

中等专业学校教材

航空摄影测量外业

赵中华 主编

测绘出版社



中等专业学校教材

航空摄影测量外业

赵中华 主编

测绘出版社

内 容 提 要

本书阐述航空摄影测量野外作业的基本理论与方法。主要内容有：航外控制测量；像片判读；像片调绘；像片图测图。本书内容丰富，插图、像片较多，现势性强，注重培养学生实际操作能力，具有较好的教学效果。

图书在版编目 (CIP) 数据

航空摄影测量外业/赵中华主编. -北京：测绘出版社，1994

中专基本教材

ISBN 7-5030-0749-4

I. 航… II. 赵… III. ①航空摄影测量-航测外业②航测外业-航空摄影测量 IV. P231.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 00711 号

航空摄影测量外业

赵中华 主编

*

测绘出版社出版·发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号)

北京大兴星海印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

*

1994 年 11 月第一版·1994 年 11 月第一次印刷

开本：787×1092 1/16·印张：15.75

字数：364 千字·印数：0 001-1 000 册

定价：8.90 元

前 言

航空摄影测量是研究以航摄像片为基础测制各种比例尺地形图成图理论与方法的一门学科。按测图过程分为航空摄影测量外业（简称航测外业或航外）和航空摄影测量内业（简称航测内业或航内）两大部分。

航测外业以其在航摄区域实地进行测量和调查，工作性质流动分散，工作环境复杂多变为其主要特征；航测内业主要是通过各种精密航测仪器在所建立的像对立体模型上进行量测、描绘，具有较好的工作环境，工作性质固定集中。航测外业与航测内业不仅有密不可分的联系，而且具有互不相同的工作内容和工作方式，在统一的成图理论指导下协同完成航测成图任务。

学习航测外业课程既要具有较系统的航测成图的基础理论知识，又要掌握常规地形测量的各种测量方法与技能；根据像片影像识别各种地物、地貌元素的所谓判读技术在航测外业中也占有十分重要的位置。

《航空摄影测量外业》的主要内容包括：

（一）航外控制测量：主要以常规地形测量和大地测量的各种测量方法按规定在实地测出一定数量的像片控制点的三维坐标。

（二）像片判读：根据地面物体在像片上成像的各种规律和识别标志对像片影像进行准确解释。

（三）像片调绘：在像片判读的基础上，按测图要求在像片上用图式符号表示地物和不能用等高线表示的地貌元素。

（四）像片图测图：以航摄像片为基础采用地形测量的方法在实地直接测图。但地物地貌的平面位置可根据影像确定。

随着航测成图方法在工程测量、地籍测量、城市建设测量等国民经济建设各部门中获得更加广泛的应用，航外测量的作用和地位将越来越明显，也一定会在技术、方法和设备各方面得到更大的发展。

鉴于1:1万比例尺测图属我国基本比例尺地形图测图之一，它应用广泛，有成熟的作业方法和成图理论，在各种比例尺地形图测图中具有承上启下的作用，占有十分重要的地位；但目前的生产形势是1:1万地形图测图在全国已基本完成，以城镇地籍测量和工矿企业建设为主的大比例尺地形图测图发展迅速，并逐渐占领测图市场，学生必须具有航测大比例尺测图的生产知识，才能在生产岗位上发挥作用。因此确定本教材仍以1:1万测图为基础内容，除第十章外，各章叙述的具体技术规定和多项控制指标均是对1:1万测图而言，第十章增编了1:500、1:1000、1:2000大比例尺测图部分，较完整地叙述了它们的测图过程和作业特点，力求使之达到应用的程度。另外为适应地图更新，配合室内外综合判调方法的推广应用，像片判读部分在教材内容中也得到理所当然的加强。

这部教材主要是针对中等专业学校航测专业的学生编写的。在教材内容上尽量压缩过时的陈旧的部分，加强适应生产发展的新内容，以求得增加教材的现实性与预见性。

考虑到航空摄影测量外业教材的特点，书中较多地应用了图形、表格、实物像片等表达方式；在文字叙述上也力求概念清楚，定义准确，语言通俗，便于学生阅读和有关读者参考。

本教材由赵中华主编，第六章由赵中华与赵国印合作编写，第十章由王培义编写，其它各章均由赵中华编写。全书共十章，书中图表、像片由王培义、赵中华、李玉潮收集、绘制、整理。王相萍参加了教材稿本的抄写、贴图和整理工作。郑州测绘学校教务处、航测教学部、图书馆及有关领导对教材编写工作给予了热情支持。全国测绘教材委员会摄影测量与遥感专业组约请潘时祥副教授、熊天球高级讲师审阅了书稿，并提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。最后经全国测绘教材委员会审定。

