

355175

成都工学院图书馆

基本馆藏

中等专业学校试用教材

航空摄影测量学

上册

熊天球 陈哲普 严知行 叶开元 编



中国工业出版社

631
1

PDF

中等专业学校 工业学校 试用教材



航空摄影测量学

上册

熊天球 陈哲普 严知行 叶开元 编

中国工业出版社

本书是根据地质部中等专业学校，航空摄影测量专业的航空摄影测量学教学大纲编写的。

全书分为上、下两册。上册主要内容为：航摄像片解析、辐射三角测量、象片纠正的原理和方法，综合法测图的理论和作业技术；下册主要内容为：航摄像对的解析、全能法和微分法测图，以及室内加密的理论和作业方法。

本书可作为中等专业学校航空摄影测量专业，摄影测量课程的试用教材，亦可供航测、地形测量技术人员参考。

航空摄影测量学

上册

熊天球 陈哲普 严知行 叶开元 编

*

国家测绘总局测绘书刊编辑部编辑（北京三里河国家测绘总局）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第110号）

人民铁道出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $350 \times 1168^{1/32}$ ·印张8·插页1·字数212,000

1964年7月北京第一版·1964年7月北京第一次印刷

印数0001—553·定价（科四）1.10元

*

统一书号：K15165·3135（测绘-111）

目 录

第一章 緒論	1
§ 1.1 航空摄影测量的任务和特点	1
§ 1.2 航空摄影测量的简要过程	2
§ 1.3 航空摄影测量发展简史	3
第二章 航空摄影	6
§ 2.1 概述	6
§ 2.2 航空摄影机和航空摄影飞机	8
§ 2.3 航空摄影工作的基本要求	13
§ 2.4 航空摄影的附属仪器	19
§ 2.5 对航摄像片影像质量的要求	25
§ 2.6 航空摄影工作	30
第三章 有关摄影测量的透视理论知识	35
§ 3.1 航摄像片是地面的中心投影	35
§ 3.2 中心投影的一般特征	38
§ 3.3 航摄像片上的特殊点线	43
§ 3.4 求直线的透视的方法	45
§ 3.5 旋轉定理	48
§ 3.6 角的透视	52
第四章 航摄像片的数学分析	55
§ 4.1 基本概念	55
§ 4.2 象片上的点与地面相应点間的坐标关系	58
§ 4.3 航摄像片的比例尺	60
§ 4.4 象点移位	66
§ 4.5 方向偏差	75
§ 4.6 求 δ_o 和 δ_h 时用 o 点代替 c 、 n 点作为原点的精度	87
§ 4.7 由于物理因素而引起的象点移位和方向偏差	90
第五章 航摄像片的地形判讀	95
§ 5.1 概述	95
§ 5.2 象片判讀标志	96
§ 5.3 地形目标的判讀	98
§ 5.4 立体鏡	102
第六章 輻射三角測量	105
§ 6.1 概述	105

§ 6.2	图解辐射三角测量的作业过程	106
§ 6.3	精度检查	126
§ 6.4	面积法	127
§ 6.5	辐射三角测量误差的分析	128
§ 6.6	辐射三角测量菱形锁的精度估计	129
第七章	航摄像片的纠正	141
§ 7.1	纠正的概念	141
§ 7.2	应用于纠正的投影几何原理	143
§ 7.3	图解纠正法	151
§ 7.4	光学机械纠正法的一般原理	154
§ 7.5	象片纠正的几何条件	155
§ 7.6	象片纠正的光学条件	159
§ 7.7	几何条件与光学条件的结合	162
§ 7.8	大型纠正仪	166
§ 7.9	小型纠正仪	173
§ 7.10	光学机械纠正法	175
第八章	丘陵地区和山区象片的纠正	186
§ 8.1	概說	186
§ 8.2	分带纠正的原理	187
§ 8.3	投影器	201
§ 8.4	分带纠正的工作步骤	203
§ 8.5	傾斜面纠正	208
§ 8.6	反模型山地纠正和山地纠正仪的概念	211
第九章	編制象片图	215
§ 9.1	象片平面图的編制	215
§ 9.2	編制分带纠正的象片图和傾斜地面的象片图	218
§ 9.3	象片平面图的检查	220
§ 9.4	象片图的复制	222
§ 9.5	象片略图的編制	222
第十章	航空摄影测量综合法	226
§ 10.1	概述	226
§ 10.2	野外控制测量	229
§ 10.3	碎部测图 (調繪)	238

