

高等学校教材

航测外业技术

徐伯铭 陈汉元 编

测绘出版社

034.5-412

高等学校教材

航 测 外 业 技 术

徐伯铭 陈汉元 编

测绘出版社

(京) 新登字 065 号

内 容 简 介

本书以 1:5 千和 1:1 万比例尺航测成图为主,并照顾到更大比例尺航测成图的要求。为此,在像片控制点联测中,增加了地面标志布设的应用;在调绘方面,扩充了判读特征(标志)及其使用,增加了室内判绘和大比例尺测图有关调绘与补测方面的问题;在综合法测图中,增加了城市大比例尺测图的有关内容。为了使学生对教材内容有较深入的理解和加强实践能力,书后还附有课间实习任务书及思考题与习题。本书适合摄影测量与遥感专业作为大学专科基本教材,也可供从事该专业的科技人员参考。

高等学校教材
航 测 外 业 技 术
徐伯铭 陈汉元 编

测绘出版社出版·发行
北京大兴五中印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所经销

*

开本 787×1092 1/32·印张 7.25·字数 160 千字

1992 年 6 月第一版·1992 年 6 月第一次印刷

印数: 0 001—2 000 册·定价 2.00 元

ISBN 7-5030-0479-7/P·171

目 录

第一章 航测成图与航测外业的基础知识	(1)
§1-1 航空摄影与航测成图对航摄资料的要求	(1)
§1-2 航摄像片与地形图的差别	(11)
§1-3 航测成图与航测外业的主要任务	(16)
第二章 像片控制点联测	(19)
§2-1 像片控制点及其布设的基本要求	(19)
§2-2 像片控制点的布点方案	(22)
§2-3 特殊情况的布点	(39)
§2-4 像片控制点的选点和刺点工作	(44)
§2-5 地面标志的布设	(48)
§2-6 像片控制点联测的实施	(55)
§2-7 GPS 定位	(66)
第三章 像片判读	(70)
§3-1 概述	(70)
§3-2 像片判读的特征 (标志)	(71)
§3-3 目视判读的基本方法	(80)
第四章 像片调绘的基本方法	(91)
§4-1 图式符号的应用	(92)
§4-2 像片调绘的综合取舍	(98)
§4-3 调绘像片的准备	(101)
§4-4 全野外调绘法	(104)

§4-5	综合判调法	(109)
第五章	地理要素的调绘	(116)
§5-1	居民地的调绘	(116)
§5-2	独立地物的调绘	(127)
§5-3	管线和垣栅的调绘	(130)
§5-4	境界的调绘	(133)
§5-5	道路的调绘	(135)
§5-6	水系的调绘	(145)
§5-7	地貌和土质调绘	(154)
§5-8	植被的调绘	(160)
§5-9	地理名称的调查和注记	(166)
§5-10	调绘中的补测与量测方法	(173)
§5-11	调绘像片的整饰与接边	(178)
第六章	航测外业成果的整理与检查验收	(181)
§6-1	航测外业成果的整理	(181)
§6-2	航测外业成果的检查验收	(186)
第七章	综合法测图	(189)
§7-1	固定比例尺像片图测图	(189)
§7-2	自由比例尺像片图测图	(193)
§7-3	单张像片测图	(196)
§7-4	城市大比例尺像片平面图测图	(207)
附录一	课间实习任务书	(213)
附录二	思考题与习题	(223)

第一章 航测成图与航测外业的基础知识

以飞机等飞行工具对地面进行摄影，用摄得的航摄像片作为量测依据，经过一定的工序和仪器操作处理，最后完成地形图的测绘工作，称之为航空摄影测量(简称航测)。它是我国大规模生产国家基本图的主要方法，较之平板仪白纸测图具有工效高、成本低、受天气影响小、地物地貌表示逼真等优点。近年来，由于广泛引进电子、激光等新技术，极大地提高了航测成图的精度与速度，使得航测成图在实现数字化、自动化方面有了很大的突破，并取得一定的成效。现在，航空摄影测量已不仅为测绘地形图这个单一目标服务，而发展成为国民经济建设中许多部门从事生产和科研的重要手段。