限于编者水平，书中错漏及不当之处一定不少，欢迎读者多提宝贵意见。

编 者

1993 年 10 月

目 录

第一章 航空摄影测量外业的基本概念	(1)
§1-1 概述	(1)
§1-2 航测成图对航摄资料及大地测量资料的要求	(2)
§1-3 航摄像片的基本特征	(10)
§1-4 航测成图方法的选择	(15)
§1-5 像片控制点及其布设的基本要求	(16)
第二章 航外控制测量的布点方案	(20)
§2-1 概述	(20)
§2-2 全野外布点方案	(20)
§2-3 非全野外布点方案	(25)
§2-4 特殊情况的布点方案	(32)
第三章 控制测量技术计划的拟定	(37)
§3-1 资料的收集和分析	(37)
§3-2 小三角点的布设计划	(38)
§3-3 航外像片控制测量技术计划的拟定	(40)
第四章 野外控制点的测定	(48)
§4-1 小三角点的观测、计算	(48)
§4-2 地面标志的布设	(53)
§4-3 像片控制点的选刺	(55)
§4-4 像片控制点的观测和计算	(58)
§4-5 控制测量成果的整理工作	(61)
第五章 综合法测图	(63)
§5-1 概述	(63)
§5-2 固定比例尺像片图测图	(63)
§5-3 单张像片测图	(68)
第六章 像片判读	(75)
§6-1 概述	(75)
§6-2 航摄像片上地面目标影像的判读特征	(76)
§6-3 在像片调绘中进行野外判读的经验	(83)
§6-4 像片判读常用的仪器设备	(84)
第七章 像片调绘的基本知识	(87)
§7-1 概述	(87)
§7-2 航摄像片与地形图的区别	(88)
§7-3 图式符号的运用	(90)

§7-4	像片调绘的综合取舍	(94)
§7-5	像片调绘的准备工作	(97)
§7-6	像片调绘的基本方法	(99)
第八章	各类地形元素的调绘	(102)
§8-1	居民地的调绘	(102)
§8-2	永久性测量控制点与独立地物的调绘	(113)
§8-3	道路的调绘	(122)
§8-4	管线、垣栅的调绘	(131)
§8-5	境界的调绘	(135)
§8-6	水系的调绘	(138)
§8-7	地貌和土质的调绘	(158)
§8-8	植被的调绘	(172)
§8-9	地理名称的调查和注记	(181)
§8-10	补测、清绘、接边	(190)
§8-11	影像地图的调绘与控制测量	(195)
§8-12	室内外综合判调法	(196)
第九章	航外测量工作的实施	(201)
§9-1	航测外业队的管理机构	(201)
§9-2	航测外业队的生产技术工作	(202)
§9-3	航测外业队作业组的工作内容	(207)
§9-4	检查验收工作及上交成果	(208)
第十章	大比例尺航外测量的特点	(212)
§10-1	概述	(212)
§10-2	大比例尺航外控制测量	(213)
§10-3	大比例尺航测像片调绘	(220)
§10-4	1:500、1:1000、1:2000 固定比例尺像片图测图	(231)
复习题		(234)
主要参考文献		(246)

第一章 航空摄影测量外业的基本概念

§ 1-1 概 述

测制地形图有两种方法，一种是平板仪测量，另一种是摄影测量。航空摄影测量是摄影测量中采用最多的一种方式。与平板仪测量比较，采用航空摄影测量测制地形图不仅速度快，成本低，机械化、电子化程度高，作业条件得到很大改善，而且图面精度也比平板仪测量高。随着国家经济建设发展，科学技术水平不断提高，航测成图方法不仅用于测制 1:1 万，1:2.5 万，1:5 万，1:10 万国家基本比例尺地形图，而且逐渐扩展到 1:2000，1:1000，1:500 大比例尺测图范围，成为工程测量，地籍测量测图的重要方法。

平板仪测量即常规地形测量，它是用经纬仪、水准仪、平板仪和其他测量工具在实地直接对地面进行测量获取地形图；而航空摄影测量则主要应用摄影技术，以飞机作为载体，在飞机上对地面进行摄影，利用摄影像片提供的丰富的地面信息在室内进行量测获取地形图。两者之间在原理和方法上都有很大区别。但这并不是说航空摄影测量与平板仪测量之间再无任何联系，恰恰相反，在整个成图过程中，它们之间还有许多共同之处。应该说，航空摄影测量是在常规地形测量基础上发展起来的一门科学技术，没有地形测量的牢固的基础知识，就不可能学习好航空摄影测量。在航空摄影测量中常用到在地形测量中已学过的知识有：

- (1) 坐标和高程系统概念；
- (2) 图幅的分幅编号；
- (3) 图根控制点的连测方法及各项要求；
- (4) 各种地形测图仪器的正确使用；
- (5) 地貌的测绘方法与等高线的基本原理；
- (6) 地物的综合取舍原则及图式符号的运用；
- (7) 地形原图的整饰。

