

高等学校试用教材

航空摄影 测量学

(上册)

黄世德 主编



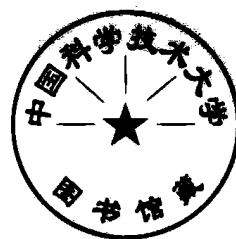
测绘出版社

高等学校试用教材

航空摄影测量学

(上册)

黄世德 主编



测绘出版社

高等学校试用教材
航空摄影测量学（上册）
黄世德 主编

*

测绘出版社出版
测绘出版社印刷厂印刷
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16.5 · 字数370千字
1986年6月第一版·1986年6月第一次印刷
印数 0.001—3,500册 · 定价 2.75 元
统一书号：15039·新 463

前 言

本书是根据武汉测绘学院航空摄影测量与遥感专业的“航空摄影测量学”教学大纲编写的，可作为本专业日校学生和函授生的教科书；也可供测绘类专业的师生和工程技术人员自学参考。

全书分上、下两册。上册分十章，下册分九章，总共十九章。上册内容包括：投影几何基本知识、像片解析、立体观测法等摄影测量的基础理论与知识；像片纠正和制作像片平面图；模拟法立体测图的理论、方法和主要的仪器结构，以及正射影像技术（包括正射投影仪）等。下册内容包括解析空中三角测量；解析测图仪和机助测图；数字地形模型；立体测图的自动化，以及地面立体摄影测量的基本知识等。上册中第一章由金为铨编写，第二、四两章由盛浩然编写，其余各章由黄世德编写；下册中，第十一至十四章由黄世德与金为铨合编，第十五章由黄世德与吕言合编；第十六章由林宗坚编写，第十七、十八两章由张祖勋编写，第十九章由冯文灏编写。全书由黄世德作统一修订。本书的内容着重于论述基本理论和基本技术，关于具体的作业方法则由另开设的实验课、课程设计和实习讲义来补充。

书稿承郑州测绘学院副教授钱曾波同志进行了初审和复审，提出许多宝贵意见；测绘出版社副总编林天冲同志代表教材编委会进行了审阅，也提出许多宝贵意见，使本书避免了不少的缺点和错误；又承郑志贞、王士虎、严烈和冯沅沅等同志帮助抄写和描绘插图，在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免还有缺点和错误，谨希读者不吝指正。

编 者

1984年9月于武汉测绘学院

目 录

第一章 绪 论	(1)
§1-1 摄影测量学的内容与任务.....	(1)
§1-2 航空摄影测量的发展概况.....	(2)
§1-3 航空摄影的基础知识.....	(4)
第二章 投影几何的基本知识	(9)
§2-1 仿射变换.....	(9)
§2-2 透视变换.....	(12)
§2-3 透视变换格网的建立.....	(16)
§2-4 透视变换的作图.....	(18)
§2-5 透视变换图形的展开与叠合.....	(19)
§2-6 立体的透视作图.....	(21)
第三章 航摄像片解析	(24)
§3-1 航摄像片的内、外方位元素.....	(24)
§3-2 像点坐标.....	(26)
§3-3 像点坐标在不同坐标系中的变换.....	(27)
§3-4 方向余弦值的确定.....	(33)
§3-5 像点空间坐标变换的应用.....	(35)
§3-6 像点坐标变换的一次项式.....	(39)
§3-7 航摄像片比例尺.....	(40)
§3-8 像点位移与方向偏差.....	(42)
§3-9 航摄立体像对的前方交会公式.....	(49)
§3-10 立体像对的外方位元素.....	(52)
§3-11 坐标变换一次项式在立体像对中的应用.....	(55)
第四章 航摄像片纠正与制作像片平面图	(59)
§4-1 纠正概念.....	(59)
§4-2 像片纠正的几何条件.....	(60)
§4-3 纠正仪的光学条件.....	(61)
§4-4 几何条件与光学条件的结合.....	(62)
§4-5 纠正仪的自由度与纠正元素.....	(63)
§4-6 纠正仪.....	(67)
§4-7 纠正仪上的像片纠正技术.....	(79)
§4-8 制作平坦地区的像片平面图.....	(82)

