



航空摄影测量第三册

象片连测与象片调绘

王作云 马进 念师

测绘出版社

航空摄影测量第三册

象片连测与象片调绘

王作云 马 进 念 师

测绘出版社

为适应我国航测生产需要,组织编写了这套航空摄影测量专业读物,以1:1万比例尺测图为主,按工序较为详细地阐述了航测内外业成图的基础理论、基本方法、主要仪器和具体作业过程。可供航测生产人员和航测专业师生参考。

全书共分七册:第一册《航空摄影测量基础知识》;第二册《摄影处理与象片纠正》;第三册《象片连测与象片调绘》;第四册《解析空中三角测量》;第五册《立体量测仪测图》;第六册《多倍仪测图》;第七册《精密立体测图仪测图》。

本册较系统地介绍航空摄影测量中外业象片连测与象片调绘的基本理论和野外作业方法,其内容有:野外象片控制点的布设;象片控制点的连测与计算;象片控制测量的精度分析;航摄像片判读;航摄像片的地形调绘;象片图测图;单张象片测图。

象片连测与象片调绘
作云 马 进 念 师

测绘出版社出版
北京印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张 13³/₈·字数 359千字

1980年8月第一版·1980年8月第一次印刷

印数 1—10,000册·定价 1.30元

统一书号: 15039·新 141

目 录

概述	(1)
第一章 野外象片控制点的布设	(3)
第一节 航测成图方法的选择	(3)
第二节 象控点布设的基本原则和要求	(10)
第三节 全野外布点	(12)
第四节 非全野外布点	(23)
第五节 特殊情况下的布点	(42)
第六节 各种图边布点的处理	(48)
第七节 象片控制点的选刺和整饰	(51)
第八节 布设野外象控点的实施	(60)
第二章 象片控制点的连测与计算	(64)
第一节 象片控制点连测计划的编制	(64)
第二节 各种交会法概述及角度测量	(68)
第三节 各种交会法之计算	(78)
第四节 线形三角锁测量	(119)
第五节 经纬仪导线测量	(131)
第六节 电磁波测距	(138)
第七节 高级地形控制点测量	(152)
第八节 水准测量	(170)
第九节 经纬仪水准法	(177)
第十节 间接高程测量	(179)
第三章 象片控制测量的精度分析	(195)
第一节 各工序误差分配的原则	(195)
第二节 各项误差因素的确定	(196)
第三节 单交会定点的精度估算	(204)
第四节 单三角形测量点位精度估算	(211)

第五节	后方交会法定点的精度估算	(216)
第六节	三个已知点前方交会定点的精度估算	(221)
第七节	单三角锁测量的精度估算	(225)
第八节	经纬仪导线测量精度估算	(236)
第九节	高程控制测量的精度分析	(242)
第四章	航摄象片判读	(258)
第一节	航摄象片判读的意义和目的	(258)
第二节	地物构象规律	(259)
第三节	判读特征	(268)
第四节	地形判读的方法和要求	(273)
第五章	航摄象片的地形调绘	(283)
第一节	外业调绘的内容和基本要求	(283)
第二节	图式符号运用	(284)
第三节	1:1万调绘中综合取舍的原则	(290)
第四节	调绘的一般方法	(294)
第五节	居民地的调绘	(301)
第六节	控制点与独立地物的调绘	(312)
第七节	道路网的调绘	(315)
第八节	水系的调绘	(325)
第九节	管线、垣栅的调绘	(337)
第十节	境界的调绘	(340)
第十一节	地貌和土质的调绘	(343)
第十二节	植被的调绘	(361)
第十三节	地理名称调注	(365)
第十四节	注记资料的量测和调注	(374)
第十五节	新增地物的补测	(379)
第十六节	象片清绘与接边	(389)
第六章	象片图测图	(393)
第一节	概述	(393)
第二节	测站点的布设和测定	(397)