这些内容本课程一般不再重复。但是，在学习本课程时必须十分注意这些问题。

针对不同的地形情况，航空摄影测量有两种作业方法：

(一) 综合法：指用航空摄影测量和平板仪测量相结合测制地形图的方法。

综合法又包括固定比例尺像片图测图，自由比例尺像片图测图和单张像片测图三种方法。但最常用的是固定比例尺像片图测图。

固定比例尺像片图测图：是指用与成图比例尺相等的像片平面图作图底，外业用平板仪测量的方法测绘地貌，并对照实地判读像片影像，在像片上描绘地物的测图方法。很明显，实现固定比例尺像片图测图的关键是获取具有与成图比例尺相等的像片平面图。

目前获取像片平面图的主要方法是：外业根据需要在实地测定一定数量的像片控制

点,内业以光学机械投影方式对具有中心投影性质的航摄像片进行对点纠正,(纠正时应限制投影差),在承影面上晒像。如果一幅图有多张像片,则应根据相邻像片影像重叠部位切割,最后镶嵌成像片平面图。

(二)立体摄影测量法:指航测的主要测图过程是在内业利用航测成图的基本原理,在立体测图仪器上建立立体模型并对模型进行量测实现测图的方法。立测法又包括全能法和微分法两种测图方法。目前主要采用的是在精密立体测图仪上进行测图的全能法。也称之为精密立体测图仪测图,或称为“精测法”。

“精测法”就是利用具有一定重叠度的航摄像片在精密立体测图仪上建立立体模型,依据已知的像片控制点对模型进行绝对定向,即恢复模型在地面坐标中的空间位置,然后在模型上量测地物、地貌,并以正射投影方式,按规定比例尺和符号转绘到成图板上,最终获得地形原图。

由此可见,无论是综合法或立测法,在其成图过程中都必须首先进行航外控制测量,为“纠正”或模型“绝对定向”提供必要的控制点才能进行测图。但为了减少野外测定控制点的工作量,生产中又采用了所谓内业加密控制点的作业方法。这种方法只需要在航外控制测量中测定少量控制点,内业利用光学机械或数字模拟计算等形式建立航线或区域模型,然后以外业控制点为基础对模型进行绝对定向和误差改正,从模型上量测纠正或立体测图所需要的像片控制点的坐标和高程。加密所得的控制点又称为加密点。

从上述情况可以看出,内业纠正或测图所需要的控制点可以有两种方法获得:一是全部由野外测定;另一种是少量由野外测定,多数由内业加密取得。前一种又叫作全野外布点方案,后一种又叫作非全野外布点方案。

很明显,航外控制测量的基本任务是:在实地测定一定数量的并符合规范要求的精度较高的控制点以满足内业加密、纠正或测图的需要,为航测成图提供可靠的基础数据。

由于航外测量控制点是航测成图的基础,因此具有十分重要的作用,不难明白,一旦航外控制点出现错误将会给整个成图过程带来十分严重的影响。因此航外测量人员必须认真负责,严格细致地工作,遵守规范规定,树立质量第一的思想,为内业提供可靠的优质成果,这样才能保证最后成图的质量。

§ 1-2 航测成图对航摄资料及大地测量资料的要求

一、航测成图对航摄资料的要求

航摄资料是指航摄像片以及在航摄过程中所取得的其他数据。如摄影航高,像片重叠度,像片倾角,航线弯曲度,像片比例尺等。在航摄工作完成以后,航摄部门均要提供一份“航摄鉴定表”,以说明这批航摄像片的质量状况并给航测成图提供必要的基础数据。因此航摄鉴定表也是重要的航摄资料,许多航摄数据都可以在表中查得。

航摄资料在航测成图中有不同的作用。航测成图对航摄资料都有一些特定的要求。航摄资料不全或者不符合航测成图的要求就会影响航测成图质量或者给成图作业带来困难。因此在接收航摄资料时都必须按照航空摄影规范的有关规定进行检查,如发现质量问题则

应根据情况采取补救措施。

(一) 航测成图对航摄像片摄影质量的要求

航摄像片是航测成图最基本的资料。航测成图的工作主要是通过航摄像片进行的，航摄像片的质量直接影响到成图的精度和速度。为此有关部门特制定了航空摄影规范作为使用部门接收航摄资料时检查质量的标准。航测成图对航摄像片的影像质量有以下要求：

1. 航摄像片的目视质量应达到：影像清晰、色调一致、反差适中、灰雾小；这样才能在航外控制、调绘和航内加密、测图中准确地进行刺点、判读，获得清晰的立体模型，提高像点量测精度，保证测图质量。航空摄影像片（立体像对）如图 1-1 所示。

