



航空摄影测量学

华中农学院测量教研组

一九八一年八月

内 容 提 要

第一章	航空摄影测量的基本知识	1
§ 1-1	航空摄影的简要过程	1
§ 1-2	航测成图对象片质量的要求	7
§ 1-3	航摄像片是所摄地面的中心投影	12
§ 1-4	航摄像片上的特别点和特别线 及内外方位元素	15
§ 1-5	象点与地面点的坐标关系式	21
§ 1-6	航摄像片的比例尺	24
§ 1-7	航摄像片与地形图的差别	31
§ 1-8	象片倾斜所引起的象点位移	33
§ 1-9	象片倾斜, 图形产生变形	37
§ 1-10	地形起伏所引起的象点位移	40
§ 1-11	航测成图方法及其过程	42
第二章	感光材料的基本知识	47
§ 2-1	感光材料的各种分类方法	47
§ 2-2	感光材料的性能	50
§ 2-3	遮光片	56
§ 2-4	负片、正片影像质量的评定	57
第三章	立体观察原理和立体镜	61
§ 3-1	航空象片的立体视觉原理与立体象对	61
§ 3-2	立体镜的构造及用途	66
§ 3-3	人造立体效应及立体观察练习	67

.....(1) 人造立体效应的制作及观察练习.....	6 7
.....(2) 正立体和反立体.....	7 0
.....(3) 互补色立体观察原理.....	7 2
.....(4) 超离感.....	7 5
第四章 立体量测仪测图.....	7 7
§ 4-1 标准式立体象对确定地面点的空间坐标.....	7 8
§ 4-2 外方位元素和航高差对象点坐标的影响.....	8 2
§ 4-3 外方位元素对左右视差较的影响.....	8 9
§ 4-4 相对定向元素的测定.....	9 2
§ 4-5 立体量测仪的一般构造.....	9 6
§ 4-6 分功法成图的实际操作.....	1 0 9
第五章 多倍仪测图.....	1 1 5
§ 5-1 概述.....	1 1 5
§ 5-2 多倍仪的构造.....	1 1 7
第六章 象片纠正的一般概念.....	1 2 1
§ 6-1 光学机械纠正的基本思想.....	1 2 2
§ 6-2 光学机械纠正的条件.....	1 2 3
§ 6-3 大型纠正仪.....	1 3 2
§ 6-4 象片的纠正(在大型纠正仪上).....	1 3 7
§ 6-5 分带纠正原理.....	1 4 4
§ 6-6 正射投影仪.....	1 4 6
§ 6-7 电子微分纠正.....	1 4 8
附 录 图解纠正航摄像片的原理.....	1 5 1

第一章 航空摄影测量的基本知识

航空摄影的一般知识

航空摄影仅指飞机装载航摄仪器的光学摄影。本课程重点系根据所获取之航空象片上的信息来判定所摄地面景观，进而实施量测来编制各种比例尺地形图。

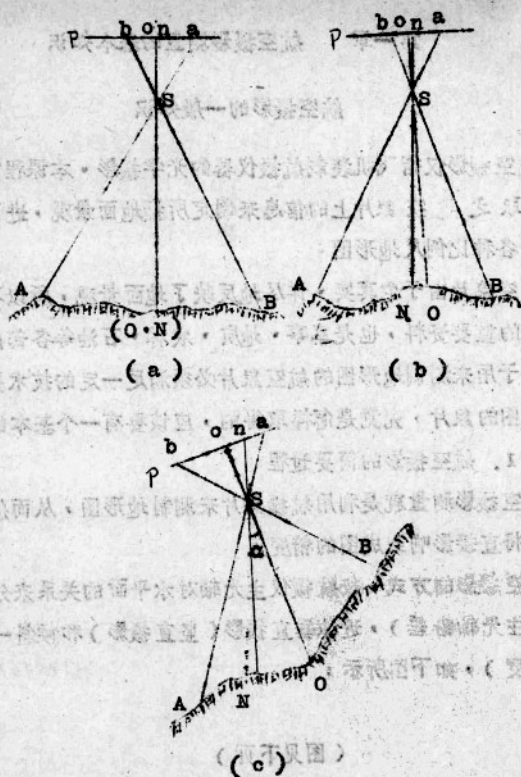
航空象片由于它真实、详尽地反映了地面景观，所以不仅是航测成图中的重要资料，也是军事、地质、农林、石油等各部门的重要资料。对于用来测制地形图的航空象片必须满足一定的技术要求，为此，航测成图的象片，究竟是怎样取得的，应该要有一个基本的概念。

