

高等学校试用教材

航测与航测仪器学

刘葆梁 编著



高等学校试用教材

航测与航测仪器学

刘葆梁 编著

测绘出版社

内 容 简 介

为主动地掌握航测仪器设计要领,本书系统地讲解了必要的摄影测量与立体摄影测量原理,航测生产作业对仪器的要求。然后分章讲述象片纠正仪器,立体观测及象点测量的仪器,模拟型立体测图仪,变换光线束测图原理及其仪器,地形立体量测仪和视差测图仪。对有发展前景的解析测图仪,正射投影仪也作了相应的介绍。本书还扼要地说明了上述仪器的操作技术和仪器检验的原则要求。目的是使读者对航测仪器原理有进一步的理解。

本书为光学测绘仪器专业的教材,并可供航空摄影测量专业师生,以及从事航测仪器的研究和设计制造人员参考。

航测与航测仪器学

刘葆梁 编著

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 14¹/₂·插页 1·字数 377 千字

1983 年 6 月第一版·1983 年 6 月第一次印刷

印数 1—3,200 册·定价 1.80 元

统一书号: 15039·新 287

前 言

地图是发展国民经济、国防建设必不可少的重要资料。为适应我国现代化建设的需要,须采用先进的技术和有效的方法及时测绘出高精度的地形图。航空摄影测量就是这样一种现代化的、高效率的测图方法,而航测仪器是其不可缺少的工具。纵观航空摄影测量的发展史,可以发现,其中包含着航测仪器的形成和发展过程。航测生产上的要求,成为仪器研制和发展的方向。一旦新颖仪器的出现,就会促进航测生产发生深刻变化,重新调整生产组织,大大地提高测图的精度和效率,同时又孕育着发展航测仪器的新趋向。可见航测仪器既建立在航测成图理论的基础上,又必须密切地与其生产实践相联系,相辅相成,互相促进。当然,也不免受到当时技术水平的限制。

现代的航测仪器大多是光学、机械相结合的精密仪器。近一、二十年来,在某些仪器中运用电子技术,装备电子计算机、微处理机等器件,向着自动化、数字化方向发展。最明显的例证是,随着电子计算技术的诞生,解析测图仪、正射投影系统迅速发展。使航测仪器除光学、机械外,包含有电子技术的新内容。

由于航测生产实践的各个阶段有不同要求,解决问题的方法不同,致使航测仪器种类繁多,性能不一,要详细讲述和研究所有仪器是困难的,也是不必要的。可是,要设计和制造符合生产要求的航测仪器,必须掌握航测成图的基本理论,熟悉航测生产实践,而且采用当前先进的技术成果。所以,在航测理论的讲述中,引导出仪器的结构要求。而在仪器的设计中,又必须密切联系航测理论和其生产实践。我们认为只有这样,才能较深刻的理解航测仪器的要领。因此本书包括航测理论和航测仪器两方面内容,故命名为“航测与航测仪器学”。

本着从仪器的设计角度出发,以当前国内较普遍采用的仪器

和具有发展前途的仪器为主,讨论典型仪器的总体设计和零部件的结构设计。全书共分十章:概论中讲述了航测成图的全过程,和其对仪器的要求。第二章分析了航摄象片的重要特性。第四章阐述航测立体测图的基本理论。第五章,从人眼的生理性能、光学性能开始讲解立体观测。其余各章分别结合航测原理讲述各种航测仪器。其中立体测图仪是航测中的主要仪器,品种繁多,我们结合仪器结构,就其共性、个性进行讲解。第九、十章分别讲述了解析测图仪和正射投影仪。全书中,部分用小号字排印的材料,可在讲授中酌情精简,留供有兴趣的同志自行阅读。

本书是在以前教学讲义的基础上,根据最近教学大纲的要求,加以修改,并补充了部分有关的国内外新资料。拟作光学测绘仪器制造专业的“航测与航测仪器学”教材,编者希望本书能对从事航测仪器研制的工程技术人员有参考作用。由于水平所限,书中一定有不少缺点和错误。恳请读者不吝指出。

