 210087 号

责任编辑:白 铁 谢玉淳

责任校对:张 冬

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 66554642 (邮购部); (010) 66554624 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554623

印 刷:北京地大彩印有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm¹/₁₆

印 张:5.75

字 数:200 千字

版 次:2017 年 10 月北京第 1 版

印 次:2017 年 10 月北京第 1 次印刷

审图号:GS (2017) 3693 号

定 价:30.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 10539 - 3

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社负责调换)

前 言

以全球卫星导航定位系统 (GNSS)、遥感技术 (RS)、地理信息系统 (GIS) 为代表的“3S”技术的出现,使得测绘科学技术产生了巨大变革,测绘成果的应用范围和服务对象也在不断地扩大,测绘成果的应用与人们的生活越来越紧密,这就对地图的更新速度提出了更高的要求。测绘新仪器、新理论、新技术也得以迅速发展,现代测绘从外业到内业,从控制测量到碎部测图,从测绘仪器到测量成果都正在发生根本性的变化。为了普及新知识、新技术,使非测绘专业的人士也能够很好地学习和掌握现代测量的原理和技术,RS 和 GIS 技术代表了现代测绘发展的新阶段,笔者编写《RS 和 GIS 原理与技术》一书,旨在推广现代测量新技术、新方法。

在本书编写过程中,宋玮副教授、何培培博士都对文稿提出了十分宝贵的意见和建议,对于他们的大力支持和帮助,表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,内容的安排上也会有不合理之处,敬请读者批评指正。

编 者

2017 年 3 月

目 录

前 言

第一篇 摄影测量与遥感

第一章 概 述	(1)
第一节 摄影测量与遥感的定义及任务	(1)
第二节 摄影测量与遥感的发展阶段	(2)
第二章 摄影测量学基础	(6)
第一节 摄影测量学基本原理	(6)
第二节 恢复影像方位元素的方法	(13)
第三节 解析法相对定向	(20)
第四节 解析法绝对定向	(24)
第五节 光束法立体解析摄影测量	(25)
第六节 空中三角测量与区域网平差	(27)
第七节 GPS/POS 辅助全自动空中三角测量	(28)
第三章 数字摄影测量	(30)
第一节 概 述	(30)
第二节 数字图像	(31)
第三节 数字图像处理	(31)
第四节 影像匹配原理	(34)
第四章 遥感科学与技术	(36)
第一节 概 述	(36)
第二节 遥感图像的成像原理	(37)
第三节 遥感图像处理	(42)
第四节 遥感图像的解译	(43)
第五章 摄影测量与遥感的应用与发展	(46)
第一节 我国的航空遥感技术	(46)
第二节 摄影测量与遥感在国民经济中的综合应用	(46)

第三节 摄影测量与遥感的发展前景	(49)
 第二篇 地理信息系统	
第六章 地理信息系统 (GIS) 简介	(52)
第一节 信息系统的定义	(52)
第二节 地理信息系统的基本功能	(55)
第三节 地理信息系统的应用	(58)
 第七章 空间分析	(64)
第一节 空间分析的目的和内容	(64)
第二节 空间查询与几何量算	(65)
第三节 缓冲区分析	(68)
第四节 叠置分析	(69)
第五节 网络分析	(72)
第六节 数字地形模型分析	(73)
 第八章 常用 GIS 软件	(77)
第一节 国外主要 GIS 软件	(77)
第二节 国内主要 GIS 软件	(82)
 参考文献	(86)

第一篇 摄影测量与遥感

第一章 概 述

第一节 摄影测量与遥感的定义及任务

摄影测量是 19 世纪 50 年代在摄影技术基础上发展形成的一门科学技术。传统的摄影测量学是利用光学摄影机摄取的像片,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科学和技术。主要内容有:获取被摄物体的影像,研究影像的处理方法,包括理论、设备和技术,以及将所测得的成果以图形形式或数字形式输出的方法和设备。

摄影测量的主要任务是利用影像来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。

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,因而很少受自然条件的限制,而且可摄得瞬间的动态物体影像。像片以及其他各种类型的影像均是客观物体或目标的真实反映,信息丰富逼真,人们可以从中获得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,可以说,只要物体能够被摄成影像,都可以使用摄影测量技术,以解决某一方面的问题;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;可以是微小的,也可以是巨大的。这些灵活性使得摄影测量学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。由于具有非接触传感的特点,20 世纪 60 年代初,从侧重于解译和应用角度,又提出了“遥感”一词。