§4-9	丘陵地区的分带纠正	(86)
§4-10	仿射纠正	(90)
第五章	立体观察与立体量测	(94)
§5-1	人眼的立体视觉	(94)
§5-2	人造立体视觉	(95)
§5-3	像对的立体观察	(97)
§5-4	立体量测	(100)
§5-5	反光立体镜在航测中的应用	(101)
§5-6	立体模型的高程扭曲	(103)
第六章	分工法(微分法)测图	(106)
§6-1	立体量测仪的结构原理	(106)
§6-2	立体量测仪上像对定向原理	(115)
§6-3	用立体量测仪测绘地貌	(121)
§6-4	地貌、地物的转绘	(126)
§6-5	投影转绘中有关像片偏心问题的探讨	(130)
§6-6	视差测图仪	(134)
第七章	双像投影测图	(142)
§7-1	双像投影测图的基本原理	(142)
§7-2	像对的相对定向原理和作业步骤	(143)
§7-3	几种特殊情况的相对定向	(151)
§7-4	相对定向的不定性	(154)
§7-5	立体模型的绝对定向	(156)
§7-6	测绘地物与地貌	(160)
§7-7	用立体测图仪进行空中三角测量	(162)
第八章	立体测图仪	(168)
§8-1	综述	(168)
§8-2	光学投影类立体测图仪	(177)
§8-3	机械投影类立体测图仪	(184)
§8-4	格网模型的量测与精度评定	(206)
§8-5	立体测图仪的附属设备	(209)
§8-6	电子绘图桌	(213)
第九章	变换光束测图	(216)
§9-1	变换光束的基本原理	(216)
§9-2	在普通立体测图仪上作变换光束测图	(221)
§9-3	变换光束的立体测图仪	(222)
第十章	正射影像技术	(230)
§10-1	概述	(230)

§10-2	直接式（中心投影式）光学投影的正射投影仪	（ 232 ）
§10-3	间接式（函数式）光学投影的微分纠正理论	（ 236 ）
§10-4	ORTHOPHOTB 型正射投影仪	（ 241 ）
§10-5	威特 A8-ppo8 正射投影仪	（ 246 ）
§10-6	威特 OR-1 型和联邦德国蔡司 Z-2型正射投影仪	（ 249 ）
§10-7	正射影像技术某些问题的探讨	（ 254 ）

第一章 绪 论

§ 1-1 摄影测量学的内容与任务

传统的摄影测量学是利用光学摄影机摄得的像片，研究确定被摄物体的形状、大小和位置的理论与技术的一门学科。它包括的内容有：获取被摄物体的信息，研究信息处理中的理论、设备和技术，以及将所测得的成果用图像形式或数字形式输出的方法和设备。

摄影测量从开创到现在，主要是用于测制地形图，因此，摄影测量学在理论、方法和仪器等方面的发展都受到了地形测量与地图制图的影响。摄影测量的主要特点是在像片上量测，无需接触物体本身，因而很少受自然和地理等条件的限制。此外，像片是客观的真实反映，信息丰富，人们可以从像片上所包含的几何信息和可供判读的其它信息中选择所需量测和处理的对象。摄影测量的基本原理和基本技术均可用于非地形测量的各个方面。

由于现代航天技术和电子计算技术的发展与应用，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(包括用雷达和X光等所摄的影像)，基本上都可以使用摄影测量技术，有效地解决某一方面的问题。这些被摄物体可以是固体、液体，也可以是气体；它可以是静态的，也可以是动态的；它可以是微小的，也可以是巨大的。这些灵活性使摄影测量成为可以多方面应用的一种测量方法。由此，发展中的“摄影测量学”，它的定义应为：“根据摄影像片和各种传感器从宇宙空间对地面进行遥感（可见光、红外和微波等辐射能）所得的各种图像记录，研究对其进行处理、量测和判读的理论和方法，以确定物体的形状、大小、性质和位置及其环境的可靠信息的一门学科”。

摄影测量学有：航空摄影测量、航天摄影测量、双介质摄影测量、地面摄影测量以及近景摄影测量等分支学科；也可分为地形摄影测量与非地形摄影测量两大类。地形摄影测量主要是用于测绘国家基本地形图、工程勘察设计和城镇、农业、林业等各部门的规划与资源调查等用图；非地形摄影测量是将摄影测量方法用于解决资源调查、变形观测、环境监测、军事侦察、弹道轨迹、爆破以及工业、建筑、医学和考古等各方面的科学技术问题。

目前，卫星摄影的像片还只能用于编制 1:250,000 到 1:1,000,000 的小比例尺影像地图和专题地图，测制较大比例尺的地形图则尚处在研究和试验阶段。地面摄影测量虽有前景遮蔽后景以及精度不均匀等缺陷，但它是在静态下摄影，影像比例尺可以很大，量测精度亦高，故可用于小面积的大比例尺测图以及建筑物的变形观测等。航空摄影测量是用飞机上摄取的地面像片测制地形图，它是我国当前测绘 1:5000 至 1:100000 各种比例尺地形图的主要方法。摄影测量作业绝大部分在室内进行，且具有较高的机械化和自动化程度。

对于摄影测量与遥感学科的全部内容，我们从便于教学的角度，目前分设了航空摄影测量、摄影与空中摄影、非地形摄影测量、遥感技术、遥感图像的几何处理、数字影像处理等专业课程。本课程只讲述航空摄影测量和地面（地形的）摄影测量的基本理论、仪