吴业民同志曾为本书编写§3-7, §3-8, §5-3, §6-2(三), §6-7等节。全书插图由王士虎同志精心绘制。本书所附刊的国产航测仪器照片,系江南光学仪器厂,无锡测绘仪器厂和河北测绘仪器厂,上海光学机械厂等单位所提供。在本书的编写过程中,承崔炳光同志审读手稿,有些意见已反映在原稿中。武汉地震研究所航测与遥感研究室主任张海根同志,武汉测绘学院航测系副主任黄世德同志分别担任书稿的初审和复审。上述同志都提出了许多宝贵意见,使本书避免了不少的错误和缺点,在此一并表示衷心感谢。

编著 刘葆梁

1982年9月1日于武汉

目 录

概 述	(1)
一、航空摄影测量及其作业过程简介	(1)
二、提高航测生产率的几个问题	(9)
第一章 航空摄影机	(11)
§1-1 航空摄影机的结构及其功能	(11)
§1-2 航空摄影机的检测	(20)
第二章 航摄像片的几何特性	(30)
§2-1 航摄像片是地面的中心投影	(30)
§2-2 航摄像片象点的坐标关系式	(37)
§2-3 航摄像片倾斜角的影响	(40)
§2-4 因地形起伏所引起的象点位移 δ_h	(54)
第三章 象片的纠正原理及纠正仪	(58)
§3-1 纠正原理	(58)
§3-2 纠正仪的结构系统	(72)
§3-3 光距控制器	(77)
§3-4 交线控制器	(85)
§3-5 SEG- I 型纠正仪	(89)
§3-6 HJ-24 型纠正仪	(95)
§3-7 纠正仪的检校	(111)
§3-8 象片纠正作业	(114)
第四章 立体测图原理	(121)
§4-1 立体象对与理想立体象对	(121)
§4-2 航摄像片的方位元素	(126)
§4-3 坐标的变换	(133)
§4-4 立体象对的相对定向和大地定向元素	(141)

§4-5	相对定向元素的确定	(150)
§4-6	确定模型点的坐标和大地定向	(160)
§4-7	空中三角测量	(166)
§4-8	直接交会与间接交会	(168)
第五章	立体观测及立体坐标量测仪	(174)
§5-1	立体观测及人工立体效应	(174)
§5-2	立体模型与立体浮标	(183)
§5-3	立体坐标量测仪	(188)
§5-4	几种精密立体坐标量测仪	(200)
§5-5	立体坐标量测仪的检测	(214)
第六章	模拟型立体测图仪	(224)
§6-1	模拟型立体测图仪的分类	(225)
§6-2	光学解法仪器	(226)
一、	多倍投影测图仪	(227)
二、	精密立体测图仪	(233)
三、	HTT 型投影测图仪	(247)
四、	双象投影测图仪 DP	(249)
§6-3	光学—机械解法仪器	(251)
§6-4	机械解法仪器	(256)
一、	机械解法仪器的原则方案	(257)
二、	模拟摄影测量几何关系的结构设计	(259)
1.	万向转节与投影导杆	(259)
2.	基线架	(263)
3.	投影镜箱	(265)
4.	光学观测系统	(282)
5.	大地定向和定向元素的选择	(293)
6.	投影镜箱的旋转中心 K 与投影中心 S 不重合的问题	(297)
§6-5	几种常见的机械解法仪器	(300)
一、	HCT-2 立体测图仪	(300)

二、Stereometrograph 立体测图仪·····	(303)
三、精密立体测图仪 Autograph A-10·····	(305)
§6-6 平面型立体测图仪·····	(310)
一、用于地面摄影测量的 1318 自动测图仪·····	(310)
二、托普卡 (Topocart) 结构原理·····	(318)
§6-7 立体测图仪的检校·····	(323)
一、机械结构的检校·····	(323)
二、光学系统的检校·····	(327)
第七章 变换光线束测图理论及其仪器·····	(330)
§7-1 概 述·····	(330)
§7-2 按第二类型纠正原理测图·····	(331)
§7-3 按水平象片作变换光束测图的立体测图仪 (CIIP) ·····	(337)
§7-4 利用主距改正原理直接建立标准式变换模型的 HCT-1 型立体测图仪·····	(345)
第八章 地形立体量测仪及视差测图仪·····	(351)
§8-1 分工法测图原理及其过程·····	(351)
§8-2 地形立体量测仪·····	(352)
一、地形立体量测仪的几何关系·····	(352)
二、立体量测仪的公式推导·····	(356)
三、立体量测仪的解算装置·····	(362)
四、立体量测仪 CTД-1 的结构 ·····	(369)
五、立体量测仪的检验·····	(372)
六、在立体量测仪上的作业·····	(375)
§8-3 X-2 视差测图仪·····	(376)
一、总体布置·····	(376)
二、高程改正机构·····	(378)
三、平面改正机构·····	(382)
第九章 解析测图仪·····	(388)