随着美国陆地卫星(Landsat)上天,遥感技术获得了广泛的应用。由于它在资源调查和环境监测等方面效率很高,很快得到了全世界的普遍重视。在遥感技术中,除了使用可进行黑白摄影、彩色摄影、彩红外摄影的框幅式摄影机外,还可使用全景摄影机、光电扫描仪(红外、多光谱)、CCD(电荷耦合器件)线阵或面阵扫描仪及合成孔径测试雷达(SAR)等,它们能提供比黑白像片更加丰富的影像信息。各种空间飞行器作为传感平台,围绕地球长期运转,为我们提供了大量的多时相、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,于是摄影测量发展为摄影测量与遥感。为此,国际摄影测量与遥感学会(ISPRS)于 1988 年在日本京都召开的第十六届大会上给出定义:“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。”简而言之，它乃是影像信息获取、处理、分析和成果表达的一门信息科学。

按其摄影机所处的位置（摄影平台）的不同可分为：航天摄影测量与遥感、航空摄影测量与遥感、地面摄影测量与遥感、近景摄影测量与遥感和显微摄影测量与遥感。按用途分为地形摄影测量与遥感和非地形摄影测量与遥感。地形摄影测量与遥感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、铁路、交通等各部门的规划与资源调查用图及建立相应的数据库；非地形摄影测量与遥感是将摄影测量与遥感方法用于解决资源调查、变形监测、环境监测、军事侦察、弹道轨道、爆破以及工业、建筑、考古、地质工程以及生物和医学等方面的科学技术问题。仅就摄影测量而言，按技术处理手段又可分为模拟摄影测量、解析摄影测量和数字摄影测量。解析和数字摄影测量可以直接为各种数据库和地理信息系统提供基础地理信息，模拟摄影测量的直接成果为各种图件（地形图、专题图等），它们必须经过数字化才能录入计算机中。

第二节 摄影测量与遥感的发展阶段

一、摄影测量的发展及特点

摄影技术问世以后，很快被用于测量方面，形成了摄影测量学。从19世纪至今，摄影测量学从模拟摄影测量开始，经过解析摄影测量阶段，现已进入数字摄影测量阶段。

早期的摄影测量，一般采用图解法进行逐点测绘，直到20世纪初，才由维也纳军事地理研究所按奥雷尔（Orel）的思想制出了“自动立体测图仪”。后来由德国蔡司厂进一步发展，成功地制造了实用型的“自动立体测图仪”。经过半个多世纪的发展，到60至70年代，这种类型的仪器发展到了顶峰。由于这些仪器均采用光学、光学机械或机械投影器“模拟”摄影过程，用它们交会被摄物体的空间位置，所以称其为“模拟摄影测量仪器”。著名的摄影测量学者海拉瓦（Helava）于1957年在他的论文中谈道：“能够用来解决摄影测量主要问题的、现有的、全部的摄影测量测图仪，实际上都是以同样的原理为基础的，这个原理可以称为模拟的原理”。这一发展时期也被称为“模拟摄影测量时代”。在这一时期，摄影测量工作者们都在自豪地欣赏着30年代德国摄影测量大师格鲁伯（Gruber）的一句名言，“摄影测量学就是能够避免繁琐计算的一种技术”。有些仪器冠以“自动”二字，其含义也在于此，即利用光学机械模拟装置，实现了复杂的摄影测量解算。然而，它并不意味着不需要人工的立体量测而真正实现了“自动测图”。

随着计算机及其他技术的发展，海拉瓦于20世纪50年代提出了摄影测量的一个新概念，就是“用数字投影代替物理投影”。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”就是利用电子计算机实时地进行共线方程的解算，从而交会被摄物体的空间位置。60年代意大利与美国合作制造了第一台解析测图仪。后来又不断改进，生产出了一批不同型号的解析测图仪。70年代，在赫尔辛基召开的国际摄影测量大会上，不同厂家展出了各种型号的解析测图仪，解析测图仪逐步成为摄影测量的主要测图仪器。到80年代，解析测图仪的发展更为迅速，成为这一发展时期有代表性

