

中等专业学校教材

航空摄影测量

南京地质学校 张敏智 编



地质出版社

中等专业学校教材

航空摄影测量

南京地质学校 张敏智 编

地质出版社

航空摄影测量

南京地质学校 张敏智

责任编辑：熊天球

地质矿产部教材编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：8¹/₂ 插页：2个 字数：219,000

1983年6月北京第一版·1983年6月北京第一次印刷

印数1—5,490册·定价1.00元

统一书号：15038·敏144

前 言

本书是根据1980年地质部中等地质学校会议制订的地形测量专业教学大纲编写的。不仅可作为中专地形测量专业的教材，亦可供有关专业培训班和外业技术人员参考。

本书注意了理论联系实际，通俗易懂，便于自学。全书共七章，内容侧重在航测外业有关的理论和作业技能；内业测图的重点在测图原理、作业方法及对外业资料的要求；解析法空中三角测量只作一般介绍。

本书是在总结历年教学经验和原编讲义的基础上编写的，编写中亦曾参考兄弟单位的有关讲义和资料，并征求了兄弟学校的意见，在此一并表示感谢。

本书由蒋信坤、熊天球同志审校，在此谨表感谢。

由于编者业务水平有限，加上时间仓促，难免存在缺点和错误，诚挚希望使用本书的同志们提出批评指正。

编 者
1982.1

目 录

第一章 航空摄影测量的基础知识	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 摄影与航空摄影	2
§ 1-3 航摄像片的几何特征	13
§ 1-4 中心投影的特别点和特别线	16
§ 1-5 中心投影作图	20
§ 1-6 航摄像片的内、外方位元素	22
§ 1-7 航摄像片象点坐标关系式	25
§ 1-8 航摄像片的象点位移和方向偏差	35
§ 1-9 航摄像片与地形图的差别	43
§ 1-10 象对立体观察	47
第二章 航摄像片的判读和调绘	56
§ 2-1 航摄像片的判读	56
§ 2-2 象片调绘	74
§ 2-3 调绘中的补测	100
第三章 象片控制测量	104
§ 3-1 象片控制测量的布点方案	104
§ 3-2 象片控制测量的方法	111
第四章 综合法测图	123
§ 4-1 综合法测图原理	123
§ 4-2 纠正仪	133
§ 4-3 编制象片平面图	137
§ 4-4 象片图测图	146
§ 4-5 单张象片测图	149
§ 4-6 特殊情况单张象片的补测工作	153
第五章 微分法测图	158
§ 5-1 立体量测仪测图的基本公式	158

§ 5—2	立体量测仪	166
§ 5—3	立体量测仪测图	187
§ 5—4	立体量测仪测图的原图编制	198
第六章	全能法测图	217
§ 6—1	多倍仪测图的基本原理和多倍仪	217
§ 6—2	象对的相对定向和绝对定向	227
§ 6—3	多倍仪测图的作业过程	238
§ 6—4	立体测图仪 (B_{95}) 简介	243
第七章	解析法空中三角测量	248
§ 7—1	概述	248
§ 7—2	选刺点	250
§ 7—3	象片量测	254
§ 7—4	上机前的准备工作及上机计算	259

第一章 航空摄影测量的基础知识

§ 1—1 概 述

一、航空摄影测量的内容和任务

航空摄影测量（简称航测）是摄影测量学中的一门学科。

摄影测量学是根据研究对象的影象，确定该物体的性质、形状及空间位置的一门学科。例如：根据航空摄影象片可以测制地形图，也可以进行地质解译、资源调查及路线勘测等；根据工程建筑物的象片，可以测定它的变形；摄取导弹、炮弹的发射象片，可以测定导弹、炮弹的飞行弹道和速度；对天体、卫星进行摄影和测量，可以确定其位置及运行轨迹；利用X光对人体内部透视，以研究防病治病等。

摄影测量按摄影方式，可分为：航空摄影测量、航天摄影测量、水下摄影测量和地面摄影测量等。

从飞机上对地面摄得的象片，称为航摄像片。航摄像片上地物、地貌的影象形态逼真，相关位置准确，表现细致，便于判读。目前在测图方面，采用航测方法，具有成图快、精度好的特点。由于引进了机械化和电子技术，使大部分工作移到室内进行，减轻了野外劳动强度，已被军事、地质、水利、铁道、冶金、燃化、城建等部门广泛采用。因此，地形测量专业设置航测这门课程是非常必要的。

