

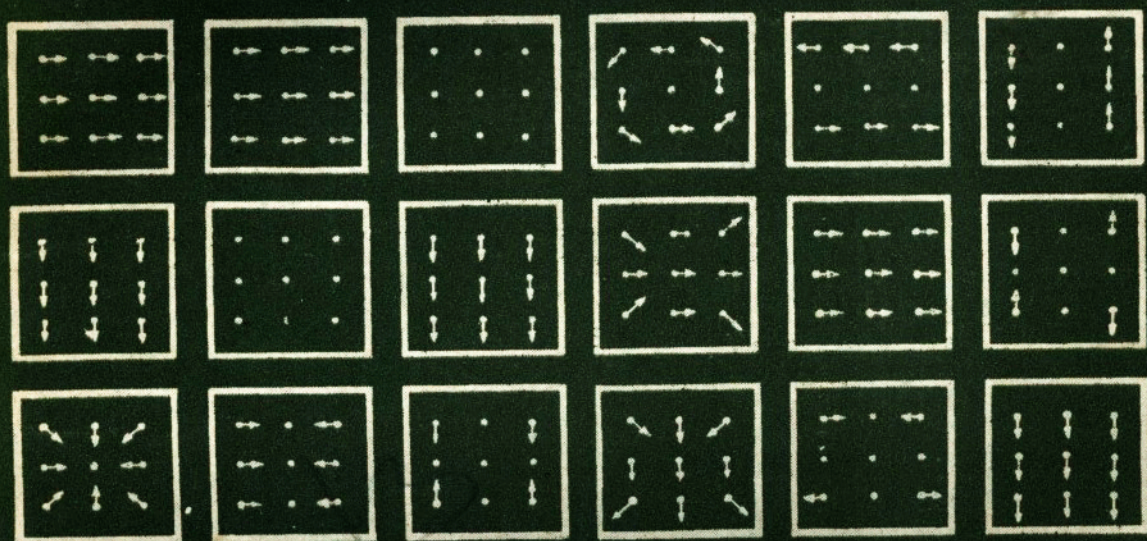
中等专业学校试用教材

航空摄影测量学

Hangkong Sheying Celiangxue

上册

熊天球 主编



测绘出版社

前 言

本书是按中等专业学校航空摄影测量专业《航空摄影测量学》教学大纲要求编写的。本书主要供航测专业的航空摄影测量学和解析法空中三角测量两门课程教学使用。

随着航空摄影测量的发展，对航测课程教学提出了新的要求。为了体现教学计划中对中等专业技术人员应掌握本专业必要的基础理论、基础知识的要求，适应当代航空摄影测量的发展，使学生掌握现代生产的基本技能，并具有一定的生产组织管理知识，本书在编写过程中对原有教材作了较大的修改和补充，删去或减少了陈旧的作业方法，但保留其必要的基本原理，同时增编了近几年来在生产中新采用的作业方法及其原理，对一些理论阐述及公式内容也作了改写，并对正在发展中的航测新技术作了概念性介绍。本书保持了航测基础理论的系统性与完整性，对航测作业方法的叙述较为具体详细，并适当地充实了新内容。

本书主要内容为航空摄影测量的基础理论；航空摄影测量主要成图方法的原理与作业技术；航空摄影测量主要仪器的结构、设计原理及其使用；解析法空中三角测量的理论与方法；航空摄影测量近代新技术。全书分为上、下两册，由以下十四章组成：绪论；航空摄影与航摄像片判读；航摄像片的解析；象片纠正与象片平面图的编制；航测综合法测图；航摄像对的解析；立体观察与立体量测；多倍投影测图仪测图；立体量测仪测图；立体测图仪；航测原图的编绘；解析空中三角测量；正射投影技术、解析测图仪、立体测图的自动化、数字地面模型；航测生产的技术设计概要。本书由熊天球、陈哲普、张宗文、严知行合编，全书由熊天球主编。熊天球编写第三、五、六、九、十、十一、十三、十四章；陈哲普编写第四、八章；张宗文编写第十二章；严知行编写一、二、七章。

本书由国家测绘局测绘教材编审委员会审定，在此对参加审稿并提出宝贵意见的崔炳光副教授、黄世德副教授等表示衷心感谢。由于编写时间仓促，更由于我们水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

1985年元月

目 录

第一章 绪 论	
第一节 摄影测量的任务、种类和优越性	(1)
第二节 航空摄影测量在社会主义建设和国防建设中的重要性	(2)
第三节 航空摄影测量的发展简史	(2)
第四节 航空摄影测量的简要过程	(3)
第二章 航空摄影与航摄像片判读	
第一节 航空摄影的基本知识	(6)
第二节 航摄像片判读	(14)
第三章 航摄像片的解析	
第一节 航摄像片是地面的中心投影	(20)
第二节 航摄像片的方位元素	(34)
第三节 航摄像片上的象点与相应地面点间的坐标关系	(36)
第四节 航摄像片上的象点移位和方向偏差	(44)
第五节 航摄像片比例尺	(57)
第六节 物理因素对象点点位的影响	(65)
第四章 象片纠正与象片平面图的编制	
第一节 概述	(71)
第二节 光学机械纠正	(73)
第三节 SEG-1 型纠正仪	(79)
第四节 SEG-1 型纠正仪的拆卸、安装与检校	(83)
第五节 在 SEG-1 型纠正仪上进行对点纠正	(86)
第六节 HJ-24 型纠正仪	(91)
第七节 WildE ₄ 型纠正仪简介	(97)
第八节 纠正仪的自由度与纠正点点数	(101)
第九节 平坦地区象片平面图的制作	(101)
第十节 丘陵地区的分带纠正	(106)
第十一节 变换光束纠正以及分带纠正的几个有关问题	(110)
第五章 航测综合法测图	
第一节 概述	(114)
第二节 航测综合法测图的外业控制测量	(115)
第三节 图解法辐射三角测量简述	(118)