的产品。这一时期效果特别显著的是在测量控制点的内业加密方面，以计算机为基础的解析摄影测量是一项不小的改革。我们称摄影测量的这一发展时期为“解析摄影测量时代”。

解析测图仪与模拟测图仪的主要区别在于：解析测图仪使用的是数字投影方式，模拟测图仪使用的是模拟的物理投影方式。解析测图仪是由计算机控制的坐标量测系统，模拟测图仪使用纯光学、机械性的模拟测图装置。还有作业方式的不同：解析测图仪是计算机辅助的人工操作，模拟测图仪是完全的手工操作。由于解析测图仪中引入了半自动化的机助作业，因此，免除了繁琐的定向过程及测图过程中的许多手工作业方式。但它们都是使用摄影像片，并都需要人用手去操作仪器，同时用眼睛进行观测。其作用主要是模拟产品。当然在解析测图仪上以数字形式记录多种信息，也可以形成数字产品。

数字摄影测量的发展起源于摄影测量自动化的实践，摄影测量自动化是摄影测量工作者多年追求的理想。20 世纪 50 年代，美国研制了第一台自动化摄影测量测图仪。当时是将像片上灰度的变化转换成电信号，利用电子技术实现自动化。这种方法是最早研究的立体观测自动化的技术，由于它的不足，以及现代技术的发展，现在已不再采用这种方法。但它的理论和技术是研究数字摄影测量的基础，美国于 60 年代研制成功的 DAMC 系统就是属于这种数字的自动化测图系统。后来，许多国家研制了这种测图系统，它们都是采用数字方式实现摄影测量自动化。因此，数字摄影测量是摄影测量自动化的必然产物。

随着计算机技术及其应用的不断发展以及数字图像处理、人工智能等科学的不断发展，数字摄影测量的内涵已远远超过了传统摄影测量的范围，现已被公认为是摄影测量的第三个发展阶段。数字摄影测量与模拟、解析摄影测量的最大区别在于：它处理的原始信息是数字影像，它最终是以计算机代替人眼进行立体观测，因而，它所使用的仪器最终将只是计算机及其相应的外部设施。其产品是数字形式的，传统的模拟产品只是该数字产品的模拟输出。表 1-1-1 列出了数字摄影测量三个发展阶段的特点。

表 1-1-1 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	普通像片	物理投影	模拟测图仪	人工操作	模拟产品
解析摄影测量	普通像片	数字投影	解析测图仪	机助作业	模拟产品 数字产品
数字摄影测量	普通像片 数字化影像 数字影像	数字投影	数字摄影测量 工作站	自动化 + 人工干预	数字产品 模拟产品

二、摄影测量与遥感的结合

在 20 世纪 60 年代，在苏联宇航员加加林上天之后，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，随后便得到了广泛使用。遥感的含义是一种探测物体而不接触物体的技术。70 年代，美国陆地

资源卫星上天后,遥感技术得到了极为广泛的应用。由于遥感技术在资源勘查和环境监测方面效率很高,很快在全世界得到重视,为多种学科所采用。

遥感技术对摄影测量学的冲击和作用首先是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。在遥感技术中除了可以使用可进行黑白摄影、彩色摄影、彩红外摄影的框幅式摄影机外,还可使用全景摄影机、光电扫描仪(红外、多光谱)、CCD(电荷耦合器件)线阵或面阵扫描仪及合成孔径测试雷达(SAR)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覆盖范围从可见光到远红外,有较高的空间分辨率(15 cm)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EOS-SAR,基本上覆盖了大气窗口的所有电磁波范围,它们提供了十分丰富的影像信息。以空间飞行器为平台,围绕地球长期运转,为我们提供了大量的多时相、多光谱、多分辨率的丰富影像信息,而且,所有的航天遥感传感器也可用于航空遥感。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国也有相应的变动。