第三节	地形测图·····	(398)
第七章	单张象片测图·····	(401)
第一节	概述·····	(401)
第二节	象片比例尺的测定·····	(402)
第三节	地形测图·····	(410)
第四节	投影误差的限制·····	(412)
第五节	投影误差的改正·····	(418)

概 述

本册以国家1:10000比例尺地形图为主,介绍大比例尺航测成图外业各工序的工作。

航测成图通常有三种基本方法,即综合法、微分法和全能法。微分法和全能法是以立体象对为基础进行测图,又总称为立体测图法。综合法测图则属平面摄影测量,它分为象片图测图和单张象片测图两种方法,而象片图测图又有自由比例尺象片图和固定比例尺象片图之分。目前,又发展了编制影象地图的航测成图方法。

不论采用哪种航测成图方法,凡是航测内业仪器上作业需用的控制点(定向点),全部由外业测定其平面坐标和高程的,称为全野外控制;只由外业测定部分必需的控制点,测图作业所需的控制点由内业进行控制测量加密解决的,称为非全野外控制。航测外业作业中测定野外象片控制点的工作,称为野外象片控制测量,或简称象片连测。

不论采用哪种航测成图方法,野外调绘工作都是以航摄像片上所摄取的地面影象为依据,在实地根据地物地貌在象片上的构象规律进行象片判读,并按图式规定的符号进行判绘。象片调绘工作同时还需调查地理名称和各种注记资料,以及进行象片接边,整饰等工作。

在综合法测图时,不论采用哪种具体方法,都需要在野外实地根据象片图或单张象片上的影象测绘地貌,并同时进行象片调绘作业。这项工作通常称为野外象片测图。

上述所有的野外作业都称为航测外业工作。因此,航测外业工作包括:象片控制测量、象片调绘和象片测图三大部分。

航测外业工作是航测成图过程中的重要工序之一,其作业成果是航测内业的依据,对保证航测成图的质量具有重要作用,因此,要强调外业成果资料的重要性和准确性,要求树立严肃认真、

细致准确的工作作风。航测外业工作又处于野外较为分散和流动的状态，这一特点要求全体人员自觉地不断提高业务技术水平和政治思想觉悟，要求有健全的生产管理体制和科学的合理的规章制度，以保证多快好省地完成上级下达的任务。

第一章 野外象片控制点的布设

象片连测包括野外象片控制点的布设和测定等工作，这些野外象片控制点是航测室内加密控制点(定向点)和测图的依据，因此是航测成图中十分重要的工序。

野外象片控制点中，凡是只测有平面坐标的称为野外平面控制点，简称平面点；只测有高程的称为野外高程控制点，简称高程点；同时测有平面坐标和高程的称为野外平面、高程控制点，简称平高点。所有这些野外平面和高程控制点，在外业工作中均简称为象控点，在内业工作中则简称为外控点。

第一节 航测成图方法的选择

航测成图方法是根据航测仪器及其适用地形，分为综合法测图、微分法测图和全能法测图。在航测内业工作中又可分为常规仪器测图和精密立体测图仪测图，各类精密立体测图仪则是内业解决平坦地区测图的有效工具。

布点方案可按外控点的作用，区分为非全野外布点和全野外布点。非全野外布点的外控点是供内业加密用的；全野外布点是直接提供内业测图定向用的。

在全野外布点中，按不同的测图方法，区分为单模型、双模型、微分法高程全野外、综合法全野外等布点方案；在非全野外布点中，按不同的内业加密方法，区分为解析法空中三角测量(电算加密)、多倍仪空中三角测量、平面航线网(品字形)、图解辐射三角测量、图幅均匀布点等方案；另外还有区域网布点方案，它则能适应于各种成图方法。可见，确定布点方案和选择成图方法是密切相关的，是涉及全局的一项重要工作。

一、选择航测成图方法的依据

选择航测成图方法的主要依据有：地形类别、成图的基本等

高距、航摄资料、仪器设备、用图期限、任务衔接与平衡、图幅用途、质量要求和人员技术水平等。

(一) 地形类别

其划分标准是图幅内绝大部分的地面坡度和平均高差，区分如下：

1. 平地——图幅内绝大部分的地面倾斜角在 2° 以下、平均高差在20米以内的地区。

2. 丘陵地——图幅内绝大部分的地面倾斜角在 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 、平均高差在20~150米之间的地区。