§ 1-1. 航空摄影的简要过程

航空摄影测量就是利用航摄象片来测制地形图，从而航摄质量的好坏，将直接影响到成图的精度。

航空摄影的方式，按航摄仪主光轴对水平面的关系来分，有垂直摄影（主光轴铅垂），近似垂直摄影（竖直摄影）和倾斜一个较大的规定角度），如下图所示：

（图见下页）



其中(a)是垂直摄影，主光轴与铅垂线重合，即 $O \cdot N$ 为同一个点。
 (b)是竖直接影，主光轴 OS 偏离铅垂线 ON 一般不超过 3° 。(c)
 倾斜摄影，主光轴 OS 偏离铅垂线一个较大的角度 α 。用于航测工作
 的主要是竖直接影；由于垂直摄影技术至今未能实现（即在摄影瞬间，
 要严格使主光轴处于铅垂位置）；倾斜摄影一般用于军事侦察（专门

判读)和非测制地形图的其它专业目的,倾斜摄影的面积较之(a)或(b)都大,且判读直观

按使用的感光材料分,有黑白摄影、彩色摄影,红外摄影,红外彩色摄影,等。航测中常遇到的是黑白片摄影。

按使用的航摄影焦距和象角来分,又有普通焦距、长焦距、短焦距以及普通象角、常角、宽角,特宽角等航空摄影。

用于测制地形图的航空摄影一般是按航线以及由许多航线构成的一个地区的连续摄影。用于补摄、补测及其它工程用图和特殊目的时也有单片或几张象片的航空摄影。

航摄影是摄取航摄影象片的主要仪器,它的构造原理与普通的照相机基本上相同,都是以光学构象原理为基础的。

① 光学构象原理——物象公式。

航摄影是专供空中摄影用的摄影机。由于飞机一般是从几千米的高空对地面拍摄象片,物距相对于象距而言,可视为 ∞ ,因此由光学课中的物象公式可得:

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

即 $d = f$, 也就是象距等于航摄影的焦距 f (也有人称航摄影镜箱的主距 $f_k = f$, 严格地讲, $f \neq f_k$, 但在一般粗略地估算中, 可以将 f 和 f_k 等同地应用), 这是航摄影的一个特点。

航摄影是由航摄影主体和座架两大部分组成, 其总貌如图 1-1 所示。通过座架使航摄影安置在飞机上, 并起避震、整平和定向等作用。航摄影主体的结构略图如图 1-2 所示。它是由镜头、镜箱和暗匣三部分组成。在摄影时, 亦即镜头的快门启闭的瞬间, 地面物体反射的光线通过镜头中心在暗匣的软片(底片)平面上构成清晰的光学