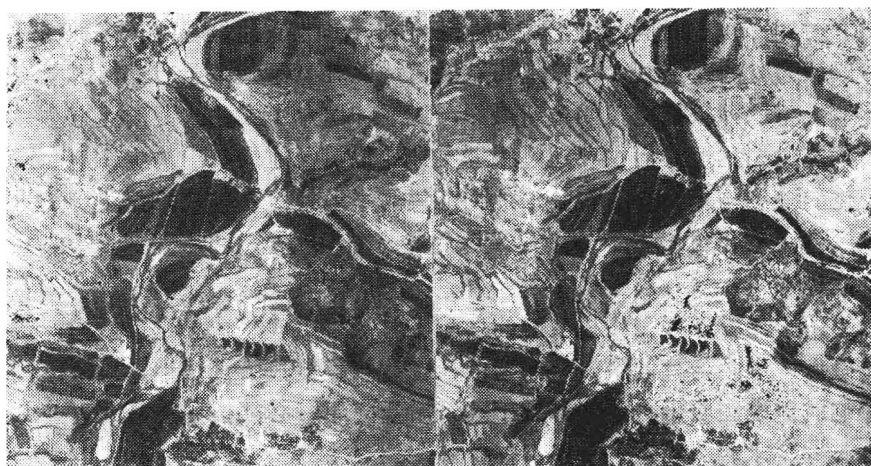


图 1-1

2. 要求航摄像片不应有云影、阴影和雪影的影响。云层在像片上的构像形成云影，雪影是指地面上有暂时性积雪，在航摄像片上所呈现的亮白色影像；阴影是指高出于地面的物体在日光照射下投射到地面上的阴暗部分在航摄像片上的构像。云影、雪影、阴影遮盖了地面的真实面貌，不能用航测方法测图，即使采取其他方法补救也必然费时费工，影响成图精度。因此为避免云影，要求尽量在无云的天空进行摄影；为减少阴影，应在阴影最小的时间进行摄影；为避免雪影，应在无雪时摄影。

3. 航摄像片不应有斑点、擦痕、折伤及药膜损伤等损坏像片影像的现象。重要地物的影像被损坏尤其影响测图精度。

4. 要求摄影标志清晰可辨。摄影标志是指人为设置的附加物件在像片上的影像。一般包括圆水准器、时钟、框标、压平框、像片号等在像片上的影像。这些标志给使用像片提供了方便，有些标志则在成图过程中发挥重要作用。

像片索引图也是一种像片资料。它是把若干幅图的航摄像片按地物地貌影像重叠拼接，经复照缩小所制成的像片图。利用像片索引图可以了解航线连接情况，查找像片，了解测区一般面貌和用作简单的计划图。

(二) 航测成图对航摄像片现势性的要求

航摄像片的现势性是指进入测区作业时，实地情况与摄影时比较发生变化的程度。一

般情况下,实际作业时间与像片摄影时间总存在着一段时间差,在这段时间内,地面情况已经发生了不同程度的变化:原有地物、地貌有的已被破坏,像片上有影像但实地再也找不到它们的踪迹;有的地物虽然存在但却改变了模样;有的地物则是摄影后新建成的,地面上存在但像片上没有影像,称为新增地物;应当说地貌也存在着类似的变化,但一般情况下地貌变化速度很慢,急剧变化的情况较少,一般可不考虑。根据规范规定,测区的地物、地貌都应按实际作业时的情况表示。于是,对于已破坏且不存在的地物应判明情况不再表示或按改变后的情况表示;对于新增地物则应按实地情况补测。因此作业时间与摄影时间相距越远,地面变化越大,则像片判读越困难,补测工作量增大。补测工作不仅难度大,速度慢,而且质量也难以保证。这样的像片被认为现势性差。

像片摄影时间距作业时间越近,对作业越有利,作业质量也越好。这种像片被认为现势性好。一般认为时间差达到3年以上的航摄像片就难以保证作业质量,对于这样的像片应根据具体情况采取补救措施,如重新摄影,或增加作业工天、改变作业方法等。当然像片能不能用或能用的程度如何主要还是根据实地变化情况才能作出决定。地面情况(主要指地物)变化的速度与地物分布有关,地物密集的平坦地区变化快,丘陵地、山地变化慢,人烟稀少地区变化更慢。

(三) 航测成图对飞行质量的要求

航空摄影由于外界条件和飞机性能的影响不可能按照理想情况进行摄影,这样就可能使所摄的航摄像片产生像片倾斜,航线弯曲,像片重叠度过大或过小,航摄比例尺不一致等情况,影响航测成图质量。这些都属于飞行质量问题。必须根据飞行的可能和航测成图的需要提出某些要求。