3. 山地——图幅的绝大部分的地面倾斜角在 $6^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、平均高差在150~500米之间的地区。

4. 高山地——图幅内绝大部分的地面倾斜角在 25° 以上、平均高差在500米以上的地区。

地形类别划分从坡度和高差两方面来规定，是考虑了航测成图的可能性和用图的需要。例如，规定20米高差来区分平地和丘陵，是由于测制象片平面图时，高差在20以内，才能保证作到因地面起伏引起的象点位移在图上不超过 ± 0.4 毫米的规定。又如黄土地貌、喀斯特地貌中的不少地形，按高差属于丘陵、按坡度则属于山地，其高程测量的精度可为山地。这是由于航测成图的高程点、等高线的测量精度与地形坡度的关系甚为密切，各种地形的高差规定也要以坡度为主要依据，因此，在实际应用中，当地面坡度和高差产生矛盾时，一般应以地面坡度为准。

划分地形类别虽然以图幅为单位，但在测区内要照顾成片，不宜区分得过分零碎。

一般情况下，平地可选用综合法或全能法测图；丘陵地和山地可选用微分法或全能法测图；高山地只采用全能法测图。

(二) 成图的基本等高距

在1:1万测图中根据用图需要和地形情况经常选用的有：1米、2.5米、5米、10米等几种等高距。具体选用哪种基本等高距，在各有关作业规范中都有明确规定。

选用较小的基本等高距时,例如1米或2.5米,用综合法测图,这时在野外测定高程注记点和等高线,可以保证较高的高程精度;在选用2.5米或更大的基本等高距时,一般都采用立体测图方法,并且在保证成图精度的前提下尽量减少野外工作量。

(三) 航摄像片比例尺

选择最佳摄影比例尺,首先以满足1:1万成图精度为前提,同时也应该是最为经济的。

从实施情况看,选择航摄像片比例尺,要受航摄飞行的条件限制,例如,我们要摄取某一较大的象片比例尺,必须根据航摄飞机的最低安全高度和速度以及选定的航摄仪镜箱焦距来确定。

根据对各种摄影比例尺成图的高程预期中误差和平面预期中误差的推算,从大量的检测结果分析,用不同的成图方法测制1:1万地形图,对18×18厘米象幅和23×23厘米象幅,较适宜的航摄比例尺,如表1-1所示。

表 1 - 1

摄影比例尺 象幅	测图方法	微分法测图 (丘陵)	多倍仪测图 (山地、高山地)	精密测图 仪测图	综合法测图 (平地)
18×18厘米 (焦距10厘米左右)		1:12000~ 1:16000	1:16000~ 1:20000	大于1:25000	大于1:25000
23×23厘米				大于1:35000 (平地丘陵地一般采用特宽角,山地一般采用宽角或特宽角,高山地一般采用宽角航摄机)	

实验说明,航摄像片比例尺愈小,成图精度也随着降低,象片比例尺过大,则要增加成本。因此在象片比例尺较小时,为了得到所需要的成图精度,在确定成图方法时可采取一些补救措施,例如:提高象片控制点的精度;内业选用较高精度的测图仪器;平地采用综合法象片图测图等。

(四) 选择航测成图方法还必须顾及到内业仪器设备条件

航测内业仪器种类繁多,各个仪器的量测精度、放大倍数、对航摄象片焦距和象幅的要求、仪器的数量和完好程度,均有所异,都是需要考虑的因素。

总之,三种航测成图方法及包括的各种布点方案,必须是综合研究了各种因素后才能确定的,其中主要还是根据地形条件来确定。由于实际地形千差万别,具体的布点方案、方法和要求,将在后面讨论。随着航测技术发展,成图方法不断改进,例如、应用区域网平差加密,使外业控制工作大量减少,并正在逐步取代原有的加密方法和布点方案;影象地图的制作使外业调绘工作大量减少,成图工艺得到改进。因此,我们确定成图方法和布点方案时,又必须及时适应新技术的推广和发展。