清泉。

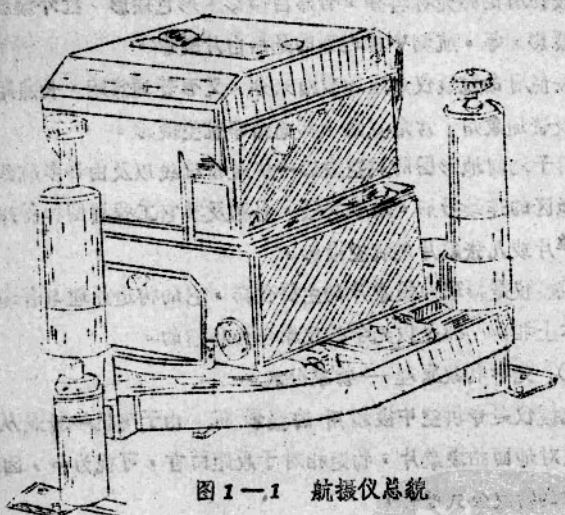


图 1—1 航摄影系统

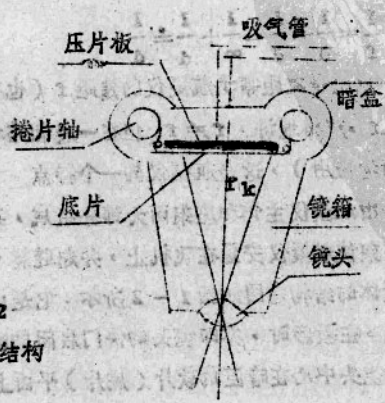


图 1—2
航摄影主体结构

在镜箱主体上面装有一贴附框，框上有标称象片坐标系统的四个标记称为框标，如图 1—3，在每张象片上都获得框标的构象。相对框标连线的交点称为象片坐标的原点即主点 O。同时在象片的边缘还有一些附属的记录，如图水准气泡，时表和检查底片的压平线等。也有的航摄仪不附设压平线，其框标记录在象片的四个角隅。

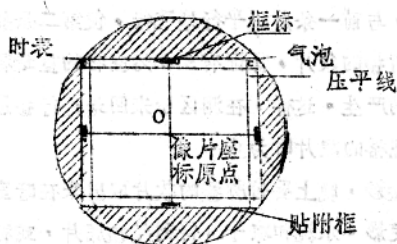


图 1—3

② 航空摄影过程

当前生产中，广泛采用的航空摄影方式是竖直摄影（近似垂直摄影），亦即象片面处于近似水平位置。这在摄影时，系用手工操作，借航摄仪上的水准器气泡安置后中来达到。一般在 1° 左右，最大不超过 3° 。目前使用回旋稳定装置的新技术，已完全可以保持在 $10'$ 左右，最大也不会超出 $40'$ 。即基本上是电动化和自动化的，能够自动整平、捲片、压平底片、控制曝光时间等。

进行航摄前，必先做好航摄计划，包括选择航摄仪焦距、航摄比例尺（航高也就定了）、象片的重迭度，以及具体的设计飞行航线、画领航用的飞行图，以至飞行工作量，需用的材料、经费等。

航摄时，飞行的航线一般均采用东西方向，其理由是观察和量测立体模型时，地物的走向与旧图上同名地物朝北方向一致，便于工作。当然，特殊情况另外，如铁路勘察，则按线路行进方向摄影。摄影机连续摄影的间隔时间，须调拨好且在试飞时应校正准确，即使航线方向的象片重迭度保证为60%左右，称纵向重迭，飞机进入测区前就开始摄影，飞出测区后关闭摄影机然后调转 180° ，在设计规定的航线间隔下，与前一条航线平行地飞行，使第二条航线所摄的象片与第一条航线所摄的象片，保证有30%左右的重迭称旁向重迭，以杜绝“漏洞”的产生。这样，在测区中来回地进行摄影，直至整个测区都摄有合乎规格的象片时为止。

白天摄影，晚上要将所摄的软片取出来在暗室里进行摄影处理，即显影、定影、水洗和凉干，得到航摄底片，或称负片。经过摄影质量的检查和编号（每张底片的角落上写上所编的号码，如图1—4中F-3-5-199，其中F-3为测区与航摄区的代号，5表示摄影的月份，199表示象片的顺序号码），接着将每张底片都晒印出象片（正片）。然后将所晒印的航空象片，本航线的和相邻航线的都按地物影像迭拼起来，并在它上面用细的白带子标出图廓线位置，经复照缩小，则成为象片的镶嵌复照图或称象片索引图，如图1—4所示，有了此图，便可评定航摄质量，也便于使用者查找所需的象片。