第四节	航测综合法测图的地貌测绘与象片调绘	(120)
第六章	航摄像对的解析	
第一节	航摄像对与立体模型	(122)
第二节	航摄像对的外方位元素	(125)
第三节	理想象对上象点与相应地面点间的坐标关系和高差公式	(130)
第四节	航摄像对内倾斜象片上的象点与理想象片上相应象点间的坐标关系	(134)
第五节	航摄像对内倾斜象片上的象点与地面上相应点间的坐标关系	(142)
第六节	航摄像对相对定向元素与上下视差的关系	(145)
第七节	航摄像对外方位元素与左右视差的关系	(148)
第七章	立体观察与立体量测	
第一节	单眼观察	(152)
第二节	立体观察	(153)
第三节	象对的立体量测	(162)
第八章	多倍投影测图仪测图	
第一节	概述	(164)
第二节	多倍投影测图仪的构造与检校	(166)
第三节	象对的相对定向	(173)
第四节	几种特殊情况下的相对定向	(187)
第五节	模型的连接	(193)
第六节	模型的绝对定向	(197)
第七节	多倍仪测图作业过程	(201)
第八节	多倍仪变换光束作业	(205)
第九节	多倍仪空中三角测量	(210)
第九章	立体量测仪测图	
第一节	航测微分法概述	(220)
第二节	立体量测仪的基本结构和量测左右视差的原理	(221)
第三节	立体量测仪改正机件的构造及原理	(224)
第四节	$\delta p''$ 、 $f\Delta a_x$ 、 $\frac{b_r^2}{f}a_x$ 和 p_r'' 、 p_r' 的计算	(244)
第五节	立体量测仪象片定向	(248)
第六节	立体量测仪测绘地貌	(254)
第七节	立体量测仪的检校	(267)
第八节	立体量测仪测图的原图编制	(275)

第一章 绪 论

第一节 摄影测量的任务、种类和优越性

摄影测量学是对所研究的对象进行摄影,然后,根据所摄的象片信息来分析、研究,确定这些物体的大小、形状和其空间位置,并提供出各种所需要的资料的一门科学。这门科学的技术工作称为摄影测量。

摄影测量学的研究和应用范围随着科学技术的发展而不断扩大。例如,工程建筑物的查勘及其变形的测定,炮弹的速度和弹道的测定,星辰的位置及人造卫星移动轨迹的测定,以及在医学上利用X光摄影对人体内部的研究和测量,军事侦察等等。专门研究如何对地面进行摄影,并根据地面象片测制地形图的一门学科,称为地形摄影测量学。地形摄影测量分为航空摄影测量和地面摄影测量两种。本书主要阐述航空摄影测量内业部分的基本理论、原理、仪器和作业方法。

地面摄影测量,是将摄影经纬仪安置在地面摄影站上拍摄测区地面的象片,用摄影测量的方法测制地形图。由于它有前景遮蔽后景,视场狭小,每张象片包括的面积小等缺点,因此大规模的中、小比例尺测图不采用。但又由于它摄影站在地面上,可以精确地测定各项测图元素,所以成图精度较高,可以测制大比例尺的地形图。当测区面积较小时采用地面摄影测量较为经济。当前地面摄影测量在工程测量方面应用较多。

航空摄影测量是在飞机上安装摄影机,从空中有规律地对地面摄影,根据所摄得的象片进行地形测量,获得地形图,简称为航测。其主要研究的内容有:一、航空摄影测量的原理、理论及象片的几何性质;二、航测成图的各种方法和作业技术;三、作业过程中所采用的各种仪器。

航空摄影测量是地形测量在摄影技术成就的基础上发展起来的,它与实地地形测量比较有很多优点。航摄像片充分客观详尽地记载了地物、地貌在摄影瞬间的状态,用这样的象片测制地形图,可以使地形图各部分的精度相同,并且对测绘人员难以到达的地区,如沙漠、荒山、悬崖等地方,都能进行测量。由于航测把大量的野外测量工作移到有专门设备的室内来进行,所以可以不受天气和季节的限制,还由于在应用先进的测图仪器时,能使测图工作转向机械化、电子化和自动化,可以不断提高工作效率、缩短成图周期,减少工作经费。总之,采用航测成图具有成图迅速、精度好、成本低、工效高等优越性,因此,现已在国民经济中得到广泛应用。

摄影测量除了以地形测量为目的的地形摄影测量外,还有非地形摄影测量和航天摄影测量等。非地形摄影测量就是对非地形目标进行摄影并确定其外形、状态和几何位置的技术,广泛应用于建筑工程、地质、考古、医学、海洋和粒子运动等各个方面。非地形摄影

测量中把近距离的地面立体摄影测量称为近景摄影测量，它可以测出目标的微小形变，在建筑、工业和生物医学等方面得到广泛应用。航天摄影测量就是从人造地球卫星、宇宙飞船、航天飞机等航天飞行器上对被研究的对象用传感器进行遥感，根据获取的图象和信息进行分析处理，提供地球资源、地球环境保护和军事情报等方面的信息以及测绘地球的小比例尺影象图、月球图和其他天体图。

遥感是二十世纪六十年代迅速发展起来的一门综合性探测新技术。它是利用光学、电子学和电子光学的传感器，不与被测物体（如大气、陆地和海洋）直接接触，而是在高空或远距离处，接收物体辐射或反辐射的电磁波信息，用信息处理技术将信息处理成为能识别的图象或电子计算机用的记录磁带，进而测定出被测物体的性质、形状和变化动态。从这个意义上讲，摄影测量乃是遥感的一个分支。遥感的应用领域非常广泛，现已包括地质、地貌、地理、测绘、农业、林业、大气、海洋、陆地、水文等方面。