二、平坦地区加速成图方案

航空摄影测量工作中,除上述几种成图方法外,近年来,我国有关单位研究了平坦地区1:1万航测加速成图的新方案、新工艺,试验证明是可行的,能满足1:1万测图的精度要求。其特点是:采用较小比例尺沿图幅中心线进行航空摄影,实施一张象片成一幅图,从而成倍地减少航摄和航测内外业工作量;采用布设地面标志的方法,使航摄与外业,外业与内业同时平行作业,大大的缩短了成图周期;采用平面区域网布点、桩点法立体测图、象片室内判读,可以大量减少野外工作量;编制影象地图,不仅能达到线划图的精度,而且丰富了地形图的内容,加快了成图速度。因此,这一成图方案能改变第一年航摄,第二年外业,第三年加密测图,第四年制印出版的落后情况,是一种行之有效,多快好省的方法。

(一) 实施一张象片一幅图

采用镜头分解力高、畸变差小、 23×23 厘米象幅的航摄机,选择较成图比例尺小三倍到三倍半的摄影比例尺。沿图幅中心线进行航空摄影,一般要求偏离图幅中心线不超过300~400米,以保证20%以上的旁向重迭和90%的航向大重迭度,便于从中挑选质量较好,象主点正好位于图幅中心的象片,作为中心片进行纠

正, 制作影像原图; 同时使60%左右航向重迭的邻片, 尽量位于东西图廓线附近, 从而保证一张象片的相邻两个象对正好复盖一幅1:1万图。也好使各中心片上, 在东西和南北方向均不产生漏洞, 也就是使图廓线至象片边缘总是留有一定的距离作为安全边缘, 或称为安全余量, 一般不能小于2厘米。

用于制作1:1万影像地图的小比例尺航摄, 采用大象幅、短焦距的航摄机, 从预算高程中误差的简化式可以看出*, 大大有助于提高高程精度。在平坦地区使用大型纠正仪纠正时, 这是可行的, 但对起伏地区, 若使用初级精度的正射投影装置, 沿扫描带进行微小缝隙的连续纠正时, 短焦距的航摄底片, 易使缝隙沿扫描带的两侧产生影像遗漏和重复等变形, 为保证扫描精度, 则要求最好用长焦距航摄机航摄。

此外, 应选用片基伸缩小、感光速度快的航摄底片, 并使曝光时间尽可能小, 以增加影像地图的判读性能。

(二) 布设地面标志点

在航空摄影前, 按平面区域网布点的要求布设地面标志点, 可以在航摄的同时, 提前进行平面控制作业, 航摄结束后, 即可很快进行电算加密工作, 从而缩短了成图周期。

按照平面区域网布点方案的位置要求, 这些标志点偏离方案中的标准位置不应超过半个象对, 四角的点应尽量成矩形。

在点位合乎布点位置要求的大地点上或全部大地点上, 直接布设地面标志, 可以减少外业连测工作。由于地面标志点目标清晰、可靠性强, 所以几乎消除了因控制点刺点错误而返工的现象, 有利于提高加密量测精度和生产效率。

布设地面标志的实施见本章第七节之二。

* 在象片的大部份系统误差可以进行改正的情况下, 高程精度可用下式表达

$$m_h = \frac{H}{b} m_{\Delta P} = M_{\text{摄}} \frac{f_h}{Lx(1 - Px\%)} m_{\Delta P} \text{ (毫米)}$$

式中: f_h 为航摄机焦距, Lx 为象幅边长, $Px\%$ 为航向重迭, $M_{\text{摄}}$ 为摄影比例尺, $m_{\Delta P}$ 为象片量测误差, 上式表明: 当 $M_{\text{摄}}$ 和 $m_{\Delta P}$ 为定值时, 高程中误差 m_h 与焦距成正比, 而和象幅大小成反比。