第一章 緒 論

§1.1 航空摄影测量的任务和特点

航空摄影测量学是摄影测量学中的一门学科，它的任务是，以从飞机上向地面所摄影的象片为基础，据此进行量测和分析，从而确定地面上物体的形状、大小和空间的位置；也就是根据航摄像片，应用摄影测量的方法，测绘精密的地形图。其研究内容包括：一、航摄像片的几何性质；二、利用航摄像片编制地形图的各种方法和技术工作；三、作业过程中所采用的各种仪器。

根据象片影象进行测量的科学——摄影测量学，其应用范围很广。例如：根据工程建筑物的象片，可以测定它的变形；利用所摄的象片，可以测定弹道和炮弹飞行速度；对天体进行摄影和测量，可以确定星辰的位置及其移动轨迹；在医学上利用X光对人体内部进行摄影测量等。但是应用最广的是对地面进行摄影测量，称之为地形摄影测量。

由于对地面进行摄影测量的方法不同，地形摄影测量又分为两类：根据摄影经纬仪在地面上所摄取的象片进行测量，称为地面摄影测量；利用在飞机上所摄取地面的象片进行测量，称为航空摄影测量（简称航测）。在地面上所摄取的每张象片，它所相应的实地面积较小，又受到地面前景遮蔽后景的限制，而且成图的精度不够均匀，因此，目前地面摄影测量多用于工程测量和科学研究等方面，在其他方面已很少采用。由于航空摄影测量成图迅速，在工作中有许多便利条件，现在已被广泛采用。

航空摄影测量的主要特点有：

一、航摄像片客观地记载了地面上各种物体在摄影瞬间所存在的位置和形状；在航测成图中充分利用了这种位置和形状的影子

象。

二、航测成图可以获得各部分精度相同的地形图；还可以在室内对成图过程中的各项工序进行检查，保证成图质量。

三、航测成图大部分业务在室内进行，减少了受气候、时间和地区条件的限制，减轻了工作人员的体力劳动。又由于测量业务的机械化和自动化而提高了生产率。

四、航摄影片可作为研究测区的资料，又可迅速编成象片草图(近似地物平面图)，供有关方面急用。

§1.2 航空摄影测量的简要过程

一、航空摄影

在飞机上装置航空摄影机摄取地面的影象，经过显影、定影、水洗和晾干等手续而获得底片，晒印成正片后，供各作业部门应用。

二、控制与测图

控制测量的任务是依据已知大地点，加密平面和高程控制点，其方法分为野外控制测量与室内加密控制点测量。

(1) 野外控制测量 携带仪器和航摄影片，根据已知大地点用地形控制测量的方法，测定所求点的平面位置和高程，并对照实地在象片上刺出相应的位置。

(2) 室内加密控制点测量 根据少数的野外控制点，用摄影测量的方法，在室内测定所需要点的平面位置和高程。

调绘的任务是：利用象片或象片图在野外进行地貌测量，有时还用平板仪测量的方法补测象片上没有(或显示不出)的重要地物，并调查地形图上所必须注记的各种资料，如地物的名称和性质等等。但是，在立体测图中，调绘的任务则是：根据象片调查在地形图上必须表示和注记的各种资料。

三、象片测图

由于各地区地形的不同和测图要求的不同，用航空摄影测量的方法成图，可以采取以下三种主要的成图方法。

(1) 航测综合法 这种方法是摄影测量和地形测量相结合的一种方法。地物平面位置,系根据纠正后象片上的影象确定的;地貌则是利用平板仪测量方法测定的。这种方法按测区地形高低起伏的情况和作业条件分为两种。