1. 对像片倾角的要求

像片倾角是指航空摄影时像片平面与水平面之间的夹角。从航摄像片的几何特性中知道,倾斜像片相对于同一摄站的水平像片会产生像点位移和方向偏差,从而影响成图质量;同时像片倾角过大,仪器处理会产生困难,因此要求像片倾角一般不大于 2° ,最大不超过 3° 。

2. 对航摄比例尺的要求

航摄比例尺的选择存在着满足成图精度要求和提高经济效益之间的矛盾:比例尺大则刺点准确,点位量测精度高,也有利于提高航测外业调绘质量;但很显然这时航线数和像片数增多,工作量增大,经济效益降低;反之,经济效益好而测图质量又难以保证。因此在航测外业规范中,在保证成图质量的前提下,综合考虑各种因素的影响,规定了航摄比例尺的范围,供选择航摄比例尺时参考。具体规定见表1-1。

具体选择航摄比例尺应考虑的主要因素分述如下:

(1) 按成图的高程精度要求选择

实践证明,航测成图中平面位置精度一般均高于高程精度,即如果高程精度能满足测图精度要求,则平面精度也能满足测图精度要求。因此在选择航摄比例尺时,大都从满足高程精度的角度去考虑。

根据立体量测仪测图的基本公式:

表 1-1

成图比例尺	摄影比例尺	像幅 (cm)
1:1 万	1:1 万~1:2.5 万	18×18
	1:2.5 万~1:3.5 万	23×23
1:5000	1:8000~1:1.2 万	18×18
	1:1.5 万~1:2 万	23×23

$$\Delta h = \frac{H}{b} \cdot \Delta l' \quad (1-1)$$

可得量测误差对高差的影响为:

$$m_{\Delta h} = \frac{H}{b} m_{\Delta P} = \frac{m \cdot f}{b} \cdot m_{\Delta P} \quad (1-2)$$

式中: m 为航摄比例尺分母;

$m_{\Delta h}$ 为高程误差;

$m_{\Delta P}$ 为左右视差的量测误差;

b 为像片基线;

f 为摄影机主距。

由上述公式可知: 当左右视差的量测精度为一定值时, 高程误差的大小与航摄比例尺分母成正比, 即航摄比例尺越大, 高程误差越小。

此外, 上述公式还表明, 航摄比例尺的选择与测图仪器的量测精度 $m_{\Delta P}$ 有关, 量测精度高的仪器, 在满足测图精度的条件下可以选择较小的航摄比例尺。

如精密立体测图仪测图, 测图比例尺为 1:1 万, 对于一级仪器, 航摄比例尺的选择范围是: 1:35 000~1:40 000; 对于二级仪器航摄比例尺的选择范围是: 1:25 000~1:30 000。

(2) 根据不同的成图方法选择

航测成图方法一般可分为综合法和立测法。综合法是在实地测定高程, 提高了测图的高程精度, 因此可以选择较小的航摄比例尺。如 1:1 万测图航摄比例尺的选择范围为: 1:18 000~1:40 000。

(3) 根据仪器使用范围限制航摄比例尺

航摄比例尺的选择必须受到仪器最大像图放大倍率的限制, 超过了限制范围则无法成图。如像片图测图, 成图比例尺为 1:1 万, 采用纠正仪 HJ-24 对像片进行纠正, 其最大像图放大倍率为 3 倍, 则相应的航摄比例尺不能小于 1:30 000。其他测图仪器也必须考虑它们相应的最大像图放大倍率。

(4) 根据图面综合取舍的需要选择

像片比例尺或模型比例尺过小, 地物细部轮廓的表现则不充分, 必然影响到图面综合

取舍的质量。对于航测外业调绘，由于影像过份地小于相应的符号尺寸，更给像片清绘带来困难，甚至无法清绘。上述情况虽然可以采取一定的保证措施，例如：航测外业采用放大像片调绘，内业采用高放大率光学观察或投影系统等办法；但由于像片影像分辨力有限，仪器观察或投影系统结构的限制，仍然会影响到图面综合取舍的精度。实践证明，为保证 1:5000 和 1:1 万比例尺图面上地物、地貌的综合取舍精度，不同类型仪器作业的放大倍数 K 值应作如下限制(见表 1-2)：

表 1-2

微分法		1:5000	$K \leq 2.5$
		1:10 000	$K \leq 1.5$
全 能 法	一般仪器	1:5000	$K \leq 3$
		1:10 000	$K \leq 2.5$
	精密仪器	1:5000	$K \leq 4$
		1:10 000	$K \leq 3.5$
综 合 法 (像片纠正)		1:5000	$K \leq 4$
		1:10 000	$K \leq 3.5$