航空摄影测量包括航空摄影、航测外业和航测内业等几部分内容。本课程的重点是航测外业的作业实施、精度要求以及与其有关的基本理论知识。

§ 1-1 航空摄影与航测成图对航摄资料的要求

(一) 航空摄影

航空摄影就是从空中一定高度上摄取地面物体影像(取

得航摄像片)的过程(图 1-1)。它是利用带有航摄仪的飞机,按设计的航高和规定的航线方向(一般按东西方向),在摄区上空对地面作连续摄影。摄影时要求在每条航线所有前后两张相邻像片上和两条相邻航线间的有关像片上都要有一定的地物重叠部分,这个重叠称为像片重叠,前者叫航向重叠;后者叫旁向重叠。整个摄区都要为航摄像片所全面覆盖,不能有一点漏洞。

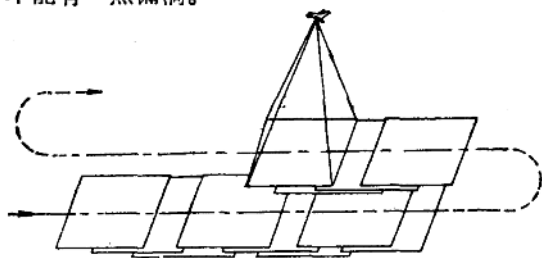


图 1-1 航空摄影过程

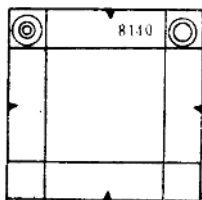
以测图为目的的航空摄影大多采用竖直摄影方式,它要求航空摄影机物镜主光轴在曝光瞬间垂直于地面。实际上由于飞机的稳定性不够,摄影机在曝光时总会有微小的倾角,按规定倾角小于 2° — 3° 认为是允许的,这种摄影称为竖直摄影。

航空摄影的软片,按感光材料的不同,可分为黑白片和彩色片。黑白片的影像是以黑白灰度色调来显示;彩色片的影像则是用不同色彩来显示,与所摄物体的天然本色基本一致。除此之外尚有红外片,可以对红外线感光,是利用物体的辐射红外线来取得物体的影像。红外片以黑白灰度显示影像的称为黑白红外片,以某种彩色显示影像的称为彩色红外片。

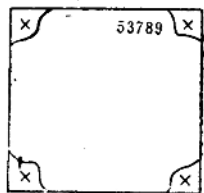
黑白片由于其摄影处理简单，成本低，影像分解力高，是目前航测成图大量使用的一种像片。彩色片影像层次丰富，由于人眼对彩色的微小差异的分辨能力较分辨黑白灰度色调的能力要高出几十倍，因此彩色片是目视判读较为理想的像片。但由于处理过程比较复杂，成本高，所以尚未广泛应用。红外片对地貌学、土地资源、天然植物和隐蔽地区的判读特别有利，而且其应用范围还在扩大，已发展成为摄影学中的一个分支，也是遥感技术的一个方面。不过在航测成图中应用红外片的情况还不多见。

一张航摄像片，其影像范围的大小叫做像幅。目前广泛采用 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 与 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 两种。

在航摄像片上除摄有地面影像外，还有各种航摄标志，如压平线、框标、水准气泡、摄影时间及编号等。所有这些标志均由航摄机在摄影时连同地面景物一并摄入像片。每一像幅有四个框标，它们位于边框的中央，如图 1-2(a) 中的四个锯齿形；或位于四个角上，如图 1-2(b) 中的四个十字交叉。外业利用框标的连线决定像主点在像片上的位置。在理论分析与内业像点量测时，一般都选它作为像片平面坐标系



(a)



(b)

图 1-2

的原点。所谓像主点，就是曝光瞬间摄影机的主光轴与像片平面的交点(图 1-3)，以字母 o 表示。

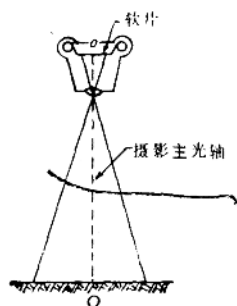


图 1-3

水准气泡的摄像位于像片左上角(图 1-2(a))，用它检查像片的摄影倾角，右上角为时钟，摄区及像片编号的影像在上边缘。“井”字形黑框线为压平线，用来检查航空底片的压平情况。如果压得很平整则压平线的影像平直无任何弯曲，否则压平线的影像呈弯曲状。由于压平线的影像对选刺像片控制点有一些影响，故现在不少航摄机都去