器和方法。其中，有关外业测量的内容在“测量学”课程中讲述，本课程只从阐述原理的角度与之相联系。

§ 1-2 航空摄影测量的发展概况

十九世纪五十年代，摄影技术问世后便用于测量。当时摄影机像场角仅有 30° ，只用于地形测图。其方法是，量测像点坐标，计算像点的方向角，把它加到摄影方向上（即摄影机主光轴方向，它用经纬仪另外测定），再根据二、三个摄影站上所得的同一地物点的方向实行交会，确定该地物点的位置，称为“交线摄影测量”或“交会摄影测量”。以后，把经纬仪和摄影机结合起来，发展成为摄影经纬仪。二十世纪初，发明了立体观测方法后，德国的普夫里希（C·Pulfrich 1858—1927）于1901年制成立体坐标量测仪，奥地利的奥雷尔（E·Von·Orel 1877—1942）于1911年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。

十九世纪末至第一次世界大战前，很多学者进行了空中摄影的试验，且在摄影测量的理论和设备上都有初步的发展。例如，德国的芬士特瓦尔德（S·Finsterwalder 1862—1951）使用投影几何原理提出了空间后方交会以及像片对相对定向与绝对定向的概念，奥地利的向甫鲁（T·Scheimpflug 1865—1911）提出像片纠正、双像投影测图仪以及辐射三角测量的概念。

第一次世界大战（1914—1918）中，航空技术有了迅速发展。利用飞机进行航空摄影，促使航空摄影测量迅速发展。从二十年代至六十年代间，航空摄影测量发展的主要方面是逐步完善了模拟法测图的理论、仪器（立体测图仪等）和技术。例如，德国的格鲁伯（O·Von·Gruber 1884—1942），他于1929年提出立体测图仪上进行相对定向与绝对定向的理论。以后，他又提出用立体测图仪进行单航带空中三角测量的理论。他还和他的同事们一起设计和完善了一些摄影测量的仪器。又如苏联于三十年代发展了立体测图仪的另一种结构形式，称为立体量测仪。以后，我国和有些国家也制造了类似的仪器，称为立体视差测图仪。这类仪器把所测空间点的平面位置与高程分别求解，仪器结构简单，使用方便，在苏联和我国的中、小比例尺地形测图中，曾起过相当大的作用。二十世纪六十年代，立体测图仪的品种繁多，发展至高峰，其后则改为简化主机而发展仪器的外围设备，如电子绘图桌、正射影像装置、数字记录装置，并发展了机助测图系统等。

美国人丘尔奇（E·Church）于二十世纪三十年代，应用空间光线束锥体原理用解析的方法解算空间前方交会、后方交会和双点交会，当时仅能用手摇计算机迭代运算，故得不到实际的应用。电子计算机和计算技术的发展，开辟了解析摄影测量的新纪元。1957年美国的海拉瓦（U·Helava）提出了解析测图仪的思想，并于六十年代初制成了第一台仪器。其后，特别是七十年代，解析测图仪有了较快的发展。目前，许多国家如联邦德国、美国、瑞士、法国、意大利等都有解析测图仪的新型产品，今后，它将有更广阔的发展前景。解析测图仪是由一台立体坐标量测仪和一台专用电子计算机以及相应的接口设备组成。若把它用于测图，其作用与模拟的立体测图仪相同，因为它根据数学关系式来形成立体模型的，所以，可以预先作各种系统误差的改正，还可以处理各种类型的像片，如

近景摄影的、双介质摄影的以及遥感中的全景像片等。此外，它是最容易实现自动化的测图仪，在这方面，现在已经取得了较好的成效。

德国人斯密特（H·Schmid）于二十世纪五十年代在美国工作时，建立了解析摄影测量的基本理论。这一理论随即应用于空中三角测量，发展为解析空中三角测量。开始是单航带的，以后发展为多航带共同运算的区域网。目前，对解析空中三角测量的主要研究方向是提高精度和它的可靠性，亦即减小剩余系统误差的影响和剔除粗差。

随着遥感技术的发展，在航空摄影和航天摄影中已经广泛采用多光谱摄影、红外摄影、彩色摄影及微波摄影。如果事先掌握各种地形要素的光谱反射和辐射特性，就可以利用这些特性在像片上识别图像。从而提高室内判读的可靠性。为了增强影像信息的显示能力，提高判读的效果，还可以采取某些判读仪器，如把图像放大的判读显示器，阅读投影器，彩色合成仪和密度分割仪等。