1. 平坦地区在取得控制成果后,先将象片进行纠正,再经镶嵌、复照等工序而得象片平面图,然后用此象片平面图到野外进行调绘工作,并经着墨、整饰而成地形原图。这种方法称为象片平面图测图。

2. 在小丘陵地区则先用单张象片进行调绘工作,再将绘有地物、地貌的象片缩小,用光学投影器进行分带纠正,在投影面上转绘出底图,经着墨、整饰而得地形原图。这种方法称为单张象片测图。

(2) 全能法 这种方法适用于山区或高山区。在完成野外控制测量和象片调绘后,将具有一定重叠的航摄像片在全能型的仪器上建立地形立体模型,并在模型上立体观察,测绘地物和地貌,经着墨、整饰而得地形原图。

(3) 微分法 这种方法适用于丘陵地区。它基本上是在室内用航摄像片完成测图工作,但将内业过程分成了若干工序;主要是把平面部分和高程部分分成两个工序:平面部分的测绘和航测综合法相同;而等高线则在立体测量仪器上描绘,再经分带投影转绘后得地形原图。微分法中采用的仪器较为简单,而工序分散,可集中较多的人力分工进行测绘。

全能法和微分法都是属于立体摄影测量。

§1.3 航空摄影测量的发展简史

航空摄影测量是一门年轻的科学。在十九世纪四十年代,发明了摄影技术,当时就有德国的迈顿包尔,利用摄影对建筑物进行测量,法国的劳塞达研究用摄影测量的方法测制地形图;从此摄影测量的应用逐渐广泛,摄影测量的方法和仪器得到了发展。到二十世纪初,相继发明了立体坐标量测仪和立体自动测图仪,

从此可以依据立体象对构成光学模型，为立体摄影测量开辟了道路。

从十九世纪五十年代到第一次世界大战（1914年），在这个时期内，地面摄影测量方面创造了比较完整的理论、方法和仪器。它的主要成就有下面几方面：一、提高摄影技术，制成了感光度较高的摄影干板；二、创造了测图方法，应用立体观察和立体量测，建立了比较完整的地面摄影测量的理论和测图方法；三、仪器制造方面，创造了高差仪、立体坐标仪和立体自动测图仪。这些方法和仪器的基本原理很宝贵，至今还在应用。

十九世纪末期，由于地面摄影测量存在着一定的局限性，因此，开始向航空摄影测量方向发展。科学家们曾经在气球等飞行工具上装置摄影机，从空中向地面摄影。飞机的发明为航空摄影测量开辟了道路，但因当初飞机构造不够完善等原因，所以在二十世纪初到第一次世界大战前的阶段内，航空摄影测量发展得很缓慢。

第一次世界大战后，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。同时，由于苏联伟大的十月革命胜利后，为了实现宏伟的社会主义建设和保卫革命胜利的果实。在苏联航测事业得到了很大的发展。

从第一次世界大战到现在，航空摄影测量在理论、方法和仪器等方面有了很大的发展，其主要的成就有下述几方面：1.创造了宽角和特宽角的航空摄影机；2.制造了解力很高、感光度强、质量好的摄影材料；3.创立了完整的航空摄影测量理论，测图方法和仪器；4.创造了光束改变原理而制成了新颖的各种全能型精密仪器；5.把最新的无线电技术和电子计算技术应用到航测方面。目前还在不断发展。

我国举办航空摄影测量已有三十余年历史。在旧中国虽然也曾经做过一些航测业务，但因国民党反动派举办航测的目的，并不是为了建设和发展生产，所以和其他各门科学一样，航测事业

没有得到应有的发展，仍然处于落后的状态。

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，因而航测事业也和其他一切事业一样获得蓬蓬勃勃的发展。

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，并且参加了社会主义建设。

1956年成立国家测绘总局，统一领导全国测绘工作。随着社会主义建设需要，进行了大规模的航测业务工作，并成立了相应的研究和作业机构。在新中国成立后短短十几年中已取得了巨大成就。