掉压平线，因而像片上就不存在压平线(图 1-2(b))。压平检查通过立体坐标仪的观测去完成。

(二) 航测成图对航摄资料的基本要求

通过航空摄影所取得的航摄像片详尽地记录了测区范围内的地物和地貌特征，以及地物之间的相互关系。采用这种像片，经过摄影测量各工序的加工，可以测绘出一定比例尺的地形图。因此，它是测图的依据，是航测成图的基本原始资料。对其质量要求，在航空摄影规范里都有规定，作为航测成图对航空摄影资料的基本要求有下列几点需要着重说明。

1. 航摄比例尺

飞机用同一飞行高度进行空中摄影，所得到的像片比例尺基本上是一致的。但是，由于气流的影响以及其它原因，飞机飞行高度会发生一些变化，从而引起航摄比例尺的变

化。如果相邻两张航摄像片的比例尺相差太大，将会影响像片的立体观察，使航测成图产生困难。为此对像片比例尺要限制其变动范围。从图 1-4 可知，航摄像片比例尺是由航摄影焦距和航高决定的，即

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} = \frac{ab}{AB}$$

根据上式得：

$$H = m \cdot f$$

H 为相对航高，是航摄影物镜中心到测区平均水准面的垂直距离。由物镜中心到大地水准面的垂直距离则称为绝对高程，用 H_0 表示。平时一般所说的航高大都指相对航高而言。

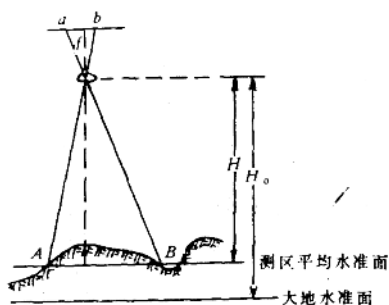


图 1-4

对一架航摄影而言，焦距是固定的常数，因而航高变化就会引起像片比例尺的变化，假设航高变化为 $\pm \Delta H$ ，像片比例尺分母相应变化为 $\pm \Delta m$ ，则

$$m \pm \Delta m = \frac{H \pm \Delta H}{f} = m \pm \frac{\Delta H}{f}$$

以 $f = \frac{H}{m}$ 代入得:

$$\pm \Delta m = \pm \frac{m \cdot \Delta H}{H}$$

或写成

$$\pm \frac{\Delta m}{m} = \pm \frac{\Delta H}{H}$$

根据人眼进行立体观测的最佳效果,左右像片比例尺的误差 $\pm \frac{\Delta m}{m}$ 不得超过 $\pm 5\%$, 故航高 H 的相对误差也不得超过 $\pm 5\%$, 即

$$\Delta H \leq \pm 5\% H$$

H 为相对航高。

另外,在实际航摄作业时,对同一条航线内的最大与最小航高之差还有限制。按航摄规范规定其差不得超过 50m。

航摄比例尺是编制航空摄影计划时设计的像片比例尺。航摄比例尺的选择与许多因素有关,最密切的是成图比例尺。因为在目前的技术条件下,航摄像片的比例尺与成图比例尺之间不能相差太大,航摄像片只能放大的倍数进行内业测图。因为放大系数太大,难以达到成图的精度要求,但如果要减小放大系数,那就要增大航摄比例尺,这样又会增加航测成本,降低工效。因此,选择最佳摄影比例尺以满足成图精度的需要是最经济的办法。表 1-1 是航测外业规范给出的测制 1:1 万和 1:5 千比例尺地形图时,可供选用的较适宜的摄影比例尺。具体作业时,应根据成图方法、地形类别及测图仪器的精度等,从中选用。

表 1-1

成图比例尺	航摄比例尺	像幅 (cm)
1:5 千	1:8千 ~1:2万	18×18
	1:1.5万~1:2万	23×23
1:1 万	1:1万 ~1:2.5万	18×18
	1:2.5万~1:3.5万	23×23