(三) 平面区域网

平坦地区的平面点和高程点是分别采用不同方法连测的。高程点一般采用直接水准测量方法,才能满足1米等高距的精度要求,而平面点多用直接交会法测定,因此用平面区域网加密象片纠正所必须的平面控制点,可以大量减少航外平面控制工作。其方法是:以解析摄影测量中未经平差的若干条航线为基础,组成面积摄影测量网,根据控制点条件和航线间公共点连接条件,进行坐标整体平差,取得加密点的平差坐标。按目前编制的电算程序,试验结果证明,能满足1:1万规范的精度要求。

其区域网的大小,对 23×23 厘米象幅,小比例尺航摄资料,可按16幅图为一个区域,待复制片质量稳定和提高后,还可以扩大面积;对 18×18 厘米象幅,摄影比例尺取1:2万~1:3万之间,可按航线方向不超过4幅图或30个象对,航线数不超过6条为一个区域。

平面点的布设,一般按四角布点,也可以采用周边布点。

象幅为 23×23 厘米的资料,因为象幅增大,软片变形也显著增大,将会直接影响平差坐标精度。航摄比例尺越小,象点与辨认刺点的精度也随之降低,则要影响量测精度。为了保证大象幅、小比例尺的平面加密精度,对软片不均匀变形必须进行改正,同时要求复制片选用变形小的材料,以防止摄影处理中可能产生的不规则变形,此外,应推广布设地面标志,采用立体刺点仪转刺公用点等技术。

为同时解决平面和高程的加密,正研究更为严格的模型法整体平差方法。

(四) 桩点法立体测图

以桩点法立体测图,代替外业平板仪碎部测图,是快速成图的另一特点。

利用 23×23 厘米象幅,按单模型测图,须在每个立体象对的四角(或图廓线附近)测定四个野外高程点。等高线是利用一定数量的桩点来勾绘。

这些桩点的求法有两种,一是在立体测图仪上完成相对定向、

大地定向后，在模型上测读出所需桩点的高程，平面（同时进行系统误差改正）；二是在象片上选刺一定数量的桩点，用立体坐标量测仪量测象点坐标和纵横视差，电算加密各桩点的平面坐标和高程；展绘于图板，参考立体模型，勾绘等高线。

目前，我国许多测绘单位装备有A10、B8S、托普卡B、东德蔡司F、D₂等精密立体测图仪，这些仪器的格网量测精度都能达到 $H/10000$ 的要求，用来进行平坦地区1米等高距测图，是能达到精度要求的。

平坦地区立体测图，要求达到0.3~0.4米的高程精度，这在摄影测量中精度要求是比较高的。但由于小比例尺摄影，一张象片包含的地面较大，进行放大成图时，地球曲率、软片变形、物镜畸变差对高程精度的影响是很明显的，故对每个用于测图的桩点必须进行系统误差改正。

有些精密测图仪器上附有系统误差改正装置，应充分加以利用，有些仪器没有这一装置，目前可采用图解改正的方法：在各测区内选1~2幅图，进行系统误差的动态测定，制作高差表，然后对各桩点进行图解改正，再勾绘等高线。

（五）影象地图

影象地图是近年来发展起来的一项新成图技术。特别是多种正射投影仪器的研制成功，使变中心投影影象为正射投影影象成为现实，人们已经有可能用正射象片制作影象地图。影象地图具有线划图的同等精度，又有比线划图丰富得多的信息内容。能完整地、形象地、直观地表达地形的碎部，便于阅读和分析。它还能最大限度地压缩制图内容，采用简化符号，可以缩短成图周期。并且对今后测图自动化和地图修测工作都将会带来好处。因此，影象地图颇受各用图部门的欢迎。