航空摄影测量研究的内容是：航空摄影测量的理论及象片的几何性质；航测成图的方法和技能；航测作业的仪器等。航空摄影测量的任务，就是如何根据航摄像片，测绘出地形图。

二、航测成图的简要过程

采用航测成图，首先要有符合要求的航摄象片，然后需要一定数量的控制点和地物、地貌等资料。因此要进行象片控制测量与象片调绘，最后通过航测成图方法测绘出地形图。

航测成图方法基本上可分为三种：即综合法、微分法和全能法。后两种成图方法是建立在立体象对的基础上的，因此又称为立体测图法。

综合法成图适用于平坦地区。它的基本特点是利用纠正后的航摄象片上的影像，确定地物的平面位置，在外业用地形测量的方法测定地面点的高程（包括等高线）。综合法又分象片图测图和单张象片测图两种。

微分法成图适用于丘陵地区。它的主要特点是利用象对在内业量测地面点高程和测绘等高线，应用像片纠正确定其平面位置，再经投影转绘编制成地形图。

全能法成图适用于山区或高山区，它的主要特点是利用航空摄影过程的几何反转，在室内建立起与地面相似的几何模型，在此模型上量测地面点的平面位置和高程，直接获得地形原图。

航空摄影测量成图过程的框图如下：（见后页）

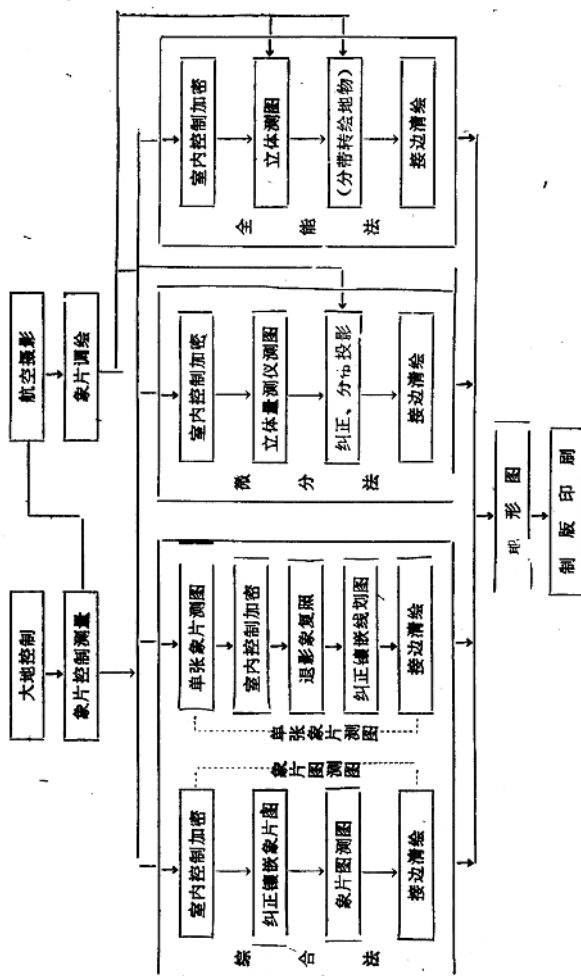
在航测成图过程中，所有的外业作业统称为航测外业工作，所有室内作业统称为航测内业工作，航测外业成果质量的好坏，直接影响到航测内业成图的质量。

§ 1—2 摄影与航空摄影

一、摄影的一般过程

利用光学透镜构象原理，使来自被摄景物的光线通过摄影机物镜，在象面上构成光学影像，然后利用感光胶片记录此光学影像的过程，叫做摄影。

获得被摄景物象片的主要过程为：摄影、负片过程和正片过程三个步骤，总称为摄影工作。



摄影，必须有摄影机和感光材料。

摄影机的类型很多，但它的基本构造是一致的，图1—1是摄影机的基本构造略图，其主要部分有：装有光栏的物镜1，快门2，镜箱3，检影毛玻璃4，以及其他附加装置所组成。

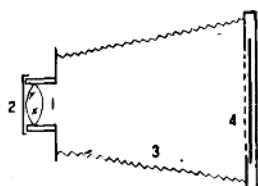


图 1—1

摄影时，把摄影机对准被摄物体，调节物镜与毛玻璃之间的距离，使毛玻璃上的影象十分清晰。将毛玻璃取下，在同一位置换上装有感光材料的暗匣，把抽板抽出后，感光材料的乳剂面对着物镜。