2. 像片重叠度

航空摄影所获得的一系列像片，它们相互间应有一定联系，即要有像片重叠。重叠的多少则以像幅边长的百分数表示(图 1-5)，也就是重叠度。如

$$\text{航向重叠度 } q_s = \frac{p_s}{l_s} \cdot 100\%$$

$$\text{旁向重叠度 } q_r = \frac{p_r}{l_r} \cdot 100\%$$

式中： l_s ， l_r ——表示像幅的边长；

p_s ， p_r ——表示航向和旁向重叠的长度。

像片重叠部分是保证立体观测和像片连接用的，在航线方向必须要有三张相邻像片的公共重叠部分——三度重叠部分(图 1-5 中的斜线部分)，

以便于摄影测量选定控制点用。由于像片边缘部分的影像清

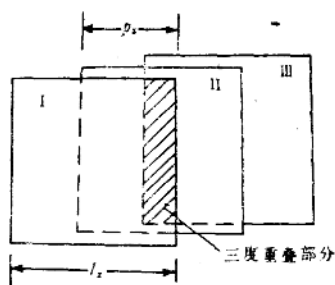
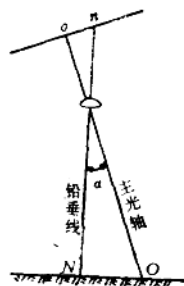


图 1-5 像片重叠度

晰度较差,会影响量测精度,所以三度重叠中 I、II 两张像片的重叠度不能太小。在一般情况下,当像幅为 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 时,相邻像片的航向重叠度至少应大于 53%;但也不宜过大,过大了会浪费软片,而且对测图也不利,最好是 60—65%。旁向重叠度不要求很大,只需保证相邻航线的像片之间能达到成图所必须连接。一般情况是 30%,最小不得小于 15%。对于 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 的像幅,航向重叠度为 58—63%,最小不得小于 53%,旁向重叠度为 24%,最小为 12%。

将像片的重叠部分拼接好,用尺直接量出重叠部分的长度 p_s 和 p_r ,用公式计算即可求得重叠度。

当航向或旁向重叠小于上述最低要求时,则小于上述重叠要求的部分叫航摄漏洞。出现航摄漏洞的地区,在航测外业中要做特殊补救,否则无法成图。摄区中如有未取得像片影像的地段则称为绝对漏洞,绝对漏洞地段因无像片影像,无法用航测成图,应采用平板仪测图。绝对漏洞两端航外控制点的布设也要作特殊处理。



3. 像片倾斜角

航摄仪的主光轴 oO 在曝光的一瞬间与通过物镜中心的铅垂线所夹的角度,叫做像片倾斜角,用 α 表示,如图 1-6 所示。

当像片倾角 $\alpha = 0$ 时,所摄像片叫水平像片,对航测成图最为理想。但目前的技术条件还做不到,所摄像片总有一倾斜角存在。

图 1-6 像片倾斜角

像片倾斜角的存在将引起像点移位。虽然这一误差可以

通过光学仪器的投影来消除，但增加了作业过程。如果像片倾角过大，还会使仪器在使用上受到限制，甚至超出仪器的使用范围。因此，对像片倾角要作出限制，一般规定要小于 2° ，最大不超过 3° 。像片角隅上有一圆水准气泡的影像，它反映出摄影时的像片倾斜角。气泡偏离中心一圈表示像片倾斜角为 1° （也有为 0.5° 的）。

4. 航线弯曲度

航空摄影时，由于受到气流等因素的影响，飞机不能沿预定航线方向直线飞行，会造成航线弯曲。如果航线弯曲太大，则当一段航线的像片被安置到仪器上去时，就有可能超过仪器许可的活动范围，给内业成图造成困难。航线弯曲是以航线长度 L 与最大弯曲矢距 ΔL 之比来表示的，这个比值称为航线弯曲度（图 1-7），其值不得超过 3%，即

$$\frac{\Delta L}{L} \leq 3\%$$

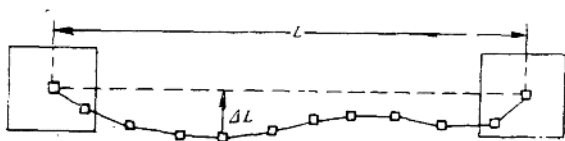


图 1-7 航线弯曲度的检查

航线弯曲度的测定，可采用直尺量测航线首、末像主点的距离 L 和偏离最远的像主点与该直线的距离 ΔL ，它们比值的百分数即为航线弯曲度。

5. 旋偏角

在同一条航线上相邻像片像主点的连线与同方向像片边

框方向的夹角,叫像片旋偏角,以 δ 表示(图 1-8)。像片旋偏角可直接在重叠好的像片上用量角器测定。

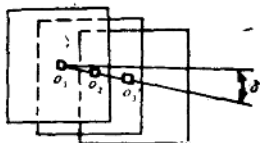


图 1-8 像片旋偏角

像片产生旋偏角以后,会使重叠度受到影响,由于航测成图仪器在旋偏角方面的活动范围都比较宽,因此一般只要

求 δ 不超过 6° ,最大不超过 8° (并不得连续三片同时出现)。超过此规定时,应进行补摄或在外业布点时采取补救措施。当航高在1200m以下,旋偏角可放宽为 7° ,最大不超过 10° (不得连续三片同时出现)。