第二节 航空摄影测量在社会主义建设和国防建设中的重要性

航空摄影测量随着社会主义经济建设的发展和“四化”建设的需要，在国民经济各部门中已得到广泛应用，并起着重大的作用。如地质勘探，治理河道，开发水利资源，修筑公路、铁路，扩充输电路线、通讯线路，建设工厂、矿山，调查森林资源，发展林业，科学考察，以及城市规划等，都是应用航空摄影测量和航摄像片、象片图或地形图进行研究设计。这不仅是因为航空摄影测量成图迅速，精度较高，而且由于在航摄像片或象片图上，可以找到普通地图上无法表示的许多宝贵资料。

在国防建设方面，如军港、飞机场、兵工厂、军事工程等建设，大都采用航空摄影测量成果进行设计。地形图是指挥员的眼睛，制订作战计划，导弹发射，侦察敌情，陆海空立体作战等，也都离不开航测技术和军用地图。在反侵略战争和保卫祖国神圣领土中，航空摄影测量所起的作用将更为重大。

随着社会主义建设的进展，随着生产力的发展和国防建设现代化的需要，航空摄影测量的重要性将日益显著。

第三节 航空摄影测量的发展简史

航空摄影测量是一门年轻的学科，它是随着社会生产力和科学技术的发展，在地形测量的基础上形成的。自从十九世纪二十年代出现了感光材料和小孔成象等初步摄影技术后，到十九世纪五十年代，人们已将摄影技术应用于地形测量，发展了地形摄影测量。例如1827年，法国人尼泊斯（Niepce）利用溶于挥发性油质中的土沥青涂布于石板或金属片上，然后利用小孔（起透镜作用）照相，而得到景物的象；1839年，英国人福克斯-塔尔布（Fox-Talbot）以碘化银涂于纸上，经露光冲洗获得象片；1859年，法国人洛斯塔（Laussedat）将摄影技术应用于地形测量。在这个时期中，欧洲不少国家不断研究和应

用地面摄影测量，到十九世纪末，相继出现了立体坐标量测仪等摄影测量仪器，形成了比较完整的地面摄影测量的理论和作业方法。

由于地面摄影测量存在着一定的局限性，从十九世纪后半期，航空摄影测量开始发展起来。曾有人用纸鸢和气球做过空中摄影的试验。1886年，柯瓦尼可(А.М.Кованько)第一次从气球上获得俄罗斯的三张空中摄影象片。二十世纪初，飞机的发明，航空事业的发展，为航空摄影测量的发展开辟了道路。1909年，德国人奥雷尔(Orel)发明了立体自动测图仪，使摄影测量发生了显著的进步。1913年，世界上出现了第一架半自动软片航空摄影机，这样就为航空连续摄影创造了条件。之后，意大利制成了四分之三的象片镶嵌图，并公布于维也纳的国际摄影测量会议上。第一次世界大战(1914~1918年)后，各资本主义国家为了掠夺殖民地和侵略性的军事需要，用航空摄影测量的方法，测制了许多殖民地国家的地形图。航空摄影测量在这个时期内得到了很大发展。

从第一次世界大战到现在，特别是从六十年代以来，电子技术、人造卫星和遥感技术的应用，使航空摄影测量得到飞跃发展，其主要的成就有下述几方面：1.创造了宽角和特宽角的自动航摄机、多光谱摄影机、电视摄影机和多光谱扫描仪等；2.制造了分解力很高、感光度强、质量好的黑白和彩色摄影材料；3.创立了完整的航空摄影测量的理论和测图方法；4.创建了变换光束原理，从而制成了新颖的各种全能型的精密仪器等。

随着人类社会生产力和科学的发展，由于发射导弹、人造卫星、宇宙飞船、航天技术、遥感、地球动力、无线电、激光和微波技术等现代科学的发展，各个部门越来越需要各种高精度的地形图和测绘资料，这就对航空摄影测量提出了更高的要求。同时，新科学、新技术也不断应用于航空摄影测量，使它更加生气蓬勃，向电子化、自动化测图方向迅速发展。

我国航空摄影测量从三十年代开始至今已有五十多年历史。在旧中国虽然也曾做过一些航测业务，但航测事业没有得到应有的发展，仍然处于十分落后的状态。

1949年中华人民共和国成立后，中国人民在中国共产党领导下，决心改变旧中国遗留下来的贫穷落后面貌，进行着伟大的社会主义建设。在发展国民经济，建设社会主义物质文明过程中，航测事业也和其他事业一样获得蓬勃发展的。1950年后相继在有关的高等学校和中等专业学校中，设置航空摄影测量专业，培养了大批航测技术人员。1956年成立国家测绘总局，统一领导和规划全国测绘工作。随着社会主义经济建设的发展，需要进行大规模的航测业务工作，在国民经济各部门，如地质、铁道、水电、农林等部门也相继设立航测队，开展航测业务，并成立了研究机构。在新中国成立后的三十多年中，航测事业已取得了巨大成就，航测工作者为社会主义建设做出了重大贡献。今后，为在本世纪末实现农业、工业、国防和科学技术现代化，航测工作者必将做出更大的贡献，航测事业也必将获得迅猛的发展。

第四节 航空摄影测量的简要过程

应用航空摄影测量的方法测绘地形图时，可分为下列三个基本过程：

一、航空摄影

航空摄影的目的,是为了取得测区的航测制图的原始资料。在飞机上安置摄影机对测区地面摄影,经过摄影处理可获得底片(负片)、象片(正片),以及编制成的象片索引图,供各作业部门应用。

二、控制与调绘

(一) 象片控制测量

控制测量的目的,是为了使摄影测量的成果与地面坐标系相联系。控制测量是根据测区的已知大地点测得少量野外控制点,以供室内加密平面和高程控制点,便于测图时使用。其主要方法有下列两种:

1. 野外象片控制测量(即象片联测):携带仪器和航摄像片到实地去,根据已知大地点测定所求点的平面位置和高程,并对照实地将所求点的位置精确地刺到象片上去,作为室内加密控制点和测图的依据。

2. 室内加密控制点:根据少量的野外控制点,在室内用解析法空中三角测量或光学机械法空中三角测量的方法,测定所需加密点的平面位置和高程,供测图时应用。

(二) 象片调绘

象片调绘是利用象片或象片图在野外进行地貌测绘,同时补测象片上没有显示出的重要地物,并调查地物名称、性质和地形图上必须注记的各种资料。但采用立体测图时,只需调绘在地形图上必须表示和注记的各种资料。

三、象片测图

有了上述航测资料,就可以根据象片测制地形图,由于各地区地形的不同和测图要求的不同,可以采取以下三种主要的成图方法。

1. 航测综合法:这种方法一般常用于平坦地区测图。它是摄影测量与平板仪测量相结合的一种方法。它的主要特点是根据纠正后的航摄像片,确定地面点的平面位置,在航测资料上用平板仪测量的方法,测定地面点的高程及描绘等高线而制成地形原图。

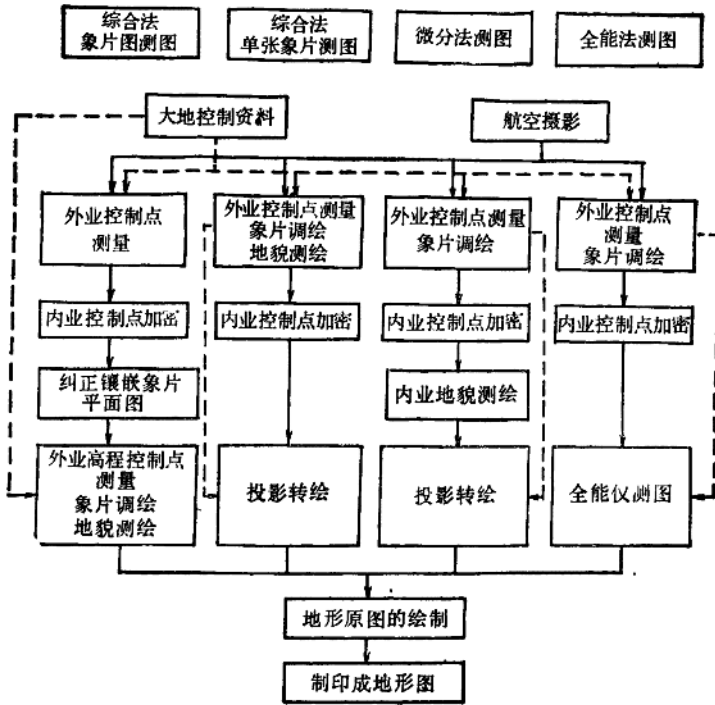
航测综合法,按测区地形的高差大小和高低起伏的情况,又可分别采用象片图测图和单张象片测图两种方法。

2. 航测微分法:这种方法一般常用于丘陵地区测图。它在成图过程中将地形图分成平面和高程两个部分。它的主要特点是应用航摄像对,在内业仪器上测定地面点的高程和测绘等高线,地面点的平面位置确定与综合法相同,然后经分带投影转绘成地形原图。

3. 航测全能法:这种方法一般常用于山区或高山区测图。它是在同一架全能型仪器上完成测绘地形图工作。它的主要特点是应用航摄像片的几何反转性,在内业仪器上重建航空摄影时的光束,建立与地面相似的立体模型,在此立体模型上测量地面点的平面位置、高程和测绘等高线,从而获得地形原图。

现代各种类型的精密立体测图仪,能适用于测制各类地形和各种比例尺的测图工作。

航空摄影测量成图方法方框图



第二章 航空摄影与航摄像片判读

第一节 航空摄影的基本知识

一、概述

为了取得供测制地形图用的航摄像片，在飞机上安装摄影机对地面进行有规律的摄影，以取得航摄像片的全部过程，称为航空摄影。

由于测区的条件、作业方法、用图目的和成图比例尺等不同，常采用不同类型的飞机和摄影机进行航空摄影。航空摄影一般分为两大类：垂直摄影和倾斜摄影。摄影时摄影机主光轴处于垂直，即垂直于水平面，称为垂直摄影。在实际工作中，由于目前的仪器设备和条件，还不能达到摄影时使主光轴与水平面真正垂直，因此当摄影时主光轴倾斜角很小(倾斜角小于 3°)时，称为近似垂直摄影；摄影时主光轴处于倾斜(倾斜角大于 3°)时，称为倾斜摄影。在航测中主要采用近似垂直摄影。

航空摄影时，飞机一般应该东西方向飞行，也就是航线要平行于纬线。航摄时，在航线上有规律地进行连续摄影，相邻两张象片上有同一地区影象的部分称为重叠。在同一航线上各相邻象片上影象要有一定范围的重叠(图 2-1)，这种重叠称为航向重叠(p_r)；相邻航线间象片上影象也要有一定范围的重叠，这种重叠称为旁向重叠(p_l)。航向重叠和旁向重叠是航空摄影测量的必要条件。

航摄像片的质量，直接影响成图的精度。影响航摄像片质量的主要因素有：航摄机镜头象误差的影响；大气折光、透明度、地物所受照度及反射光强弱的影响；曝光时间的确定、滤光片的选择、软片压平精度等因素的影响；摄影时航高、象片重叠度、象片倾斜角的变动，以及前置角安置等因素的影响；各种摄影材料所产生的误差的影响，以及正、负片处理过程中各种条件的影响。这些因素影响象片色调、反差、清晰度，影响象片影象的中心投影。为了按照预定计划，使航空摄影获得良好结果，还需要一些附属仪器。例如，保持飞机在预定航线上飞行的仪器；保持航高和测定航高的仪器；控制象片具有一定重叠和保持摄影机主光轴在摄影时尽可能处于铅垂方向的仪器等。因此，在航空摄影的工作过程中，作业人员必须具有熟练的技术，并尽量发挥各种仪器设备的效能，以获得质量优良的航摄像片。