然后打开快门进行曝光。曝光时间的长短，取决于感光材料的感光速度、被摄景物光线的强弱，和光栏的大小等。快门从开到闭这一时间内，被摄物体反射的光线经过物镜，投射到感光材料上，产生光化作用，得到我们看不见的潜象。

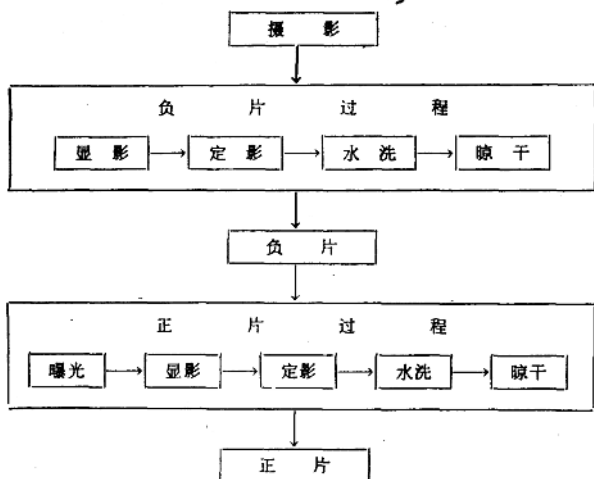
潜象经显影，即变成与被摄景物的明暗、黑白和位置相反的可见影象。此时感光材料上未受光或受光后尚未还原的卤化银仍存在，所以还不能见光，否则会破坏已经得到的影象。经过定影，上述卤化银溶去后，就可以将感光材料拿到明室内进行充分的水洗，以清除残留的定影液，最后晾干即得负片（底片）。

利用负片，可以制成与景物的明暗，黑白差别和位置相同的影象正片。其方法是将感光材料乳剂层对着负片乳剂层，并密合压紧，然后照射负片进行曝光，再将感光材料经过类似于处理负片那样的处理过程（称为正片过程），即得到正片（象片）。

下面是摄影全过程的框图：

二、航空摄影

航空摄影是民航总队根据航摄规范和成图单位的要求，用飞机在空中对地面进行摄影的过程。其一般步骤为：选择晴朗无云能见度好和气流平稳的天气，将航摄仪安装在专用飞机的机舱内，起飞后，根据事先标好的领航图，按预先算好的航高和航向，对



正第一条航线的进入方向，从预定的摄影标志开始、如图1—2，按

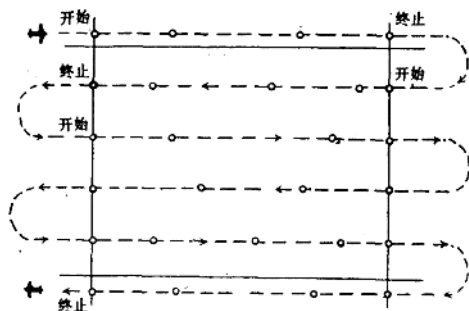


图 1—2

预计的重叠度对航区地面进行连续的近似垂直摄影。第一条航线摄完后，飞机在测区外拐转 180° ，再开始摄第二条航线。这样往返进行，直至把整个预定航区摄完为止。每片摄影时的曝光过程，是在飞机飞行中瞬间进行的。此时，航摄影所处的位置称为