根据上述限制条件即可确定相应的航摄比例尺，如：精密立体测图仪， $K \leq 3.5$ ，则说明航摄比例尺不应小于 1:35 000。

(5) 按像片判读的要求选择

像片判读就是指根据像片影像特征去判释相应地物的作业过程。像片判读是像片调绘的基础。像片判读既与航摄像片的分辨力和清晰度有关，又与人眼的分辨力有关。

航摄像片的分辨力是指像片对地面微小物体的构像能力；清晰度是指像片影像边缘轮廓的清晰程度。显然航摄像片的分辨力和清晰度是像片判读的重要条件，它必须与人眼的分辨力，即人眼对微小物体的分辨能力相适应。

实验证明人眼在明视距离内对物体构像的分辨力为 0.08~0.10mm，或为 5~6 线对/mm，因此航摄像片的分辨力应不低于上述要求。但航摄像片是由航摄底片转印而来，在转印过程中影像的分辨力将要降低 40%~50%，因此要使航摄像片达到最佳分辨效果，航摄原始底片影像的分辨力应不低于 8~10 线对/mm。在 1:1 万比例尺成图时，要求对地面最小物体的构像能力应不低于 2~3m，因此提供判读用的航摄像片比例尺应不小于：1:20 000~1:30 000。

应当指出：一般航摄像片的分辨力均比人眼的分辨力高，因此如果用未经放大的航摄像片进行判读，可配 4~5 倍的立体镜或立体判读仪，这样就能充分发挥航摄像片的影像潜力，判别出地面微小地物。显然将航摄底片放大 2~3 倍晒印成放大像片，同样可以达到较好的观察效果。

3. 航高差的限制

航空摄影时由于飞机受外界条件影响，不可能保持同一高度水平飞行，每一张像片摄影航高都不一样，航高之差称为航高差。航高的改变意味着航摄比例尺在变化。实验证

明，当相邻像片摄影比例尺相差较大时就会影响立体观察和量测精度；同时测图仪器对航高差的安置范围也有一定限制；因此规范要求：一条航线最大和最小航高之差不超过50m；分区实际航高不应超出预定航高的5%。实际航高是指摄影时实际达到的飞行高度；预定航高是指摄影前计划飞行的高度，它是根据所选择的航摄比例尺所决定的。

4. 像片重叠度的要求

在航测成图中必须用航摄像片建立立体模型，在模型上进行量测或测图，为此要求相邻像片间有一定重叠范围。所谓重叠就是在相邻摄站摄影时，同一地面分别在相邻像片上构像，相邻像片间具有共同影像的现象。如图 1-2 所示。

从图上可以看出，摄影基线的长度决定着像片重叠度的大小，若控制了摄影基线的长度，相邻像片就能得到规定的像片重叠；同样道理，若控制相邻航线之间的间距就能得到相邻航线间的像片重叠。同一航线相邻像片之间的重叠称为航向重叠，相邻两条航线之间的重叠称为旁向重叠。

在航测成图中为进行立体模型之间的连接，还要求同一航线隔号像片之间有一定的重叠度，这样地面上某些部分就要同时在三张像片上构像，这就是所谓三片重叠；如果考虑相邻航线间的重叠情况，地面上某些部分就有可能在相邻六张像片上构像，称为六片重叠。控制点应选在六片重叠部分则将得到多次模型量测而提高精度。

像片重叠的大小以重叠度表示。重叠部分长度与像幅长度之比的百分数称为重叠度。设 q_h 、 q_l 分别表示航向和旁向重叠部分的像片长度， L 表示像幅长度， p_h 、 p_l 分别表示航向和旁向重叠度，则：

$$p_h = \frac{q_h}{L} \times 100\% ; \quad p_l = \frac{q_l}{L} \times 100\%$$

根据航测成图需要，一般要求航向重叠度为 65%，最小不小于 53%，旁向重叠度为 30%，最小不小于 15%。规范规定的最小重叠度是按个别情况考虑的，在这种情况下航向

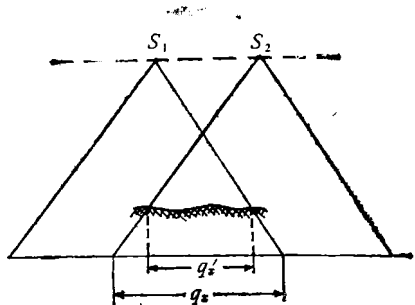


图 1-3

和旁向要在规定的重叠范围选出控制点已是十分困难，因此仅满足最小重叠度的像对只能是极少数，并且不应有绝对漏洞。

应该注意的是，地面起伏会引起重叠度的变化。如图 1-3 所示：以地形低的地方为准则重叠度大，以地形高的地方为准则重叠度小，因此检查重叠度是否满足要求时应以重叠部分最高地形为准，否则就可能产生航摄漏洞。