問 題

1. 航空摄影测量的任务是什么？它有哪些特点？
2. 航空摄影测量的简要过程怎样？

第二章 航空摄影

§2.1 概 述

为了取得供测制地形图用的航摄像片，须在飞机上安装摄影机对地面进行摄影，称为航空摄影。

由于测区的条件、作业的要求、用图的目的和成图比例尺等都不相同，因此常采用不同类型的飞机和摄影机进行航空摄影。

航空摄影分成两大类：垂直摄影和倾斜摄影。摄影时主光轴垂直于水平面的称为垂直摄影。在实际工作中，由于目前的仪器设备和技术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（倾斜角小于一定限度）时，称为近似垂直摄影；摄影时主光轴处于倾斜时称为倾斜摄影。倾斜摄影所摄地区的面积大，但成图的手续复杂。自从宽角和特宽角航空摄影机制造成功后，倾斜摄影就很少采用了。本章主要叙述近似垂直摄影内容。

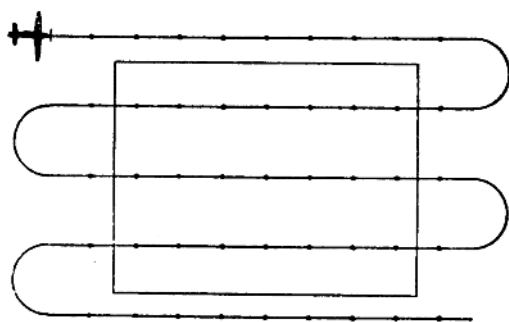


图 2-1

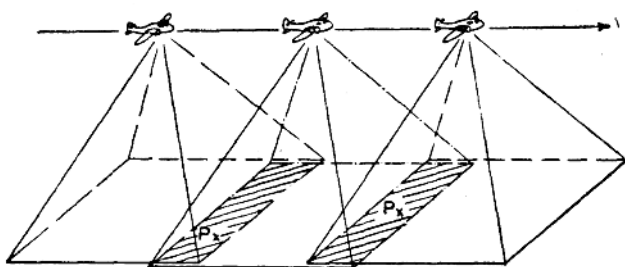


图 2-2

在测区上空进行航空摄影时(图2-1),飞机一般应该东西方向飞行,也就是航线要平行于纬线。在同一航线上各相邻象片间影象要有一定范围的重叠,这种重叠称为航向重叠(图2-2)。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(图2-3)。航向重叠和旁向重叠是摄影测量的必要条件。

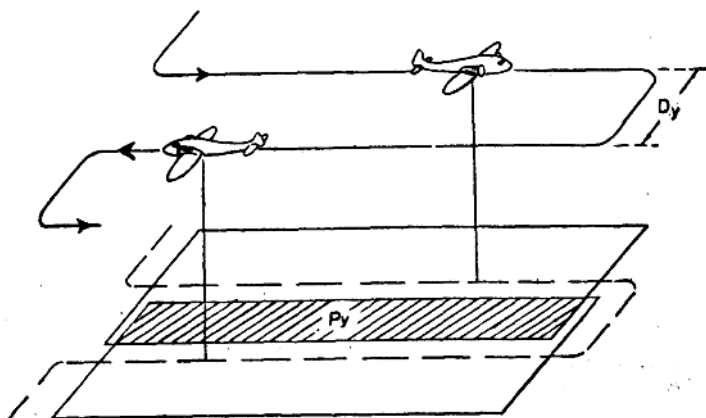


图 2-3

为了按照预定计划，使航空摄影获得良好的结果，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的仪器和测定象片倾斜角的仪器等。