摄影站。两相邻摄影站在空间的距离称为摄影基线，用 B 表示，如图1—3所示。

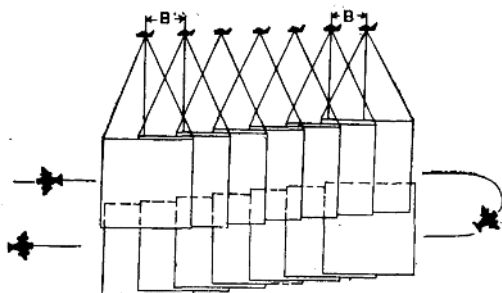


图 1—3

航空摄影后得到的是含有潜象的软片，须经过摄影的负片和

正片处理过程，才能得到航摄底片与航摄像片。图1—4表示航摄时底片、象片、放大象片与地面的关系位置。

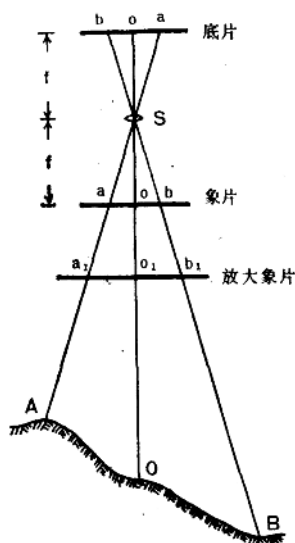


图 1—4

航摄仪与普通照象机结构基本相同，是由镜头、镜箱、暗盒和控制箱组成，图1—5为航摄仪的示意图。镜头固定在镜箱的下端，它的主光轴垂直于底片平面，

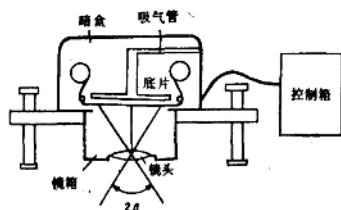


图 1—5

其交点力求安装成与底片中心点重合，该交点称为象主点。当无穷远物体的光线通过镜头后，处于焦面内的底片平面上可得到清晰的光学影像。

根据光学原理可得光学公式为：

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

式中：D——物距；

d——象距；

f——焦距。

航空摄影时，物距要比象距大得多，上式中 $1/D$ 值极小，即 $1/D \approx 0$ ，可忽略不计，因此 $d = f$ ，即 $S_o = f$ ，航摄仪的成像面位于镜头的焦面上。航摄仪镜头中心到底片平面的距离，称为航摄仪主距，为了满足上述要求，航摄仪的底片平面应安装在镜头的焦面上，所以航摄仪的主距是固定不变的，它等于镜头的焦距。也就是说，在航摄仪上底片平面安置成与镜头的焦面重合，就能摄得地面景物的清晰影像。

航摄仪的象幅通常有18厘米×18厘米、23厘米×23厘米、30厘米×30厘米几种。为了使这样大的象幅的底片在摄影时真正处于焦面上，就有个压平问题。因此在航摄仪的暗盒内，有一个真空压平板装置，平度在0.01毫米以内。摄影前压平板下压，抽气，此时底片即紧紧平贴于压平板而外于焦平面的位置上，即可曝光成像。

另外，在镜箱内还设有框标，圆水准器和时表等指示装置。在航摄曝光的同时，都摄在负片的边缘或角隅处，在象片上显示如图1—6。框标连线的交点即为象片中心点，一般情况下，就看作是象主点，以○表示，如图1—7所示。象主点在作业中是经常用到的。

航摄仪还有座架和控制箱。座架是把航摄仪连结在飞机舱内的装置，座架下有橡皮减震装置；控制箱装有曝光时间间隔控制器，航摄仪工作循环电路，快门电压稳定调速线路、稳压电源、



图 1—6

自动控制曝光量，以及控制航摄仪水平和航偏角等装置。

目前常用象幅为 18×18 (厘米)的航摄仪类型，有以下几种：(见下页附表)

三、对航摄象片的要求

供航测成图用的航摄象片，必须满足以下几点要求：

(一) 象片倾斜角

象片倾斜角是象片面与水平面间的夹角，用 α 表示。在象片角上的圆水准器上可以读出其概略值，如图1—8。

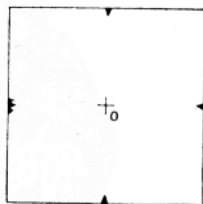


图 1—7

类 型	焦 距 (毫米)	象场角 2β (度)	名 称	焦 距 (毫米)	象场角 (度)
常角航摄仪	200—210	50—70	A ϕ A—T _。	200	65
			RC—5	210	61
宽角航摄仪	100—115	70—100	A ϕ A—T _。	100	104
			RC—5	115	90
			RC—8	115	90
			MRB115/1818	115	95
特宽角航摄仪	55—70	100—133	A ϕ A—T _。	70	122