二、航空摄影机及其物镜

1. 航空摄影机的主要构造

航空摄影机(以下简称航摄机)是取得航摄像片的主要工具。航摄像片要求影象有足够的几何精度，良好的反差和清晰度，各种象差要限制到最小，并具有较高的分解力，因此，

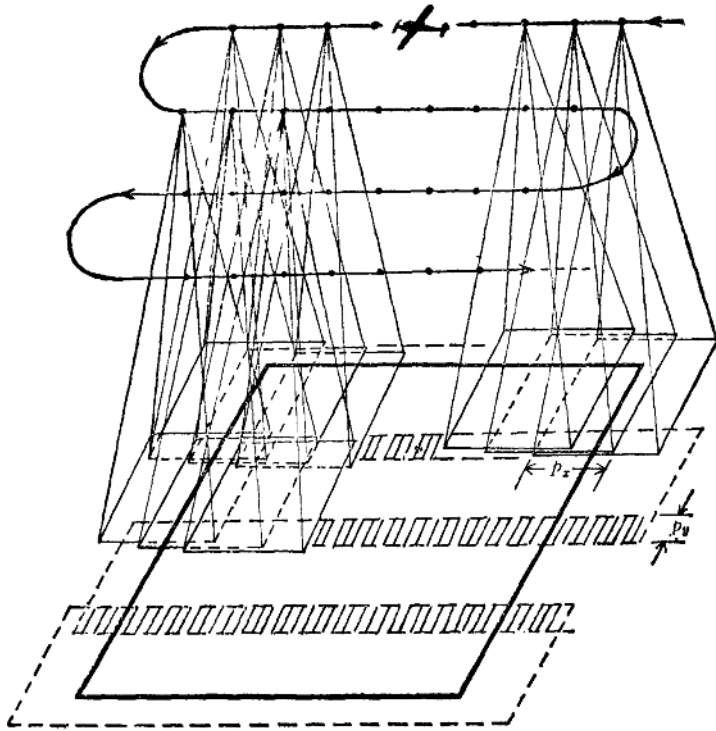


图 2-1

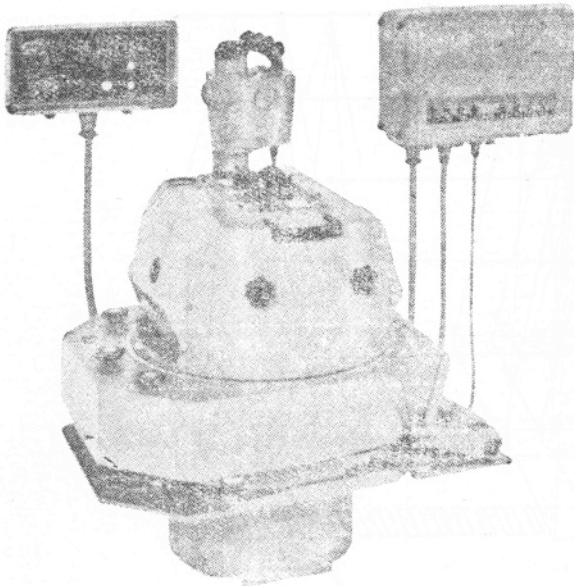
对航照相机的质量要求就特别高。由于测制各种不同比例尺的地形图，所需航摄像片的比例尺不同，以及各种工程需要航摄资料也不同，要想用一种航摄机来满足，是不可能的。现代航摄机的种类很多，主要有普通航摄机、缝隙摄影机、全景摄影机、立体摄影机、多光谱摄影机等。卫星摄地象片是采用多光谱扫描仪获得的。本书主要介绍普通航摄机，它主要可依其物镜焦距和象角来分类。

航摄机按物镜焦距分类，可分为下列类型：

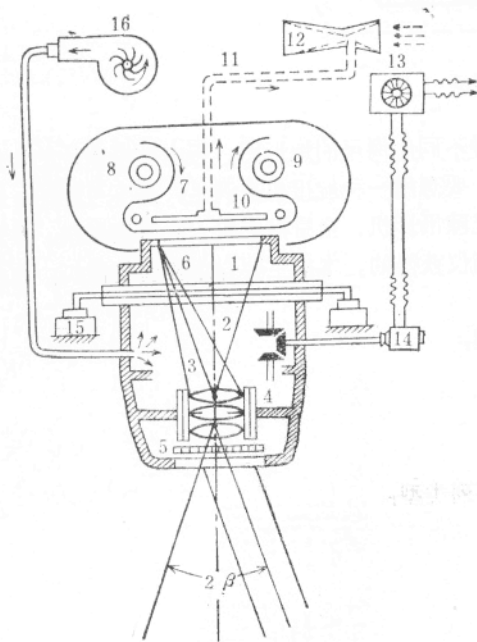
- 短焦距……………80 毫米以下
- 中焦距……………88~200 毫米
- 长焦距……………200 毫米以上

航摄机按物镜象场角大小分类，可分为下列类型：

- 窄角……………象场角小于 45°
- 常角……………象场角从 45° 至 70°
- 宽角……………象场角从 70° 至 100°
- 特宽角……………象场角从 100° 至 133°
- 超特宽角………象场角大于 133°



航摄机外型



航摄机内部结构

图 2-2

象场角与焦距存在着一定的关系，象场角越大则焦距越短。一般航摄机的象幅为 18×18 厘米时，常角物镜的焦距为 200 或 210 毫米，宽角物镜的焦距为 100 毫米，特宽角物镜的焦距为 70 毫米。现在航摄机的象幅也有 23×23 厘米和 30×30 厘米的。