航摄漏洞：是指航向或旁向像片重叠度小于最

小重叠度的要求，不能保证在像片规定的范围内进行立体测图的部分。如果属于航摄漏洞的部分虽不能进行立体测图，但在单张像片应用范围内还有地面影像，可采用单张像片测图进行补救的，称为航摄相对漏洞，否则称为绝对漏洞。绝对漏洞只能采用白纸测图进行补救。

5. 航线弯曲度的限制

航空摄影时，不能保证飞机始终在一条直线上飞行，航线上各摄影中心不在一直线上，如图 1-4 所示。飞机飞行的迹线为一条曲线，这就叫航线弯曲。

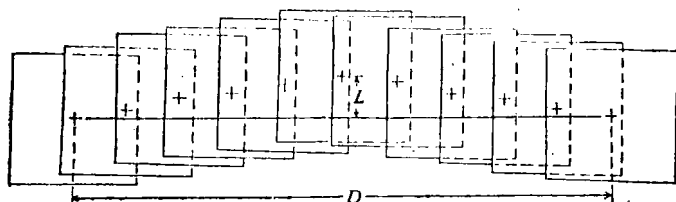


图 1-4

将航线上首末摄影中心用直线连接，设距离为 D ，以离开这条连线距离最大的摄影中心为准，相应的距离为 L ，则航线弯曲度为

$$e = \frac{L}{D} \times 100\%$$

航线弯曲度反映了航线弯曲的程度，航线弯曲度过大，说明飞行质量差，航向和旁向重叠都会受到一定影响，给作业带来一定困难。因此规范规定：航线弯曲度一般不大于 3%。

6. 旋偏角的限制

相邻两像主点的连线称为像片基线。像片基线与航向框标线之间的夹角称为航摄像片的旋偏角。旋偏角过大，像片偏转，会使航向和旁向重叠不正常；同一像对或相邻航线间两端重叠度相差较大，给相对定向和模型连接带来困难并影响精度。因此规范规定航摄像片的旋偏角一般不大于 6° ，最大不超过 8° （不得连续三片）；航高小于 1200m 时，一般不大于 7° ，最大不大于 10° （不得连续三片）。

二、航测成图对大地测量资料的要求

大地测量资料是指全国性各级大地点和地区性各级大地点的平面、高程成果，同时也包括相应的点之记，布网图，路线图，成果的计算说明和技术总结等。航测成图对大地测量资料的要求主要是指对大地成果的精度和对大地点的分布密度的要求。同时也应指出，上述属于大地测量资料范围的其他附件在分析和使用大地成果时也有十分重要的作用。

（一）对大地点成果的精度要求

规范规定，国家大地点（包括国家等级的三角点、导线点、水准点）是 1:1 万测图的平面和高程起算依据。也就是说航测成图要求国家大地点为航外控制测量提供起算数据，

达到起算数据的精度。所谓起算数据精度是指起算数据本身的误差应该对航外控制点计算结果影响最小，为此要求起算数据的中误差值一般不大于航外控制点所规定的中误差的 $1/4\sim 1/5$ ，最大不超过 $1/2$ （主要是指小三角点）。

目前我国国家三角锁网、精密导线网，在最不利的情况下，相对点位中误差最低不超过 $\pm 0.2\text{m}$ ；各等级水准路线中最弱点相对于高一级水准高差的全中误差最大不超过 $\pm 45\text{mm}$ ，按航测外业规范规定，航外控制点的平面位置中误差不超过图上 0.1mm ，对应于 $1:1$ 万比例尺的实际长度为 1m ；航外控制点的高程中误差在平地不超过 $\pm 0.15\text{m}$ ，丘陵地不超过 $\pm 0.25\text{m}$ ，山地、高山地不超过 $\pm 0.5\text{m}$ ，将以上数值按规定的原则比较，不难知道国家等级的三角点、导线点、水准点均能达到起算数据的精度，满足 $1:1$ 万成图要求。但对于地区性的大地点，要仔细查明其施测年代、作业依据、坐标及高程系统、成果精度，慎重使用。

（二）对大地点分布密度的要求

航测成图不仅要求大地点有较高的精度，而且要求按一定密度布设；大地点如果没有足够的密度，不仅给航外控制测量带来困难，增加工作量，而且还会影响精度。一个测区如果大地点稀少，必然会感到施测方案难以确定；加密小三角点工作量增大；用测角交会测定控制点时，交会边长增大；发展次数增多，在一定程度上也影响控制点精度。为此规范规定：

1. 三角点一般应满足每 50km^2 面积内不少于一点。若不能满足上述要求，且无法按规范进行控制点测量时，应在已有三角点的基础上布设小三角点，作为测图的基本控制点。