近入80年代以后,遥感技术的新的飞跃再次展现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,可返回地面并重复使用,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、光谱分辨率和时间分辨率也有了很大提高。仅以地面分辨率为例,Landsat卫星的MSS图像,像素在地面大小为79 m,而1983~1984年发射的Landsat-4、5上的TM(专题制图仪)图像则为30 m。欧洲空间局(ESA)1983年12月发射的太空实验室(SPACELAB),利用德国蔡司厂300 mmRMK相机,获得比例尺为1:80万的航天像片,地面分辨率为20 m(每毫米线对),相当于像元素地面大小为8 m。1984年美国宇航局发射的航天飞机载大像幅摄影机LFC,其像幅为23 cm×46 cm,地面分辨率为15 m。1986年2月和1990年法国发射的SPOT-1、2卫星,利用两个CCD线阵列构成数字式扫描仪,像素地面大小对全色为10 m,通过侧向镜面倾斜可获得基线/航高比为1.0~1.2的良好立体影像,从而可采集DEM和立体测图,并可制作正射影像,可进行1:5万地图测制或修测。SPOT影像在海湾战争中得到广泛应用。苏联的KFA-1000航天像片,相当于像素地面大小为4 m,分辨率极高。而到了90年代,由于高分辨率长线阵、大面阵CCD传感器的问世,使得卫星遥感图像的地面分辨率大大提高。例如,印度卫星IRS-1C,其地面分辨率为5.8 m;法国研制的SPOT-5采用新的三台高分辨集成像一起(HRG),能提供5 m的地面分辨率,并能同轨或异轨立体成像。日本研制的Hiros高分辨率观测卫星,具有2.5 m全色分辨率和10 m多光谱分辨能力。南非已于1995年发射了一颗名为“绿色”的遥感小卫星,载有1.5 m分辨率的可见光CCD相机,德国也正在研制1~2 m分辨率的成像卫星系统。美国于1999年9月成功发射的IKONOS-2以及随后发射的“Early Bird”、“Quick Bird”,能提供0.82 m空间分辨率的全色影像和4~15 m空间分辨率的多光谱影像。此外,作为主动遥感的测试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。所有这些都为遥感的定性和定量化研究提供了条件,利用空间影像测图已成为一种重要途径。

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。众所周知，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图数据库，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。一个现代的数字摄影测量系统与一个现代的遥感图像处理系统已分不出什么本质差别了。

事实上，包括像片判读在内的摄影测量的发展历史，就是遥感的发展历史；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）技术中的数据采集和更新的重要手段。

第二章 摄影测量学基础

第一节 摄影测量学基本原理

一、影像与物体的关系——中心投影

事实上,影像与实际地物之间存在着某种投影关系。在摄影测量中,是以中心投影为基础,表达像点与相对应的物点间的数学关系。航摄像片是由地面上各点反射的光线通过航空摄影机物镜投射到底片感光层上形成的影像,这些光线会聚于物镜中心 S ,称为摄影中心。也就是说,航摄像片是地面景物按照中心投影的原理所成的像,所以说航摄像片是地面的中心投影,摄影中心就是投影中心。航摄像片上有一些特别的点、线、面,它们对于研究航摄像片的数学性质和确定航摄像片的空间位置具有特殊的意义,故我们对这些点、线、面作一些介绍。

如图 1-2-1 所示, E 表示物面,即平行于地面的水平面, P 表示倾斜像片面,它们的交线 TT 称为迹线,也叫作透视轴。迹线上的点称为迹点,它既是物又是像,因此,又称为二重点,迹线也称为二重线。物面与像片面的夹角称为像片倾斜角。

过投影中心 S 作一个平面,既垂直于物面又垂直于像片面,称为主垂面 W ,它与像片面 P 的交线称为像片主纵线 vi ,表示像片面的最大倾斜方向。与 E 面的交线 VV 称为基本方向线。主纵线与基本方向线的交点称为主迹点 v 。

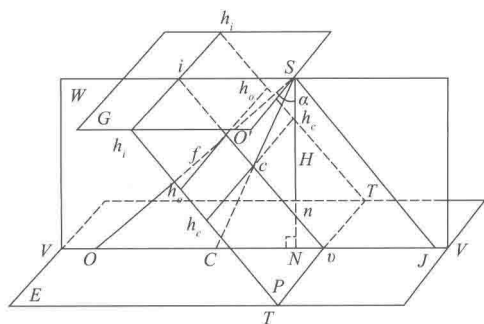


图 1-2-1 航摄像片特殊点、线、面示意图

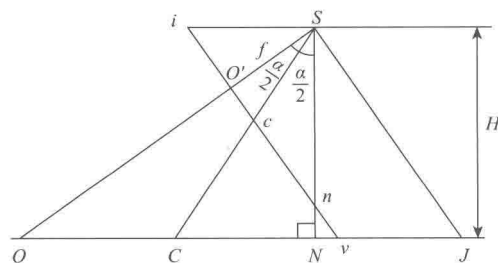


图 1-2-2 主垂面 W 上特殊点、线图

过投影中心 S 作物面 E 的垂线 SN ,称为主垂线,与像片面交于点 n ,称为像底点,与物面 E 的交点 N 称为地底点。 S 到 N 的距离即为航高 H 。过投影中心 S 点作 P 面的垂线,称为主光轴,与像平面 P 的交点 o 称为像主点, S 到 o' 的距离 f 称为主距,主光轴与