各种航摄机的主要构造大致相同，可分为：镜箱、暗盒、时间间隔控制器和座架等。

图 2-2 中，镜箱 1 的下面有镜筒 2，镜筒内装有物镜 3 及快门 4，物镜下面可以安装滤光片 5，用以减少大气蒙雾对摄影质量的影响。

镜箱是金属制成的坚固箱子，上面装着承片框 6 并与暗盒 7 相连接。承片框上有四个框标(图 2-3)，两对框标连线的交点，作为平面坐标的原点，它用以确定象片主点的位置。当象平面与物镜主平面平行时(航摄机应满足此条件)，象主点就是物镜主光轴与框标平面的交点。框标在航空摄影时附摄在负片上。

在镜箱内壁设有几种指示装置，在航摄象片曝光的同时，把几种指示数据和影象摄在象片的边隅，如圆水准器、时表、空盒气压计、负片号码、焦距数值和摄影日期等。

暗盒内有承片轴 8、9 及压平软片的机件 10。为了更好地压平软片，装有吸气管 11、真空泵 12 和离心式增压器 16。按各种不同类型的航摄机，承片轴可卷长为 30 至 60 米，宽为 19、24 或 32 厘米的软片，可摄取 18×18 、 23×23 或 30×30 厘米的象片。

时间间隔控制器 13 的作用, 是自动控制相邻象片摄影时的时间间隔, 即按预定时间间隔自动地启闭航摄影机快门, 保证相邻象片间有一定的重叠度。

电动机 14 是供卷片等所需要的动力。

航摄影机的镜箱与暗盒都装在带有缓冲装置的座架 15 上, 座架安装在飞机上。缓冲装置可以减缓飞机飞行所产生的振动。

航空摄影时, 航摄影机能自动卷片、压平和曝光等, 自动进行连续工作。

2. 航空摄影机的物镜

物镜是航摄影机的主要部分, 它是由透镜、光圈和快门三个部分组成。要获得清晰度很高, 构象差极小的象片, 关键在于透镜的质量。因此, 航摄影物镜采用一组透镜组合成的光学系统, 称为复合式透镜(图 2-4 为物镜示意图)。

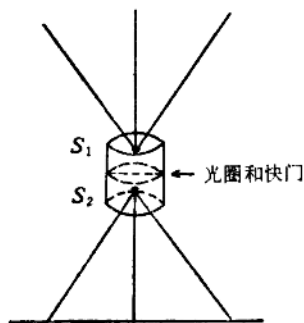


图 2-4

复合式透镜有两个光学中心——前节点 \$S_1\$ 和后节点 \$S_2\$, 现在通过地面上 \$A\$ 点的构象来说明物镜构象的原理及其公式。

在图 2-5 中, \$S_1\$ 和 \$S_2\$ 为透镜的前、后两个节点, 通过 \$S_1\$、\$S_2\$ 作两个主平面 \$K_1\$ 和 \$K_2\$, 再从地面 \$A\$ 点发出的无数光线中取三条特殊的光线: (1) 从 \$A\$ 点发出通过前焦点 \$F_1\$ 的光线经过主平面 \$K_1\$ 折射后, 按照与主光轴平行的方向射出; (2) 从 \$A\$ 点发出通过前节点 \$S_1\$ 的光线从后节点 \$S_2\$ 射出。其方向保持与 \$AS_1\$ 平行; (3) 从 \$A\$ 点发出与主光轴平行的光线经主平面 \$K_2\$ 折射后, 通过后焦点 \$F_2\$ 射出。三条光线的交点 \$a\$ 就是地面上 \$A\$ 点的象。

在图 2-5 中, 三角形 \$AOF_1\$ 与三角形 \$a_1S_1F_1\$ 相似, 即得:

$$\frac{y}{Y} = \frac{f}{X} \quad (a)$$

同样, 在相似三角形 \$a_2S_2F_2\$ 和 \$aO F_2\$ 中得

$$\frac{y}{Y} = \frac{x}{f} \quad (b)$$

因为 (a)、(b) 两式左边相等, 可写成

$$\frac{x}{f} = \frac{y}{Y} = \frac{f}{X}, \text{ 或 } x \cdot X = f^2 \quad (2-1)$$

设: 物距 \$D = OS_1\$, 象距 \$d = oS_2\$

则 \$X = D - f\$, \$x = d - f\$, 代入 (2-1) 式, 可改写为

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

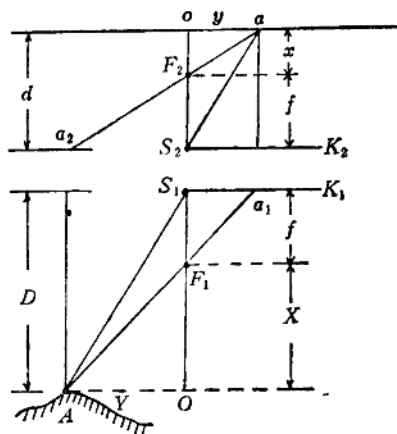


图 2-5

这就是光学基本公式，也就是成象清晰的光距条件。

在航测学中，为了便于研究问题，我们常把后节点 S_2 与前节点 S_1 重合起来，这样变动并不影响构象的几何关系，因此这个点就可以认为是物镜的中心。

3. 物镜的焦距与航摄机的主距

在航空摄影中，物距就是航高 H (图 2-6)，故(2-1)式中的 X 值可以近似地当做航高 H 。航高一般在 300 米到 8000 米之间。航摄机物镜焦距一般从 50 毫米到 500 毫米。因此(2-1)式中

$$x = \frac{f^2}{X} = \frac{f^2}{H}$$

从上式中可知 x 的值很小。例如，当 $f = 200\text{mm}$ ， $H = 5000\text{m}$ 时， $x = 0.008\text{mm}$ ，而当 $H = 500\text{m}$ 时， $x = 0.08\text{mm}$ 。这就是说当航高由 500 米变动到 5000 米时， x 值仅从 0.08 毫米变动到 0.008 毫米。这样微小的变动并不影响构象的清晰，因此航空摄影机的承片框常处于固定的位置，使象片平面离开物镜后节点的距离为一常数：

$$d = f + x = f_1$$

这段距离 f_1 ，称为航摄机镜箱的主距。由于航空摄影的物距很大，因此一般(不严密)认为航摄机的主距等于物镜焦距。而实际上航摄机的主距与物镜焦距是不相等的，因为远处物体经过物镜成象在通过焦点的球面上，在焦平面 P 上只有中间部分清晰，而边缘部分模糊圈很大(图 2-7)，因此承片框