§2.2 航空摄影机和航空摄影飞机

(一) 航空摄影机的物镜

(1) 物镜的构象

航摄机主要部分是物镜，它保证在象平面上获得清晰度很高和构象差极小的影象。因此，航摄机物镜是采用由几个透镜组成的光学系，称之为复合式透镜（图2—4为物镜示意图）。

复合式透镜有二个光学中心——前节点 S_1 和后节点 S_2 。

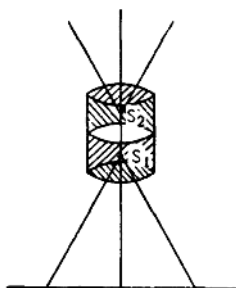


图 2—4

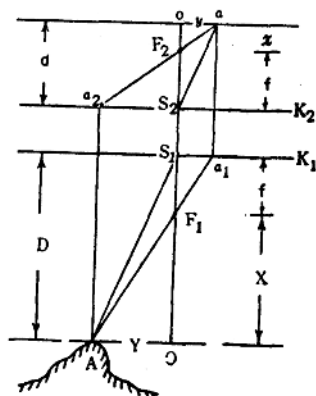


图 2—5

为了说明地面物体 A 的构象，通过前、后节点作两主平面 K_1 和 K_2 （图2—5），再从 A 点发出的无数光线中取三条特殊的光线来说明构象的原理：1. 从 A 点发出通过前焦点 F_1 的光线经主平面 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。三光线的交点 a 就是地面上物体 A 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 aoF_2 中得:

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

因为 (a)、(b) 两式左边相等, 可写成:

$$\frac{x}{f} = \frac{y}{Y} = \frac{f}{X} \text{ 或 } x \cdot X = f^2 \quad (2.1)$$

这就是光学基本公式, 也就是成象清晰的光距条件。

设: 物距 $D = OS_1$, 象距 $d = oS_2$, 则 $X = D - f$ 及 $x = d - f$, 代入 (2.1) 式可以改写为:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

在摄影时必须符合 (2.2) 式, 否则构象就不会清晰。

在航测学中, 为了便于研究问题, 我们常常把后节点 S_2 与前节点 S_1 重合起来, 当作一个点, 这个点称为物镜中心。同时把象片沿主光轴移动一段距离与 S_1S_2 的长度相等。如图2-6所示, 象 ab 和移动后的象 a_1b_1 完全相等, 没有改变构象的几何关系, 因此物镜中心就可认为是中心投影的投影中心。

(2) 物镜焦距与航摄影主距

在航空摄影中, 物距就是航高 H , 故公式 (2.1) 中的 X 值可以近似地当做航高 H (图2-6)。航高一般在300米到8000米之间。航摄影物镜的焦距 f 一般从50毫米到500毫

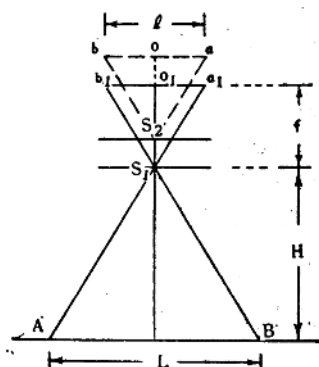


图 2-6

米。因此从公式 (2.1) 中,

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

可知 x 的值很小。例如: 当 $f=200$ 毫米, 航高 $H=5000$ 米时, $x=0.008$ 毫米; 而当 $H=500$ 米时, $x=0.08$ 毫米。这就是说航高由 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:

$$d = f + x = f_k$$

这段距离称为航摄机镜箱的主距, 以 f_k 表示之。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

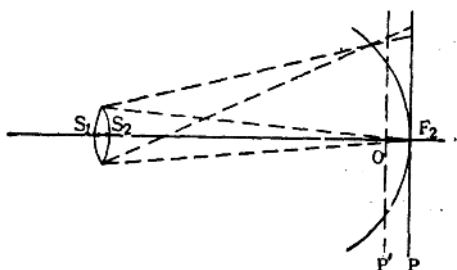


图 2-7

只有中间部分清晰, 而边缘部分模糊圈很大, 因此承片框不装在 P 的位置 (图2-7), 而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, 使模糊圈直径都在清晰范围内。