（镶嵌图见下页）

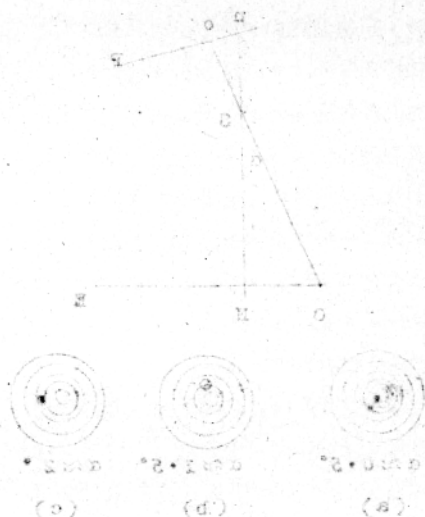


图 1—4

图 1—4 编辑复照图

(象片索引图)

§ 1—2 航测成图对象片质量的要求

① 对象片倾角的要求

象片倾角是指通过航摄影镜头中心的铅垂线与镜头主光轴之间的夹角用 α 表示, 如图 1—5 所示。象片倾斜数值的大小, 概略地可以从象片边角附近的水准气泡居中的情况读出, 如下图的 (a)、(b)、(c)。

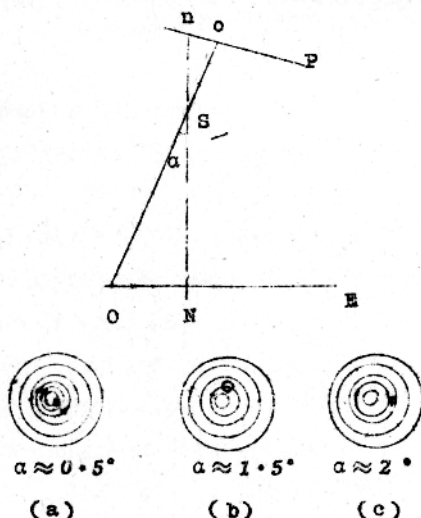


图 1—5

③ 对象片重叠度的要求

航测成图中，要求相邻象片之间具有一定范围的重叠度，即在两张象片上有同一地面的影像部分，如图 1—6 所示，并以重叠部分的面积占象幅面积的百分比来表示。一般要求航向重叠 $P\%$ 为 60% ，最小不得小于 53% ，旁向重叠 $q\%$ 为 30% ，最小不得小于 15% ，如图 1—7 综合法成图时不应小于 13% 。在计划重叠度的时候，我们必须考虑到测区内地形高差 h 对重叠度的影响，对于 $1:1$ 万比例尺测图时要求航向重叠为：

$$P = 60 + 50 \frac{h}{H}$$

· (c)

旁向重迭为：

$$q = 32 + 50 \frac{h}{H}$$

式中 h 为测区内地面高程最高与最低点之差的中数即：

$$h = \frac{A_{\text{最高}} - A_{\text{最低}}}{2}$$

按航摄规范规定，航向重迭最小不得小于 53%，旁向重迭最小不得小于 15%，小于上述要求的象片部分，称为航摄漏洞。完全没有照到象片的地方称为绝对漏洞。在接收航空象片资料时，必须特别注意漏洞情况，以便及早提出处理措施。一般来说，由于摄影质量较差造成的“漏洞”，就在下一次摄影飞行时补照一条航线来弥补，至于其它原因造成的漏洞，如地形条件影响产生的漏洞，则视具体情况，由测绘人员赴实地增测一些外业控制点，有的则需由平板仪测量或进行地面立体摄影测量来补救。