E 面的交点 O 称为地主点。过 S 点作 $\angle OSN$ 的平分线与 P 面的交点 c 称为像等角点，与 E 面的交点 C 称为地等角点。

过 S 点作一个平面平行于 E 面，称为合面或真水平面，交像片面于直线 $h_i h_i$ ，称为合线或真水平线， $h_i h_i$ 与主纵线的交点 i 称为主合点，它是 E 面上一组平行于基本方向线的平行线束在 P 面上的构像的会聚点。而像底点 n 是一组垂直于 E 面的平行线束在 P 面上构像的会聚点。在像平面 P 上，与主纵线正交的直线称为像水平线。通过像主点的水平线 $h_o h_o$ 称为主横线，通过等角点 c 的水平线 $h_c h_c$ 称为等比线，各水平线与透视轴是平行的。

过投影中心 S 点作平行于像片面 P 的平面（图中未表示）称为遁面，遁面与地平面的交线称为遁线，遁线与基本方向线的交点 J ，称为主遁点，它是 P 面上一组平行于主纵线的平行线束在 E 面上构像的会聚点。 S 、 i 、 v 、 J 四个点组成了一个平行四边形，称为极四边形。

根据工作的需要，有时只需绘出 W 面内的图形，如图 1-2-2 所示。图中的三角形 vcC 、 iSc 、 JSC 都是等腰三角形。从图中可以求得航摄像片特别点、线之间的相互关系：

$$\begin{aligned} on &= f \cdot \tan \alpha \\ oc &= f \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\ iS = ic &= \frac{f}{\sin \alpha} \\ iv = SJ = JC &= \frac{H}{\sin \alpha} \\ vc = vC &= \frac{H - f}{\sin \alpha} \end{aligned} \quad (1-2-1)$$

二、摄影测量中常用坐标系

我们知道摄影测量的主要任务就是利用像片来测制各种比例尺的地形图。即根据像片上像点的坐标确定相应的地面点的三维坐标，因此我们必须首先选择适当的坐标系来描述像点和地面点的空间位置，然后，再利用像点和地面点的坐标变换，从像点坐标求出相应的地面点的空间坐标。摄影测量常用的坐标系分为两大类，一类称为像方空间坐标系，是用来描述像点的位置；另一类称为物方空间坐标系，是用来表示地面点的空间位置。下面对两类坐标系分别予以介绍。

（一）像方空间坐标系

1. 像平面坐标系

像平面坐标系通常采用右手坐标系，是用来表示像点在像平面上的位置。 x 、 y 坐标轴的选择根据实际情况来定，在实际作业中，常采用框标坐标系，即根据框标来确定像平面坐标系。

如图 1-2-3a 所示，以像片上对边框标的连线作为 x 、 y 轴，其交点 P 作为坐标原点， x 轴与航线方向保持一致。坐标量测时得到的像点坐标值，通常就是在此坐标系中的数据。

若像片上只有光学框标，即框标位于像片的四个角上，则应以对角框标连线夹角的平分线确定 x, y 轴，交点为坐标原点， x 轴的方向仍然与航线方向一致。如图 1-2-3b 所示。