镜箱焦距 f_k 与航高 H 是决定象片比例尺大小的因素。若象片水平, 地面平坦, 则象片比例尺 $\frac{1}{m}$ 等于象片上线段 l 与地面上相应线段 L 之比。按图2-6可得下式:

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{f_k}{H} \quad (2.3)$$

式 (2.3) 是航空摄影基本公式之一。

(3) 焦距、航高和象场角之间的关系

航摄机物镜按焦距分类，可分为下列类型：

短焦距	150毫米以下；
中焦距	160—250毫米；
长焦距	300毫米以上。

通过物镜中心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（图2—8）。

航摄机物镜按象场角大小可分为下列类型：

窄角物镜	$2\beta < 45^\circ$ ；
常角物镜	2β 从 45° 至 $< 75^\circ$ ；
宽角物镜	2β 从 75° 至 $< 110^\circ$ ；
特宽角物镜	2β 从 110° 至 133° ；
超特宽角物镜	$2\beta > 133^\circ$ 。

象场角与焦距存在着一定的关系，象场角越大则焦距越短。一般航摄机的象幅大小为 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。

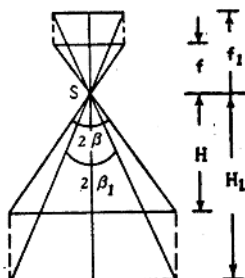


图 2—8

焦距、航高和象场角三者之间的关系，从图2—8中可以看出：焦距和航高影响象片比例尺，航高和象场角影响所摄地区的面积，而象场角和焦距影响象幅的大小。

航摄机物镜应具有很高的分解力，同时要尽量消除各种象差，尤其应将畸变差消除到最小程度，因为它破坏了构象时的中心投影原则。

(二) 航空摄影机的主要构造

航空摄影机的类型很多，但其主要构造大致相同，可分为：镜箱、暗盒、时间间隔控制器和坐架。

图2—9中，镜箱1的下面有镜筒2，镜筒内装有物镜3及快门。镜箱是金属制成的坚固箱子，上面装着承片框与暗盒连接。

承片框上有四个框标，两对框标连线的交点，为象片坐标系的原点，用以确定象片主点（象主点）的位置。象主点就是通过摄影物镜中心垂直于承片框平面（象片平面）的垂线的垂足。

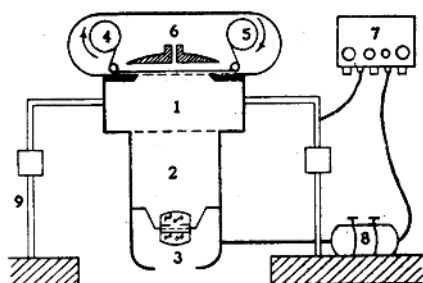


图 2—9

航摄机应保持内方位元素不发生变化。内方位元素就是：象主点在象片坐标系中的位置 (x_0, y_0) 和航摄机主距 f_k 两种元素。

在镜箱内壁设有几种指示装置，在航摄象片露光的同时，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4、5及压平软片的机件6。按各种不同类型的航摄机，承片轴上可卷长为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 厘米等不同大小的象片。

时间间隔控制器7的作用，是自动控制相邻象片摄影时时间的间隔，即按预定的间隔时间自动地使航摄机快门启闭。摄影时间间隔可在3—85秒范围内调整。

电动机8供卷片等所需要的动力。

航摄机镜箱与暗盒一同借带有缓冲装置的座架9固定在飞机上。缓冲装置可以减缓飞机飞行时所产生的振动。

航空摄影时航摄机是自动进行工作的。它能自动卷软片、压平和露光，连续工作直至摄完预定的测区。图2—10是航空摄影机AΦA-TЭ的全貌，它的摄影工作完全自动化，具有六个可以更换的镜筒，焦距为 $f_k = 500$ 、350、200、100、70及50毫米。象幅为 18×18 厘米。