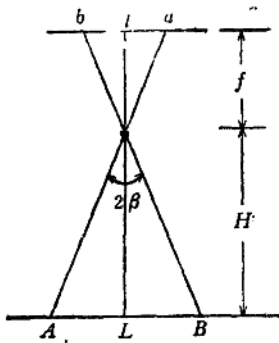


图 2-6

不装在 P 的位置，而是向里移一段距离装在 P' 的位置，这样中间部分影象产生了模糊圈，而边缘部分的模糊圈减小，使模糊圈的直径都在清晰范围内。

4. 主距、航高和象场角之间的关系

假如在平坦地区，又摄得水平象片，这样从图 2-6 中可以求得象片比例尺 $1/m$ ，即象片上线段 l 与地面上相应线段 L (水平距离)之比

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{f}{H} \quad (2-3)$$

也就是航摄机主距与航高之比。公式(2-3)是航空摄影基本公式之一。

通过物镜中心 S 和清晰构象范围的边缘光线所作锥体的顶角称为象场角，以 2β 表示。设图 2-6 中 a 、 b 为清晰构象范围的边缘光线，则 2β 为该航摄机的象场角。

象场角与主距的关系，在象幅尺寸相同时，象场角越大则主距越短。一般航摄机的象幅为 18×18 厘米时，常角航摄机的主距为 200 毫米或 210 毫米，宽角航摄机的主距为 100

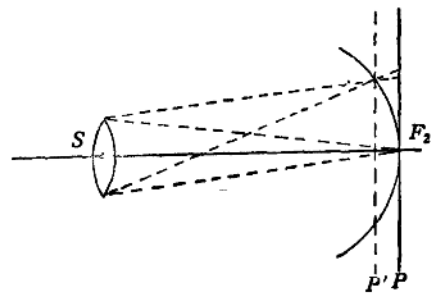


图 2-7

毫米，特宽角航摄机的焦距为 70 毫米。

主距、航高和象场角三者之间的关系从图 2-6 中可以看出，主距和航高影响比例尺，航高和象场角影响所摄地区的面积，而象场角和主距影响象幅的大小。

三、航空摄影工作的基本要求

航空摄影获得的航摄底片等资料，是航测成图的原始资料。为了保证成图的精度，航空摄影工作必须符合下列主要的几项基本要求。

1. 航高与航空摄影比例尺

航高 H 是确定航空摄影比例尺的主要数据之一。从航摄机物镜中心 S 到摄区某一水平面的垂直距离称为相对航高 H (一般称为航高)，从 S 到大地水准面的垂直距离称为绝对航高 H_0 。

航空摄影前，首先要根据成图比例尺来确定与其相适应的摄影比例尺，然后选择摄影机的类型并计算航高。如果已确定航空摄影比例尺和摄影机的类型，可根据公式 (2-3) 计算航高。

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \quad H = m \cdot f$$

按照计算的航高 H ，在航摄飞行时保持此航高，就可以获得所需要的摄影比例尺。但在实际飞行中，由于气流等因素的影响，飞机不能保持一致的航高。为了使摄影比例尺 (象片比例尺) 相差不致过大，虽然可用仪器来保持航高，但是还不可能达到完全一致。要求在一条航线内最大与最小的航高差不超过 50 米。

一般地说航空摄影比例尺越大，地物影象也越大和越细致，对成图精度有利。但是，所摄地面的面积却减少，因此摄影材料和工作量必然增加。航空摄影比例尺、航摄机主距和成图比例尺的关系，在一般情况下，可以参考下表：

成图比例尺	航空摄影比例尺	航摄机主距 (mm)	附注
1:2 千	1:5 千至 1:1 万	100, 200(210), 350, 500	象幅 $18 \times 18 \text{cm}^2$
1:5 千	1:1 万至 1:2 万	70, 100, 200(210), 350, 500	
1:1 万	1:1.2 万至 1:2 万	50, 70, 100, 200(210)	
1:2.5 万	1:2 万至 1:3.5 万	50, 70, 100, 200(210)	
1:5 万	1:3.5 万至 1:6 万	50, 70, 100, 200(210)	
1:10 万	1:5 万至 1:7 万	50, 70, 100	

2. 航摄像片的重叠和航空摄影基线

为了立体观测和航线间的连接，要求象片具有一定的航向重叠和旁向重叠。航向重叠

$p_x\%$ (象片重叠部分长度 p_x 占整个象幅航向长度的百分数) 一般为 60%，最小不少于 55%；旁向重叠 $p_y\%$ (象片重叠部分长度 p_y 占整个象幅旁向长度的百分数) 一般为 30%，最小不少于 15%。