影象地图的编制分为三个阶段：外业调绘与控制；内业制作影象原图和线划原图；制印影象地图。

1. 外业调绘可以采用“室内判读编图、野外检测补绘”的方法。先要收集已经测制的各种地图资料、专业资料和兵要地志，

进行分析对比；选择测区内有代表性的典型象片，将典型地貌、地物表示在上面；同时摄取典型地物的地面照片，记载其景观特征，编纂成典型样片图集，以此作为基本参考资料，进行室内判读编图按影象地图的表示原则和编辑指示的规定，将判读内容绘在蒙于象片面的透明纸上，重点之处作出标记，待野外检测补绘后着墨整饰。这一工作应由航测外业队完成。

2. 内业制作影象原图和线划原图，是编制影象地图过程中的关键环节。

平坦地区一般使用纠正仪纠正，就能满足精度要求，其方法不一，有利用一张象片一幅图的航摄资料，直接挂网纠正，制作透明影象原图；也有作光学银嵌，制作裱板象片平面图提供照相挂网，制版印刷。不管采用何种方法，目的都是为了获取影象地图的基础——正射象片。起伏地区必须利用正射投影装置进行微分纠正，获取正射象片，进行象纸银嵌、光学银嵌或双象对扫描拼接，制作象片影象原图或透明影象原图，再与线划原图套合。

3. 复制影象地图是将影象原图上经过纠正的丰富信息传递到图面上，并与线划注记套合，快速提供用户使用。

第二节 象控点布设的基本原则和要求

航测外业象片控制点的布设，不论内业采用哪种航测成图方法，有一些布点的基本原则和要求都是一致的。

一、象控点布设的基本原则

1. 在野外选刺象片控制点，不论是平面点、高程点、或平高点，都应该选刺在明显目标点上。所谓明显目标点，就是在航摄象片上的影象位置可以准确辨认的点。不同地区的选点目标，将在本章第七节内详细介绍。

2. 在一般情况下象控点应按图幅布设，以便为航测内业作业创造分幅取用外业成果资料的便利条件。在1:1万航测成图中，当按图幅布设象控点困难时，也应允许按航摄分区为单位布点。

3. 位于不同成图方法的图幅之间的象控点，或位于不同航线、

不同航区分界处的象控点，应分别满足不同成图方法的图幅或不同航线和航区各自测图的要求，否则应分别布点。

4. 当图幅内地形复杂，需采用不同成图方法布点时，一幅图内一般不应超过两种布点方案，每种布点方案所包括的象对范围应相对集中，可能时应尽量照顾以航线为单位布点，以便利于航测内业作业。

5. 象控点的布设，应尽量使内业作业需用的平面点和高程点合一，即布设成平高点，以便于航测内、外业的作业。

6. 位于自由图边处的象控点，除遵照内业成图方法的要求外，还要注意布设在象片上图廓线外的位置上，以保证自由图边的精度和图幅满幅。

二、象控点在象片上位置的基本要求

不论哪种航测成图方法，象控点在 18×18 厘米象片上的位置应满足下列一些共同的基本要求：

1. 象控点距象片边缘不应小于1厘米。这是由于航摄仪镜头的各种光学构象误差在象场的边缘都较大，使影象的清晰度较中心部分降低，投影差使影象变形较中心部分增大，感光材料的伸缩变形也较大，并且航摄仪上的抽气压平装置有可能使航摄胶片边缘的压平处于不保证的状态。因之，为确保象控点的量测精度，必须作出此规定。

综合法成图中，象片上的影象位置只用于确定图上的平面位置，而不用于测定高程。并且由于卷片轴的拉力影响，使象片航向边缘的压平状态优于旁向边缘。所以规定象控点距象片的航向边缘可以放宽为不小于0.5厘米。

2. 象控点距象片上的各类标志不小于1毫米，最好在2~3毫米以上。各类标志对于不同的航摄机有所不同，包括有：压平线、框标标志、圆水准气泡、象片计数器、时表、气压测高计等。此规定也适用于象片上的航摄区代号和象片编号数字。当象控点离上述各类标志太近时，会干扰象对立体观察而影响量测的精度。综合法成图可以不考虑此限制。