国际摄影测量和遥感学会（ISPRS）是在学术方面发展国际合作，促进摄影测量学的发展和应用的学术团体。它成立于1910年，原称“国际摄影测量学会”，1980年第十四届代表大会时决定改为现名称。该会定期每四年召开一次大会，并开展学术活动。该会下设七个专业委员会，名称是：（1）原始信息的获取；（2）信息处理的仪器；（3）信息的数学处理；（4）地形测量和制图的应用；（5）非地形摄影测量；（6）摄影测量的经济、就业和教育问题；（7）信息的判读。各专业委员会在两次大会之间各自进行学术活动。1980年，我国以“中国测绘学会”名义正式加入该会。

我国的航空摄影测量事业开始于1930年。从1931年到抗日战争（1937年）前的时期内，用航测方法完成的地图约计如下^①：

- ① 1:10000 和 1:20000 比例尺军事要塞图 1180 余幅；
- ② 1:1000 和 1:2000 比例尺地籍图 8456 幅；
- ③ 铁道方面 1:5000 和 1:10000 比例尺像片图和地形图约 1000 幅；
- ④ 水利方面 1:10000 比例尺地形图约 690 幅；
- ⑤ 其它方面的 1:5000 至 1:20000 比例尺的地形图和像片图共约 41000 余幅。

从1937至1949年的时期内，受战争和器材缺乏的限制，航测工作进展不大。总起来说，旧中国用航测方法成图的总面积约一百万平方公里。然而，由于当时无统一的技术标准规范，又各部门各自为阵，无统一规划，故这些图支离破碎，互不衔接，质量较差。

1949年新中国诞生后，中国共产党和人民政府十分重视测绘事业的建设与发展，我国的航测事业亦开始进入了兴旺发达的时期。建国初，大规模治理淮河工作中，新创建的航测技术队伍即投入了淮河广大流域的测图工作。随着大规模经济建设的开展，我国的测绘事业有了迅速发展，而航测事业的发展更为迅速。当时，在学习苏联的技术和管理经验的基础上，根据我国具体情况和条件，逐步建立了国家测绘总局、解放军总参谋部测绘局和经济建设部门中的测绘领导机构，制订了统一的规划，订立了统一的技术规范和条例，并集中全国测绘力量施测适合多种用途的国家基本地形图。从1953年到1969年的十七年中，

^① 旧中国的航测成图情况，参见王庸著《中国地图史纲》，1958·北京·三联书店。

基本上完成了除青藏高原以外的全部国土(不包括台湾省)的五万分之一和十万分之一比例尺地形图。到1976年,全国土十万分之一比例尺地形图全部测绘完毕。为了始终保持基本地形图的现势性,1960~1975年期间对五万分之一地形图进行了第一次修测更新。从1976年又进行第二次更新。国家基本地形图的施测(包括修测),除边境及个别地段外,全部是用航测方法完成的。

从1960年起,逐步开展万分之一比例尺地形图的测绘。按1969年统计,已成图1.4万幅(35万平方公里)。从1976年起继续施测,到1983年累计成图的总量达5.7万幅(约142万平方公里)。

从七十年代,我国的航空摄影测量技术有相当快的发展。普遍推广使用解析空中三角测量,并改用 23×23 厘米像幅的像片放大成图,大量地减少测图的野外工作量,降低了测图成本。现在正进一步推广电子计算技术,积极发展正射影像图和解析测图、机助测图以及自动化测图等先进技术。其中有些技术已经在生产中得到应用。

我国各测绘部门在航测测图方面常采用以下三种方法:

一、综合法

综合法是摄影测量的室内作业与野外实测综合运用的测图方法。其特点是,地形要素的平面位置用摄影测量方法解决,高程(包括等高线)用普通测量方法在野外实测。此法只适用于平坦地区测图,现在已很少采用;

二、分工法(微分法)

分工法即立体测图时,把地形要素的平面位置和高程分成两个独立步骤来解决的测图方法。其特点是将整个测图过程分成若干工序,可集中较多人力,分工进行测绘,此外,所用的仪器结构较为简单,价格低廉。缺点是测图工序多,成图周期较长,精度较低。一般只适用于丘陵地区的中、小比例尺测图。但在一定条件下(如摄影比例尺等于或略小于成图比例尺),也可用以测绘较大比例尺地形图。

三、全能法

全能法在一台模拟式立体测图仪上,同时测定地形要素空间位置(平面和高程)的测图方法。其特点是,首先建立与地面相似的立体模型(通常是光学的),据以进行量测和测绘等高线(即同时解决所测点的平面位置和高程)。此法基本上可适用于各类地区,各种比例尺的测图。在 $1:10000$ 甚至更大比例尺的地形图测绘工作中,全能法是主要的测图方法。

§ 1-3 航空摄影的基础知识

有关航空摄影的内容在“摄影与空中摄影课程中讲述,这里仅就一些基本知识作简略的叙述。

一、航空摄影机

航空摄影机简称航摄机(或称航摄仪),是航空摄影的重要仪器。型号很多,我国和美、德、瑞士等国均有产品,图1-1是联邦德国的RMK航空摄影机的全貌图,它是一种专用的、大像幅的摄影机,由镜箱(包括物镜)、暗匣、座架以及控制系统的各种设备等主