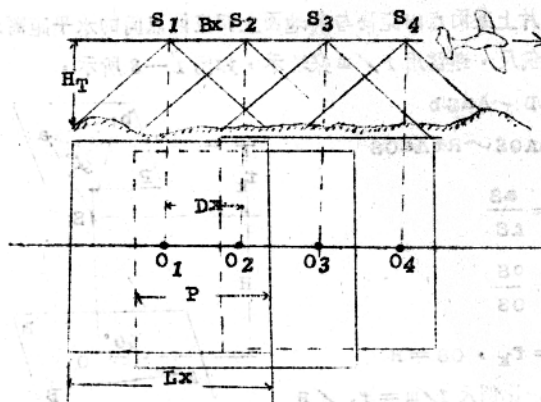


图 1-7 航摄象片的航向重迭

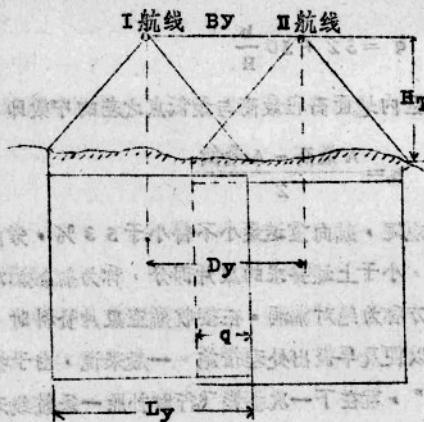


图 1—7 航摄像片的旁向重迭

④ 对航摄比例尺和航高差的要求

水平象片上某两点的距离与其地面上相应两点间的水平距离之比称为象片比例尺。通常用 $1/m$ 来表示，如图 1—8 所示。

$$\triangle ASB \sim \triangle asb$$

$$Rt\triangle AOS \sim Rt\triangle aos$$

$$\text{故 } \frac{ab}{AB} = \frac{as}{AS}$$

$$\text{又 } \frac{as}{AS} = \frac{os}{OS}$$

$$\text{而 } OS = f_k, OS = H$$

$$\text{所以航摄比例尺 } 1/m = f_k/H$$

实际上象片不是水平的，而有微小的

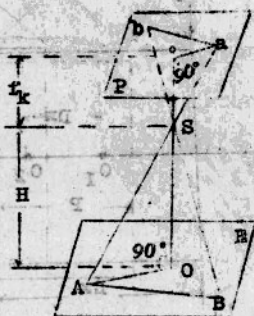


图 1—8

倾斜角（尽管倾斜角并不大），且地面也不是水平的，从而，公式虽是近似的，仅能供粗略地技术设计用，如需在象片上进行测绘地段，则必须测求较准确的象片比例尺，后面将在 § 1—7 中介绍。

对于航摄象片比例尺大小的要求，主要是根据成图比例尺的大小而定。依据我国航测事业成图的方法和目前使用的仪器所能达到的精度，对于测制 1/1 万地形图采用航摄比例尺为：

1 : 14000 ~ 1 : 25000 是比较适合的，即既能保证成图精度又能达到多快好省之目的。

航摄时根据计划好的航摄比例尺所拟定的航高飞行，因为 $1/m = r_k/H$ 中， $1/m$ 已经选定， r_k 对一架航摄仪而言，乃是一个常数。但由于各种外界因素的影响，特别是气流不稳定使飞机在飞行中，不可能始终保持同一高度上。但为了保证立体测图不发生困难，要求同一条航线上最高与最低之航高差不应超过 50m，同一航区实际航高与计划航高不能相差 5%。但如同一航线和相邻航线象片比例尺相差不大，尚符合立体观测的要求，即使航区的计划航高与实际航高之差稍大于 5% 也还是可以允许的。

⑤ 对航空象片影象的要求

航空象片对外业人员来讲，是进行调绘和选刺地形控制点的依据。特别是调绘象片，必须具有：a) 足够的反差（指目标由亮到暗的亮度比）使微细的地物与地貌影象均能反映出来以利于判读。b) 整张象片的影象应该浓度均匀，色调清晰（指色调反差在象片上应该协调）不能有些部分特别浓，另一些部分特别淡，也不允许有斑点、气泡、黄斑和机械损伤等。c) 单张象片以及连续象片之间的色调（指影象与其背景间的亮度）都应接近一致，才能有利于立体观察。d) 云影的影象和山脊、悬岩和高楼等高大物体的影子之影象（落影）等