为了保证航摄像片间的重叠达到预定的要求，除了保持航高外，还应保持预定的航空摄影基线的长度。航空摄影基线 B 就是在航线上两相邻摄影站之间的距离。

根据航向重叠 $p_x\%$ 和象片比例尺 $1/m$ ，按图 2-8 即可求得摄影基线长度 B ：

$$B = L_x(1 - p_x\%) = l_x \cdot m(1 - p_x\%) \quad (2-4)$$

式中： l_x 为象片的航向边长； L_x 为 l_x 相应的实地长度 (即 $L_x = l_x \cdot m$)。

同理根据旁向重叠 $p_y\%$ 就可求出相邻两航线间距离 D_y ：

$$D_y = L_y(1 - p_y\%) = l_y \cdot m(1 - p_y\%) \quad (2-5)$$

式中： l_y 为象片的旁向边长； L_y 为 l_y 相应的实地长度 (即 $L_y = l_y \cdot m$)。

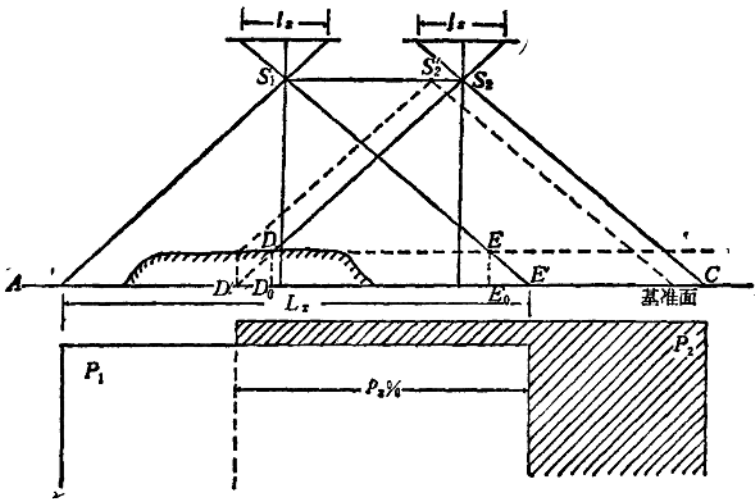


图 2-8

航摄像片的重叠度 (重叠范围大小的程度) 是按测区基准面 (图 2-8 中的 AC 面，常采用测区地面的平均平面) 的高程计算的，如果地面高出基准面，会使重叠发生偏差，实际重叠度将小于预定重叠度，如果地面低于基准面，实际重叠度将大于预定重叠度。因此前者必须增大重叠度，后者必须减小重叠度，以符合要求。设 S_1 、 S_2 是按预定重叠度计算的两个相邻摄影站的位置，若将基准面上的 D' 点摄在象片上，就恰好符合规定。现在假设测区地面部分高出于基准面，如图中的实线部分，因此在右象片上实际上是地面上 D 点的象，而测制地形图时 D 点的垂直投影是 D_0 ，与预定重叠度偏差了 D_0D' ，所以必须把 S_2 移到 S'_2 才能免除这种误差。如果测区地面高出于基准面的范围比较大，如图中的虚线部分，则与预定重叠度的偏差为 $D_0D' + E_0E'$ ，若地面与基准面的高差大致相同， $D_0D' + E_0E' = 2D_0D'$ ，因此必须将 S_2 向 S_1 方向移动二倍 $S_2S'_2$ 的距离才能免除这种误差。 D_0D' 和 E_0E' 在象片上相应的误差，叫做投影差，投影差可以计算。在实际工作中是按

照规范中的实用公式计算重叠度的改正数。

四、对航摄像片质量的要求

对航摄像片必须进行严格的质量检查，凡不合质量要求的象片，应重新补摄，以免影响以后测图的精度。象片质量检查分为象片影象质量检查和飞行质量检查两项。

象片影象应满足下面的要求：

1. 影象清晰而且具有适当的黑度。检查时可以用肉眼观察，观察者应注意象片的中心部分和边缘部分的清晰程度。象片四边并字压平线不能有弯曲，如果曝光时软片未压平，压平线的影象会产生弯曲，直线弯曲的矢长不超过规定，认为合格。

2. 相邻景物的影象和同一物体上各个不同部分的影象，都应具有肉眼可以观察到的显著反差。

3. 亮度相同的景物，具有较为一致的黑度。

影象清晰和具有适当的黑度，才能确定物体的位置和辨别物体的种类和形状；反差较为显著，才能判读出各种物体的轮廓和同一物体各部分的细节；同亮度景物的影象具有相同的黑度，可以避免在判读时发生错觉且使判读省力。

飞行质量的要求包括象片的倾斜角、航高的变动、航向重叠、旁向重叠、航线弯曲度等。现分别说明如下：

1. 对象片倾斜角的限制 根据象片上圆盒水准器的分划值来评定。象片倾斜角一般不应大于 2° ，最大不超过 3° 。

2. 对航高变动的限制 按照气压测高计的记录和高差仪的读数来确定，航高的变动不得超过50米。

航高对规定高度偏差的检查 首先在镶辑图上量出每一图幅的两对角线长度，取其平均值，设为 $\frac{d_1+d_2}{2}$ 。再从投影表中查出相应图幅的图廓对角线的实际长度 D 。依象片比例尺的含义可得

$$\frac{f}{H} = \frac{\text{象片上的距离}}{\text{实地的水平距离}}$$

将 d_1 、 d_2 和 D 分别代入，则平均航高 H_n 为

$$H_n = \frac{D}{\frac{d_1+d_2}{2}} \cdot f = \frac{2D}{d_1+d_2} \cdot f$$

平均航高与规定航高差不得超过5%。

3. 对象片重叠度的要求 航向重叠应达到60%；旁向重叠应达到30%。为了工作简便起见，可用厚纸条作一检查尺，尺的长度使它等于象片边长，把全长分作20等分，每分恰等于5%的重叠度，并在线旁注重叠百分数，如图2-9。

使用时先把尺的左端注有100%的分划线对正第一张象片左边的边缘，沿检查尺向右看到第二张象片左边边缘指的是什么数字，这个数字就是重叠的百分数，其偏差不应超过5%。