要部分组成。航摄机有测量用的和非测量用的两类。用于测量的航摄机的承片框处于固定不变的位置,航摄机物镜像方节点至底片面的距离是固定值,称为航摄机主距(常用 f 或 f' 表示),它与物镜焦距近似相等。

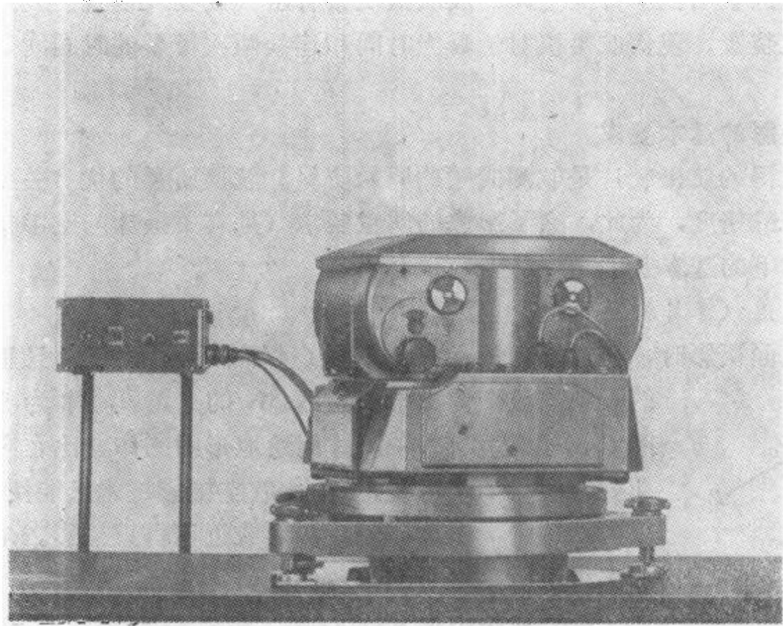


图 1-1

现代多用单镜箱航摄机,其像片尺寸(称为像幅)多数为 $23 \times 23(\text{cm}^2)$ 。通常根据其主距或像场角大小进行分类:

(1) 根据航摄机主距值的不同,航摄机分为长焦距(约等于和大于 200 毫米或 12 吋以上)、中等焦距(100~200 毫米或 6 至 12 吋)和短焦距(100 毫米或 6 吋以下)三种。

(2) 物镜焦面上中央成像清晰的范围称为像场,像场直径对物镜后节点的夹角称为像场角 2β (如图 1-2)。根据像场角的大小,航摄机又可以分为常角(75° 以下)、宽角($75^\circ \sim 100^\circ$)和特宽角(100° 以上)三种。

当像幅固定时,长焦距相应为常角摄影机,中等焦距相应为宽角摄影机,短焦距相应为特宽角摄影机。在一定的航高(H)时,航摄机主距(或像角)决定着所摄地表面的面积,主距短,摄得的面积大,影像的比例尺较小;反之,主距长,则摄得的面积小,而影像的比例尺则较大。

装有摄影物镜的镜箱,上面有研磨极平的承片框,它与可以装卸的暗匣相连。承片框的尺寸就是像片的尺寸。承片框四边的中央设有齿状的机械框标,用以确定像片主点的位置。

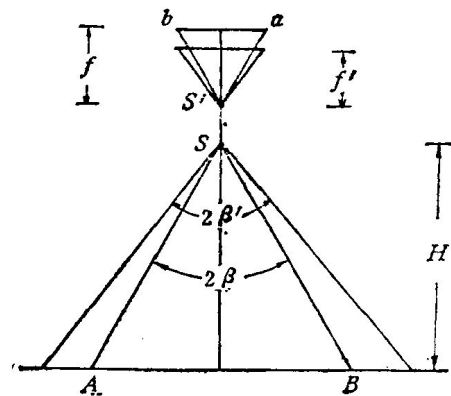


图 1-2

置，有的航摄机在承片框四个角隅处设“×”形的光学框标，有些航摄机则兼有光学的和机械的两种框标。摄影时除地面景物和框标外，还把水准气泡、摄影时间和像片编号等一并摄在像片上。

为使航摄软片紧贴在承片框上，一般航摄机备有压气或吸气装置使软片展平。航摄机的基座备有减震装置。现代航摄机对于曝光时间和连续两次摄影的时间间隔都是自动控制的。

二、航空摄影的基本要求

空中摄影获得的航摄底片是航测成图的原始资料。航摄质量的优劣关系到以后作业实施的难易和测量的精度，为此，除了影像的质量要求（见有关摄影与空中摄影的书籍）以外，还需满足如下的基本要求。