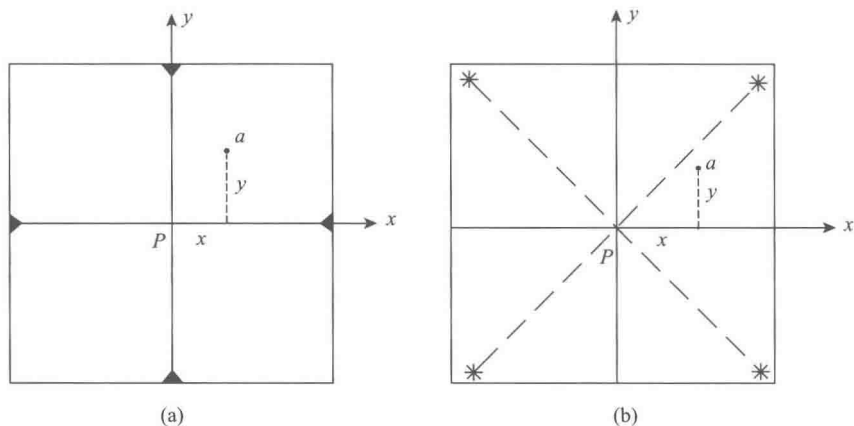


图 1-2-3 框标坐标系图

在摄影测量计算中，像点的坐标必须采用以像主点为原点的像平面坐标系，为此，当像主点与框标连线交点不重合时，需将框标坐标系的原点平移至像主点上，如图 1-2-4 所示。像主点在框标坐标系中的坐标 x_0, y_0 在摄影机鉴定时已经获取，则量测出的像点在框标坐标系中的坐标 x, y 就可以平移至以像主点为原点的像平面坐标系中，计算时坐标为 $x - x_0, y - y_0$ ， x_0, y_0 为微小值，一般情况下不予考虑。

2. 像空间坐标系

像平面坐标系只能表示像点在像片上的位置，为了便于进行空间坐标的变换，需要建立起像空间坐标系，简称像空坐标系。像空间坐标系 $S - xyz$ 是用来描述像点在像方空间位置的坐标系，一般采用右手直角坐标系。像空间坐标系以摄影中心 S 为坐标原点， z 轴与主光轴重合， x, y 轴分别与像平面坐标系的 x, y 轴相平行，如图 1-2-5 所示。在这

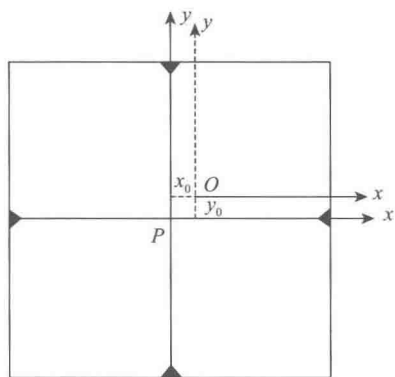


图 1-2-4 像主点为原点的像平面坐标系图

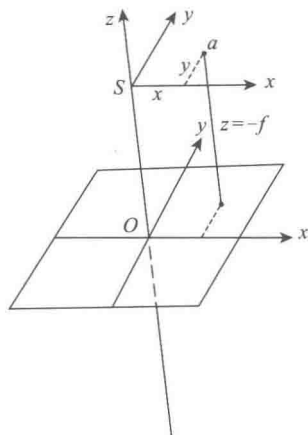


图 1-2-5 像空间坐标系图

个坐标系中，每个像点的 z 坐标都等于 $-f$ ，而 x, y 坐标也就是以像主点为原点的像平面坐标 x, y ，因此任一像点 a 的像空间坐标表示为 $a(x, y, -f)$ 。像空间坐标系是随着像片的空间位置而定，所以每张像片的像空间坐标系是各自独立的。

3. 像空间辅助坐标系

像点的像空间坐标系可直接以像平面坐标求得，但这种坐标的特点是每张像片的像空间坐标系不统一，这会给计算带来困难。在立体摄影测量中，考虑到相邻相片或航线中各相片之间的联系，建立起与像空间坐标系共原点的像空间辅助坐标系 $S-XYZ$ 。像空间辅助坐标系的种类较多，它只是解决所求问题的一种过渡性坐标系，因此它可以根据不同坐标变换的需要，选择相应的坐标轴。此坐标系的原点仍选在摄影中心 S ，坐标系的选择通常有三种选取方法。第一种方法是取铅垂方向为 Z 轴，航向为 X 轴，构成右手直角坐标系，如图1-2-6a所示。第二种方法是以每条航线内第一张像片的像空间坐标系作为像空间辅助坐标系，如图1-2-6b所示。第三种方法是基线坐标系，以每个像对的左片摄影中心为坐标原点，摄影基线方向为 X 轴，以摄影基线及左片主光轴构成的面作为 XZ 面，构成右手直角坐标系，如图1-2-6c所示。对一条航线而言，所建立的各摄影站的像空间辅助坐标系都是互相平行的，计算出的像空间辅助坐标系中的像点坐标 $X、Y、Z$ 只是一种过渡性的坐标，因而像空间辅助坐标系乃是一种过渡性的坐标系。