三角点的分布密度要求与测图比例尺有关，因为测图比例尺不同，精度要求也不一样。如 $1:5000$ 测图要求每 20km^2 面积内不少于一点， $1:2.5$ 万， $1:5$ 万则又有不同要求。

$1:1$ 万测图主要以国家三、四等三角点为基本控制点，我国的三等三角点平均边长为 8km ，四等三角点平均边长为 4km ，每个三角点控制的范围大约是平均边长的平方。因此我国三、四等三角点的密度完全可以满足 $1:1$ 万测图的需要。但实际测图时仍有不少地区三角点密度不能满足测图需要；这是因为有些地区没有四等三角网，三角点的破坏也十分严重，三角点的分布不均匀，当出现这些情况时则需要加测小三角点进行补救。

2. 四等以上水准路线间距，在平地不超过 20km ，丘陵地、山地、高山地可根据情况适当放宽。

航外高程控制测量一般在平地采用测图水准，丘陵地、山地、高山地采用高程导线或三角高程导线；测图水准允许的导线全长为 15km ，高程导线全长规定不超过 12km ，三角高程导线全长丘陵地规定为 15km ，山地、高山地规定为 20km 。由此可见，规范规定的四等以上水准路线间距为 20km 的分布密度一般尚不能满足航外控制点高程连测的需要。在实际生产作业时，平地、丘陵地通常需要加密等外水准，等外水准附和路线全长规定为 30km ，山地、高山地又常常利用三角点高程，因此规范规定的水准路线分布密度基本上能保证测图需要。个别地区如果连测高程仍有困难，则可在三等水准的基础上加密四等

水准进行补救。

§ 1-3 航摄像片的基本特性

从航空摄影测量的基本知识中知道,航摄像片是地面的中心投影。只有当地面平坦像片水平时,像片上的构像才能与相应地面保持几何相似。但实际上航空摄影时,由于客观条件限制,像片不可能绝对水平,地面也不可能都是那么平坦;摄影过程中每张像片的摄影航高也不相等,以及其他飞行质量问题。因此航摄像片的影像与相应地面的几何关系就变得十分复杂。同时航摄像片的影像质量,像对的立体观察对像片判读也具有相当重要的作用。所以讨论航摄像片的这些特性是像片判读的基本内容。

一、航摄像片的中心投影特性

(一) 地面上的点、线在像片上的构像规律

地面上的点在像片上的构像规律,主要是指由于摄影比例尺小,地面上某些形体较小的地物,如:三角点、水井、小土堆、窑、小坑、道路交叉点、小土地庙、独立石等在像片上的构像规律。地面上的线在像片上的构像规律,是指地面上的线状地物,如:地埂、道路(包括铁路、公路、大车路、小路)、小溪、人工沟渠、房屋的轮廓线、山脊线、合水线、围墙,以及突出于地面的细小地物,如:烟囱、水塔、电线杆、无线电杆等在像片上的构像规律。地面上的线在像片上的构像规律,包括地面上两条相交直线;一组与摄影方向线平行、斜交、垂直的直线;一组与像片面或地面垂直的直线在像片上的构像规律。

这部分内容在航测内业教材中已有详细介绍,不再重复。掌握这些规律对于理解后面将要讲到的地面目标影像的判读特征,掌握判读方法,提高判读水平都有重要意义。

(二) 像片倾斜引起的像点位移

在像片判读中对像片倾斜引起的像点位移规律应有所认识,这对理解和处理像片判读中的某些问题有一定作用。

像片倾斜产生的像点位移可按等比线分为两部分:包含像主点的部分,地面点在像片上的构像产生向着等角点方向的位移;包含像底点的部分产生背向等角点方向的位移。在

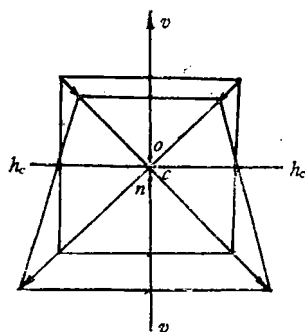


图 1-5

主纵线上产生的移位最大,在等比线上则不会产生位移;由于像片倾斜所产生的像点位移位于以等角点为中心的辐射线上,且离等角点越远移位越大,因此像片边缘的像点产生的移位较大。如图 1-5 所示。

根据上述规律,在求算航摄比例尺时应注意选取通过像主点(用以代替等角点)且互相垂直对称的两条线段进行量测,以抵消像片倾斜误差的影响。应当指出,由于航摄像片倾角最大不超过 3° ,由此引起的像点移位很小,尤其是对于局部的地物图形所产生的相对位移更小,不会对像片判读产生明显的影响,因此一般可不考虑。