1. 航摄倾角（像片倾角）

航摄机向地面摄影时，摄影镜箱的主光轴 So （过摄影物镜后节点且垂直于底片平面的一条光线）偏离于铅垂线 SN 的夹角 α ，称为航摄倾角（如图 1-3）。应用水平像片测绘地形图的作业比之应用倾斜像片作业要方便得多。但是，当前的航空摄影技术只能使倾角保持在 3° 以内，这种摄影称为竖直摄影或近似垂直摄影。地形测图中，一般都只用竖直摄影的像片作业。

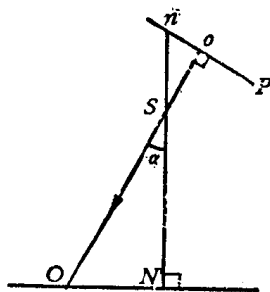


图 1-3

2. 航摄比例尺

当摄影像片有倾角、地形有起伏时，航摄像片的比例尺是一个较为复杂的问题，它将在第三章里探讨。但是对于某些情况，例如作航空摄影的计划，航测成图的作业计划等，摄影比例尺不必采用严格的观念，因而可以借用地图比例尺的概念来确定其近似值，即航摄像片上一线段 l 与地面上相应线段的水平距 L 之比称为航摄比例尺

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} \approx \frac{f}{H} \quad (1-1)$$

式中 H 为相对于测区平均水平面的航高， f 为航摄机主距。比例尺大，有利于影像判读，但过大的航摄比例尺不仅增多费用，同时也增加了许多工作量，浪费人力、物力。

航摄比例尺取决于测图比例尺，一般测绘小比例尺地形图时（如 1:100000），航摄比例尺大于测图比例尺；测绘中比例尺地形图时（如 1:50000），航摄比例尺略大或接近于测图比例尺；测绘大比例尺地形图时（1:10000 或更大）则航摄比例尺小于测图比例尺。

在作航空摄影计划时，选定了航摄机和航摄比例尺以后，(1-1) 式的 m 和 f 为已知值，航高 H 也由此确定了。航空摄影的飞机按预定的航高 H 飞行，以获得预定比例尺的航摄像片。然而实际航高与预定航高总会有些差异，一般不得大于 5%，同一航线内各摄影站的航高差不得大于 50 米。

3. 像片重叠度

用于地形测量的航摄像片，必须使像片能覆盖测区，而且能够进行立体测图，故在两像片之间需有一定的重叠。同一条航线内相邻像片之间的重叠影像称为航向重叠，相邻航

线间的重叠称为旁向重叠。重叠的大小用像片的重叠部分 x (y) 与整个像幅长 l_x (l_y) 比值的百分数表示, 称为重叠度(如图 1-4)。于是, 航向重叠 $p\%$:

$$\begin{aligned}
 p\% &= \frac{x}{l_x} \cdot 100\% \\
 &= \frac{X}{L_x} \cdot 100\% \\
 &= \frac{L_x - B}{L_x} \cdot 100\% \\
 &= \frac{l_x - b}{l_x} \cdot 100\% \quad (1-2)
 \end{aligned}$$

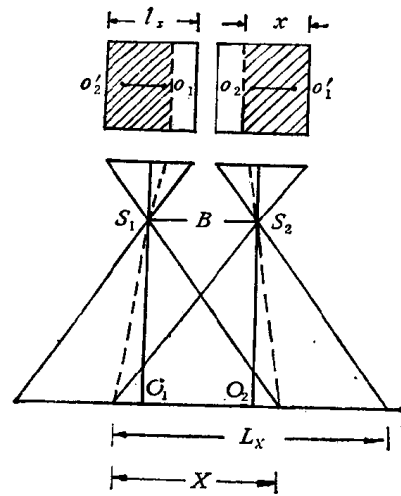


图 1-4

旁向重叠 $q\%$:

$$\begin{aligned}
 q\% &= \frac{y}{l_y} \cdot 100\% \\
 &= \frac{Y}{L_y} \cdot 100\% \\
 &= \frac{L_y - D}{L_y} \cdot 100\% \\
 &= \frac{l_y - d}{l_y} \cdot 100\% \quad (1-3)
 \end{aligned}$$