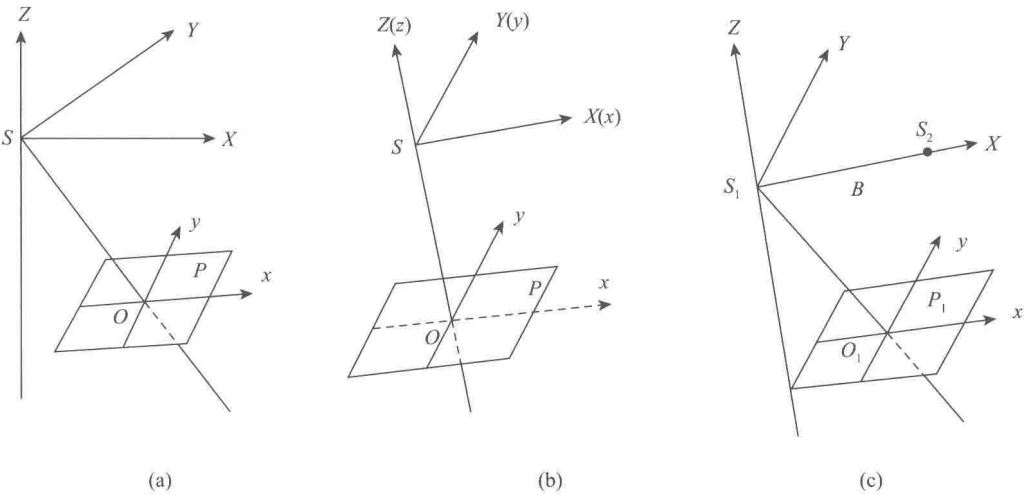


图 1-2-6 像空间辅助坐标系图

(二) 物方空间坐标系

物方空间坐标系用于描述地面点在物方空间的位置，常用的物方空间坐标系有以下3种：

1. 摄影测量坐标系

摄影测量坐标系仍然是一种过渡性质的坐标系。将像空间辅助坐标系平移到相应地面点 P 上，得到的坐标系 $P-X_pY_pZ_p$ 称为摄影测量坐标系，如图1-2-7a所示。由于它与像空间辅助坐标系平行，因此，只要将像空间辅助坐标平移并乘以适当的比例因子，变换

求得的坐标就是相应的地面点的摄影测量坐标。

2. 地面测量坐标系

地面测量坐标系通常指地图投影坐标系，也就是高斯-克吕格三度带和六度带投影的平面的坐标系和国家高程基准。地面测量坐标系纵轴为 X ，横轴为 Y ，用 $T-X_t Y_t Z_t$ 表示，如图 1-2-7b 所示。野外像片控制测量所提供的像片控制点就是地面测量坐标系中的坐标。

3. 地面摄影测量坐标系

由于地面测量坐标系采用的是左手系，而摄影测量坐标系采用的是右手系，这给由摄影测量坐标到地面测量坐标系的转换带来了许多不便，为此，在摄影测量坐标系与地面测量坐标系之间建立一种过渡性的坐标系称为地面摄影测量坐标系，用 $D-X_{tp} Y_{tp} Z_{tp}$ 表示，其坐标原点在测区内的某一地面点（一般是已知点）上，坐标轴与地面坐标系平行，横轴与纵轴互换构成右手直角坐标系，如图 1-2-7c 所示。在摄影测量的坐标变换中，首先将摄影测量坐标转换成地面摄影测量坐标，最后再转换成地面测量坐标。