都不应妨碍判读和量测工作。

§ 1—3 航摄像片是所摄地面的中心投影

什么叫中心投影？

空间任意一点 A 与固定点 S 的连线或延长线，被一给定平面 P 所截，则此直线与平面 P 的交点 a ，就叫做点 A 在平面 P 上的中心投影如图 1—9 所示。固定点 S 叫做投影中心（或称透视中心），点 A 叫物点， SA 叫投影光线，平面 P 叫投影面或象面。

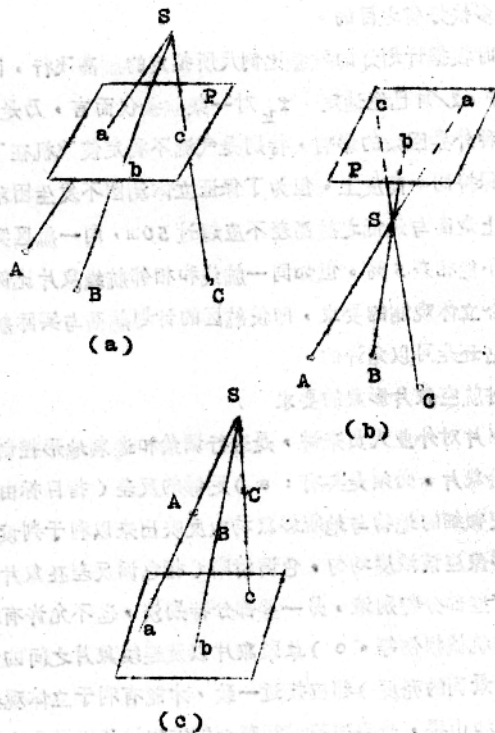


图 1—9

航摄像片上的影象是地面景物在底片上的摄影构象，这种影象是在航空摄影时，地面上景物各点反射出的光线交会在航摄仪物镜的前方节点 S_1 ，然后由物镜后方节点 S_2 投射到底片面上所形成，如图 1—10 所示。由物点 A、B 发出的光线会聚在 S_1 ，然后由 S_2 投射到象平面 P 上形成摄影影象 a 和 b。

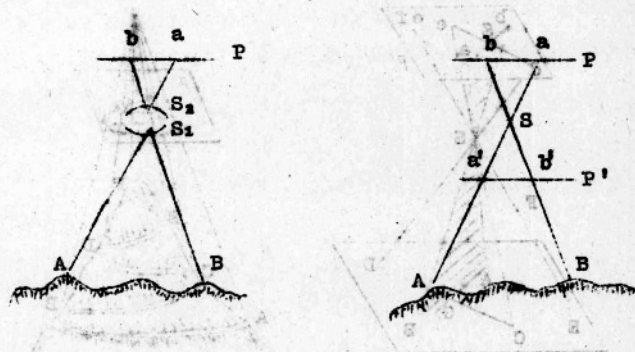


图 1—10

如物镜没有畸变差，则 $AS_1 // aS_2$ ， $BS_1 // bS_2$ 。为了作图方便，把物镜的前后方节点 S_1S_2 重合在一起，当作一个点看待，并称之为投影中心 S。由此可见航摄像片的成象过程完全符合中心投影的原理。所以说航摄像片就是所摄地面的中心投影。

中心投影（透视构象）的基本规律是：点的投影仍为一个点；直线的投影仍为一直线；交叉的直线，如交叉道路的影象，如图 1—11 中的 a 所示。空间立体曲线的投影仍为曲线，如盘山公路，图 1—11 中之 b 所示。但包含曲线且通过投影中心（或 S、O）的平面，则此曲线在象片上的构象为一直线，如图 1—11 中的 c，图 1—11 中，