式中 B 为空间摄影基线, b 为其在像片上的相应值, D 为航线间隔, d 为其在像片上的相应值。航测作业中对于 18×18 (cm^2) 像幅的像片, 航向重叠度要求在 60% 以上, 不得小于 53%, 旁向重叠度要求有 30%, 最少不得小于 15%; 对于 23×23 (cm^2) 像幅的像片, 航向重叠度要求在 58% 以上, 不得小于 53%, 旁向重叠度要求有 24%, 最少不得小于 12%。上述规定是相对于摄区平均平面的概略数值。实际上由于实际的航高与设计航高有差异, 像片亦有倾斜角, 地表面亦有地形起伏, 都影响到重叠度。如果地面起伏不大, 则实际的重叠度一般不会小于上述规定。但是当地面起伏较大时, 则在最高的地方可能达不到最小重叠度的限值。为此, 对于起伏较大的地区, 作航摄计划时, 必须按下式计算像片的重叠度:

$$\left. \begin{aligned}
 p &= p' + (100 - p') \frac{h}{H} \\
 q &= q' + (100 - q') \frac{h}{H}
 \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

如果要求地面最高处在像片上的重叠度达到 $p' = 60$, $q' = 30$, 则在航摄时平均高程面上的像片重叠度应由下式求出:

$$\left. \begin{aligned} p &= 60 + 40 \frac{h}{H} \\ q &= 30 + 70 \frac{h}{H} \end{aligned} \right\} (1-4)'$$

式中 H 为平均相对航高， h 为相对于平均高程面的高差。

4. 航线弯曲度及航迹角

把一条航线的航摄像片根据地物影像叠拼起来，再用直尺将两端处的像片主点连成一条直线。如果航线中各张像片的主点并不落在这一条直线上，那末其连线必呈曲线状，称为航线弯曲。

为测绘地形图，敷设摄影航线的方向一般与图廓线平行，我国习惯用东西向。但是，在铁道、交通等部门进行路线勘测时，往往沿线路方向敷设航线，且划分成许多航线段，在每个航线段中仍按直线飞行。实际上由于气流等因素的影响，使航线发生弯曲，见图1-5，它是用偏离最大的一个像主点至航迹的垂距 δ （称最大的弯曲矢距）与航线长度 L 之比的百分数来表示，称为航线弯曲度 $\left(\frac{\delta}{L} \cdot 100\%\right)$ ，通常规定不得大于3%。对于航迹角通常没有作严格的规定。由于航线弯曲与航迹角都影响像片的旁向重叠。若旁向重叠过大或过小（过小时必须补摄一条航线），对于航测作业都是不利的。

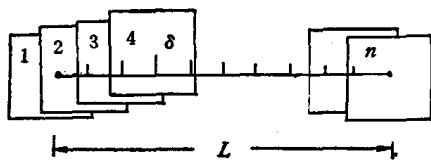


图 1-5

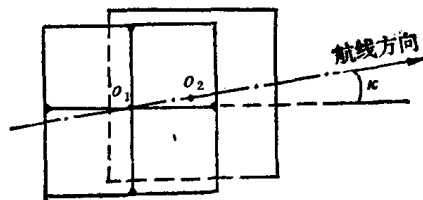


图 1-6

5. 像片旋偏角

本航线中相邻像片主点的连线与同方向的像片边框方向的夹角（如图1-6）称为像片旋偏角 κ 。一般规定不得大于 6° ，个别情况下不得超过 10° 。

像片旋偏角太大影响像片可用于作业的有效面积（通常指该片与周围像片影像重叠中线所包围的矩形），因而会增加航测作业的工作量。

第二章 投影几何的基本知识

航空摄影的像片是地面景物在像片平面上的投影，现介绍一些投影几何的基本知识。

用一组假想的直线将物体向几何面投射称为投影。投影的几何面通常取平面称为投影平面。投影的直线称为投射线(或投影线)，在投影平面上得到的图形也称投影。

投射线相互平行的投影称为平行投影(如图 2-1a)，若投射线垂直于投影平面，称为正投影或正射投影；投射线会聚于一点的投影称为中心投影，投射线的会聚点 S 称为投影中心(如图 2-1b)。平行投影可以认为是投影中心位于无限远处的中心投影，但在实际中，仍当作两种不同性质的投影。双心投影是将两投影中心和两个投影平面当作一个整体对同一物体进行的投影(如图 2-2)。双心投影本质上仍属中心投影。