6. 像片影像质量

像片影像质量的好坏直接影响像片的判读、刺点、调绘和内业成图。在航测生产中对像片影像质量的要求是:

(1) 航摄像片上所有地面景物的细节必须充分地显露,并具有适当的密度;

(2) 相邻地物的影像和同一地物的细节影像都应具有明显的、眼睛能觉察到的反差。

满足上列要求的像片方能认为是优质航摄像片。但上述条件的满足要取决于摄影系统的光学特性、航摄软片的特性、各种因素对曝光量的影响以及负片和正片的显影条件等多种因素。作为航测外业使用的航摄像片,对其影像质量的检查应达到下列标准:

① 像片影像应清晰,反差适中,色调一致。

影像清晰主要是指影像成像的边缘轮廓的清晰程度。为了能在像片上正确地辨别地面物体的种类、形状及其准确位

置，航摄像片必需保证影像清晰，色调一致。

反差是指影像的黑白差别。反差太大会出现浓黑影像，使物体的细节显示不出来。反差太小，影像浅淡，物体各部分细节也不能清楚显示，对地物的识别极不利。

② 像片上各类标志影像清晰、完整。

③ 像片上无云彩、阴影、斑点、擦痕、折伤及药膜损伤等缺陷。

像片影像质量的外业检查，一般是凭经验用目视检验的方法。如果有一套标准模片，也可采用比样法检查。

§ 1-2 航摄像片与地形图的差别

航摄像片能真实而详尽地反映所摄地面的情况。从航摄像片上，人们可以了解该地区地面上地物和地貌的全部内容。但是，像片不能作为地形图来使用，因为两者之间存在着差别。

(一) 投影方面的差别

地形图是高斯正形投影，航摄像片则是中心投影。

高斯正形投影在大比例测图中是正射投影，如图 1-9。它利用平行光束将地面点 A 、 B 、 C 、 D ……等，沿其铅垂方向投影到平面 P 上，所得相应的投影点为 a 、 b 、 c 、 d ……。这种正形投影的特点

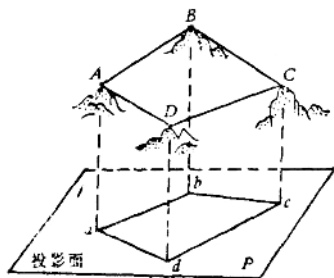


图 1-9

是：投影面 P 上任意两点间的距离与相应地面点间的水平距离之比是一个常数，即具有相同的投影比例尺。

航空摄影像片上的影像是中心投影(图 1-10)。地面上 A 、 B 、 C 、 D ……各点的光线，通过摄影机镜头中心 S ，投影到感光软片(负片) P 上构成为像点 a 、 b 、 c 、 d ……等。

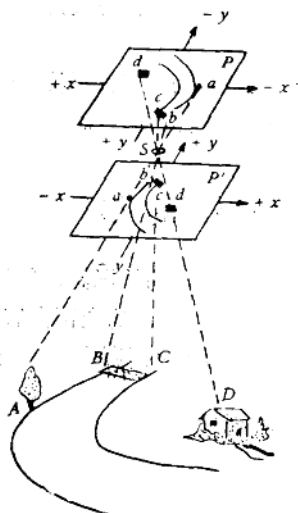


图 1-10

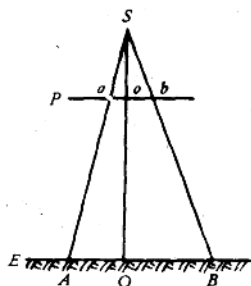


图 1-11

从图 1-10 中可以看出，负片影像与地面的实际情形正好相反。如果在镜头中心 S 下面，与负片对称的位置上，设置一个平面 P' ，那么 P' 平面上的影像将和地面完全一致。这个 P'

平面就相当于晒印的航摄像片，叫做正片，它们两者之间的几何性质完全一样。

下面根据像片和地图相对位置不同，分三种情况来讨论中心投影的像点与地面点之间的投影关系。

1. 当像片和地面均为水平时

由图 1-11 可以看出，当像片 P 和地面 E 均为水平时，