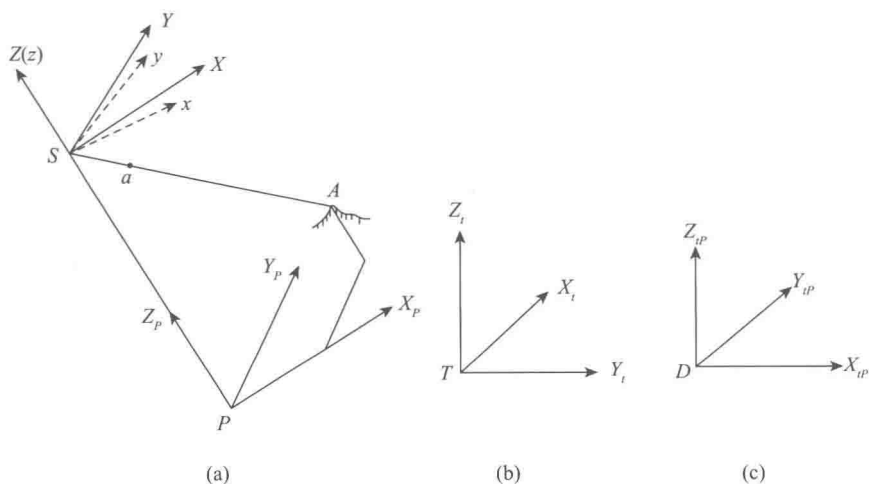


图 1-2-7 物方空间坐标系图

三、航摄像片的内、外方位元素

摄影测量的主要目的就是根据像点位置解求地面点的空间位置（平面坐标和高程），这就不仅需要知道摄影物镜（投影中心）与像片面的相对位置，也要知道或解求出摄影瞬间摄影机的空间位置。也就是要确定像片与地面的相关位置，即摄影瞬间摄影中心、像片和地面的相关位置，这些有关数据就称为摄影像片的方位元素。根据它们的作用不同，又分为内方位元素和外方位元素。

（一）内方位元素

用来确定摄影中心和像片相关位置的数据称为摄影像片的内方位元素。它包括 3 个元素：摄影机主距 f 、像主点在像平面框标坐标系中的坐标 (X_0, Y_0) ，如图 1-2-8 所示。

摄影时地面上的各个点与投影中心之间形成的摄影光束可由像片上各相应点和投影中心之间的关系来确定。在摄影测量中,当恢复了像片的内方位元素,各像点与投影中心之间形成的投影光束就与摄影时的摄影光束完全相似。像片的内方位元素通常是已知的,可以通过摄影机鉴定获得。

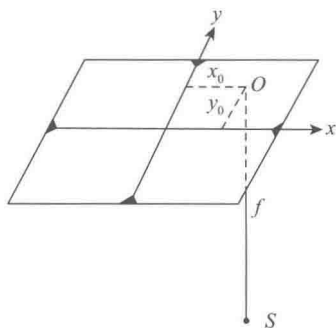


图 1-2-8 内方位元素图

由于航摄像片是地面的中心投影,摄影光束就是一个光线束的锥体,那么内方位元素中有任何一个数据改变,都会使摄影光线改变。所以,内方位元素的作用就是确定或恢复摄影光束的形状。

(二) 外方位元素

确定摄影瞬间摄像机或像片的空间位置,亦即摄影光束空间位置的数据,称为像片的外方位元素。外方位元素是用来确定摄影中心和像片与地面相关位置的数据,也就是确定摄影光束空间方位的数据。它包括 6 个数据,其中 3 个是直线元素 X_S 、 Y_S 、 Z_S ,用于描述摄影中心的空间坐标值;另外 3 个是角元素 φ 、 ω 、 κ ,用于描述像片的空间姿态(图 1-2-9)。

四、共线方程

共线条件方程式是像点与相应地面点间最基本的坐标关系式,简称共线方程。设摄影中心与地面点 A 在地面摄影测量坐标系 $D-X_{tp}Y_{tp}Z_{tp}$ 中的坐标为 X_S 、 Y_S 、 Z_S 和 X_A 、 Y_A 、 Z_A ,则地面点 A 在像空间辅助坐标系中的坐标为 $X_A - X_S$ 、 $Y_A - Y_S$ 、 $Z_A - Z_S$,而相应像点 a 在像空间辅助坐标系中的坐标为 X 、 Y 、 Z 。由于 S 、 a 、 A 三点共线,因此,从相似三角形关系得

$$\frac{X}{X_A - X_S} = \frac{Y}{Y_A - Y_S} = \frac{Z}{Z_A - Z_S} = \frac{1}{\lambda} \quad (1-2-2)$$

式中 λ 为比例因子,写成矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{bmatrix} X_A - X_S \\ Y_A - Y_S \\ Z_A - Z_S \end{bmatrix} \quad (1-2-3)$$