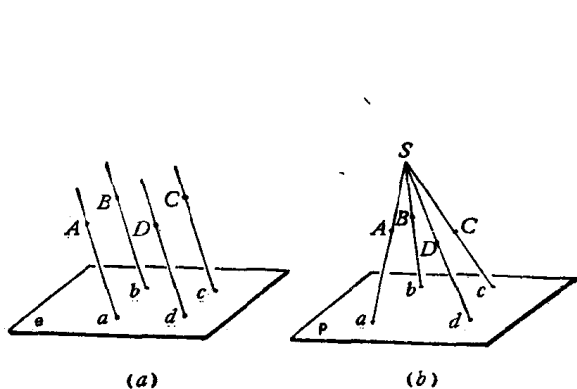


图 2-1

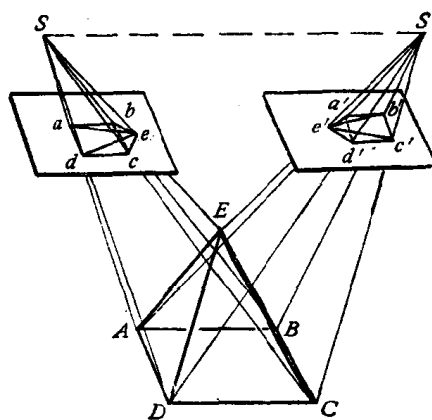


图 2-2

§ 2-1 仿射变换

一、平行投影与仿射对应

将平面 E 上诸点、线作平行投影在投影平面 e 上得到一一对应的点、线(如图 2-3)，

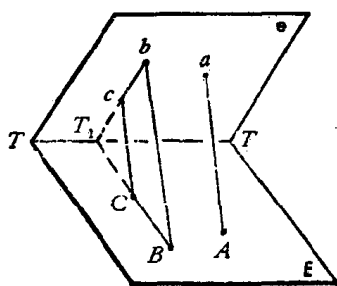


图 2-3

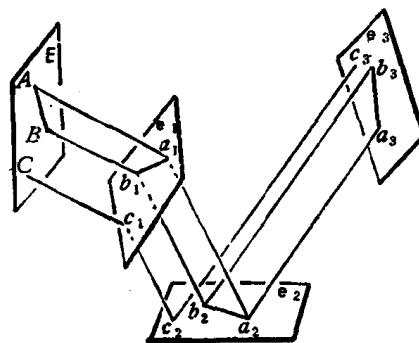


图 2-4

这种经平行投影取得一一对应的投影关系称为仿射对应。

设有若干个平面 E 、 e_1 、 e_2 ……(如图2-4)，若其中 E 面与 e_1 面、 e_1 面与 e_2 面……等平面之间均为仿射对应，则最初的平面 E 与最末一个平面 e_n 之间也将具有仿射对应的性质。通常将若干次平面之间的平行投影称仿射对应；将两平面间一次平行投影称为仿射变换。本书只讨论仿射变换。

二、仿射变换的不变性

1. 同素性

几何元素(点、直线)经仿射变换后的投影保持元素的种类不变，即一平面上的点，在仿射变换的投影平面内仍为点；一平面上的直线，在仿射变换的投影平面内仍为直线，这一性质称为同素性。

2. 互换性

根据同素性推理可知，两平面经仿射变换后，几何元素一一对应，即一平面上的点、直线在仿射变换的另一平面内的投影仍为点、直线；反之，由此平面的投影点、线按原投影射线经仿射变换后得到原来的点、直线，它们互为投影称为互换性或共轭性。这种具有互换性的点、线又称共轭点、共轭线。

3. 接合性

一平面内的两条相交直线经仿射变换投影至另一平面内，根据同素性推理可知，交点的投影仍为对应直线的交点，它们是共轭的，因此相交直线的仿射变换必定相交称为接合性。

4. 平行性

平面 E 内 L_1 、 L_2 为两平行直线， e 面内的 l_1 、 l_2 为其共轭直线(如图2-5)，现将两平面绕交线 TT 旋转后展开在同一平面上(如图2-6)， TT 称为两面的迹线。

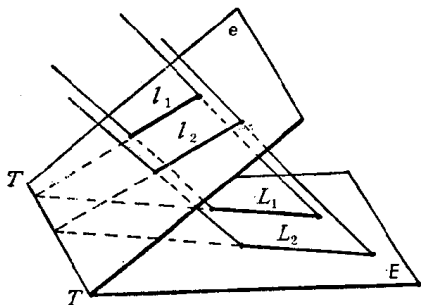


图 2-5

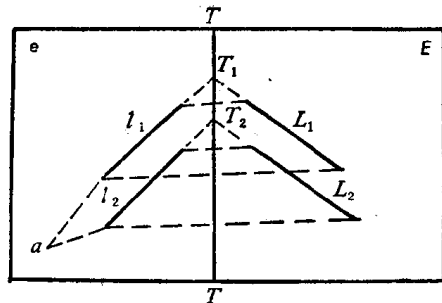


图 2-6

设直线 l_1 、 l_2 不平行而相交于 a 点，根据仿射变换的同素性和互换性，则 L_1 、 L_2 直线上应有与之对应的共轭点！这是不符合 L_1 、 L_2 为平行直线的前提条件，或者说，直线 L_1 与 L_2 没有交点，所以直线 l_1 与 l_2 也不应有交点，它们是平行的。因此得出：仿射变换中平行直线的投影仍互相平行，称为平行性。平行性是仿射变换的重要特征。

三、仿射变换的不变量

直线上三点间的单比确定了三点在直线上的相对位置。如图2-7，取 A 、 B 两点为基