注：象场角为象幅对角线与镜头中心所张的角度，以 2β 表示。



图 1—8

航测理论和实践证明，象片倾斜角越小越好，最好是水平象片。但是在航摄时，飞机受气流或其他外界条件的影响，使用操纵杆也不可能将航摄仪完全置平，因此所摄的象片必然含有一定大小的倾斜角。从航测成图的需要和航摄的可能出发，要求航摄象片倾斜角一般不应大于 2° ，个别最大不超过 3° 。这种镜头主光轴近似地垂直于地面时摄取的航摄像片，我们称为近似垂直摄影象片。

(二) 象片比例尺及航高差

象片上某两点间的距离与地面上相应两点的水平距离之比，叫做象片比例尺，通常用 $\frac{1}{m}$ 表示。当地面 T 平坦、象片 P 水平时，

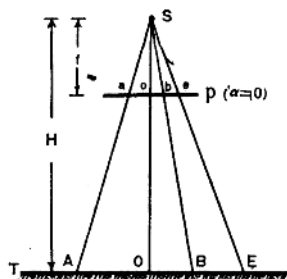


图 1—9

由图1—9可知:

$$\triangle Sab \sim \triangle SAB$$

$$\triangle Sbe \sim \triangle SBE$$

$$\triangle Sae \sim \triangle SAE$$

$$\triangle Sao \sim \triangle SAO$$

.....

由相似三角形的比例关系可得:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Sb}{SB} = \frac{be}{bE} = \frac{Se}{SE} = \frac{ae}{AE} = \frac{Sa}{SA} = \frac{ao}{AO} = \frac{SO}{SO} \dots\dots$$

$$\frac{1}{m} = \frac{ab}{AB} = \frac{be}{bE} = \frac{ae}{AE} = \frac{ao}{AO} = \dots\dots \frac{So}{SO} = \frac{f}{H}$$

$$\therefore \frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (1-1)$$

式中: f ——航摄仪焦距; H ——航高(相对航高)。

可见,平坦地区的水平像片上的影像比例尺是一致的,都等于航摄仪焦距与航高之比。

航摄象片的比例尺,是根据成图比例尺和成图方法决定的。根据常规作业实践结果,认为测制 1:1 万图时,表 1 中的关系在一般情况下是适宜的。

表 1

1:10000图	航 摄 象 片 比 例 尺
综 合 法	不大于 1:25000
微 分 法	1:12000—1:16000
全 能 法	1:16000—1:20000

目前,采取一定措施进行放大成图作业时,可不受上表的限制。

对一架航摄仪来说，它的焦距 f 是个常数。当航摄象片比例尺确定以后，即可求出相应的航高 H ($H=f \cdot m$)，按此航高飞行，就可以得到规定比例尺的象片了。

由于各种因素的影响，摄影时飞机不可能始终保持同样的高度，地面也有起伏，致使航高不一致，影响到象片比例尺发生变化。根据实验，当象片比例尺相差16%时，立体观察就困难了。因此，要求同航线航高差不超过50米；为了使象片比例尺符合作业要求，还规定同一航区实际航高与计划航高相差不得超过计划航高的5%。

(三) 象片重迭

航测成图时，无论是单张象片测图还是立体测图，都要求相邻象片之间有一定范围的重迭。所谓象片重迭，就是指相邻象片间具有同一地面影像的部分，如图1—10和图1—11所示。

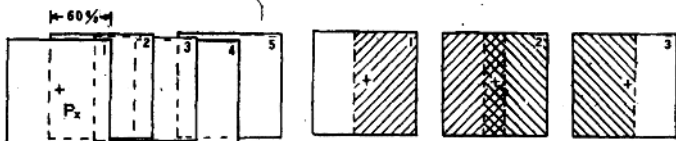


图 1—10

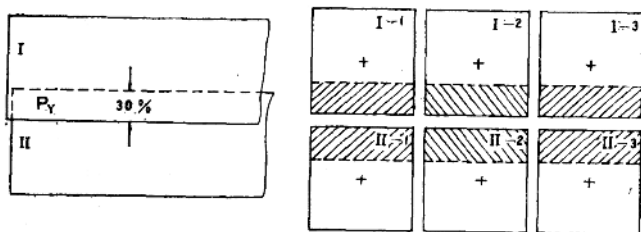


图 1—11

象片在航线方向上的重迭，称为航向重迭(P_x)，以重迭部分的航向边长与象片边长的百分比表示；相邻航线间象片的重迭(P_y)，称为旁向重迭，以重迭部分的旁向边长与象片边长的百分