§9-1 概 述	(388)
§9-2 解析测图仪的组成部件	(389)
一、精密立体坐标量测仪	(391)
二、电子计算机	(391)
三、绘图桌	(394)
四、模-数、数-模变换装置	(365)
五、伺服系统	(400)
六、接口系统	(402)
§9-3 解析测图仪的软件	(404)
§9-4 解析测图仪的分类	(415)
§9-5 几种解析测图仪的简介	(417)
一、西德 OPTON 厂的 Planicomp C-100	(417)
二、法国马特拉 (MATRA) 公司的解析测图仪 Traster-77	(423)
三、意大利 OMI 公司的解析测图仪 APC-4	(427)
四、瑞士克恩 (Kern) 厂的解析测图仪 DSRI	(430)
第十章 正射投影仪	(433)
§10-1 概 述	(433)
§10-2 中心投影式正射投影仪	(434)
§10-3 函数投影式正射投影仪	(436)
§10-4 地面坡度对纠正影象的影响及其消除的措施	(440)
§10-5 OR-1 及 Z-2 型正射投影仪	(445)
主要参考文献	(452)

概 述

一、航空摄影测量及其作业过程简介

航空摄影测量(简称航测),是以空中摄影获取的象片为基础,对航摄像片进行量测,并将其变换为地形图。它是当前各种测制地形图方法中最现代化,生产效率较高的一种测制地形图方法。目前,我国大面积测图均采用这一方法。

从几何观点看,航摄像片是地表面的中心投影,即地面的透视象。很早以前,人们就提出过将地面的透视象变换为地形图设想。但是,由于当时无法获得精确的透视象,又缺乏实现这一变换的手段——精密光学-机械仪器,因此这一设想无法实现。直到本世纪初,光学、摄影技术取得了很大的进展,人们才有可能取得精确的地面透视象。航空技术的发展,人们便利用飞机对地面进行航空摄影。在短时间内可摄取广大地区的航摄像片。同时航测的理论也不断地完善,并据此设计出了各种航测仪器,用以将航摄像片变换为地形图。现今,航空摄影测量方法已广泛地应用于世界各国的测图实践中。

航空摄影测量之所以能得到广泛的应用,主要有以下原因。

1. 我们知道,野外实地测量是在地面上逐点测量,所测的点数是有限的,而且在选择地形点上又带有人主观因素。航空摄影测量,利用飞机摄取地面象片十分迅速。象片客观、详细地记录了地面形态的现状,以此作为测量的基础,在测量的客观性、精密性和速度等方面都优于实地测量,而且航摄像片可作为文件资料长期保存,供日后检查、研究该地区自然景观等其它方面的应用。

2. 航空摄影测量仅有少量联测和调绘工作需在野外进行, 而把大量的测图工作转移至室内, 从而大大地改善了作业条件, 减轻了生产人员的劳动强度, 在一定程度上解除了气候条件的限制。

3. 航空摄影测量便于采用先进的科学技术装备, 为实现测图机械化、自动化、数字化创造了有利条件。

五十年代以来, 由于电子计算机在航测的应用日益广泛, 形成了所谓“解析摄影测量”, 使航测科技得到更完善的发展。

犹如工具在社会发展中的作用一样, 航测技术所以能得到迅速发展和广泛应用, 是由于研制了一系列精密的航测仪器。航测生产实践的需要, 促进了航测理论和仪器的发展, 每当出现一种先进的航测仪器, 必将把航测生产推向一个新的水平。航测生产的新发展又会促使航测理论的发展和仪器的改革, 它们相辅相成, 共同促进。

航测仪器是以航测理论为依据, 同时又是为航测生产服务的。所以本课程要用一定时间讲授航空摄影测量原理及其实践, 作为学习航测仪器学的基础。

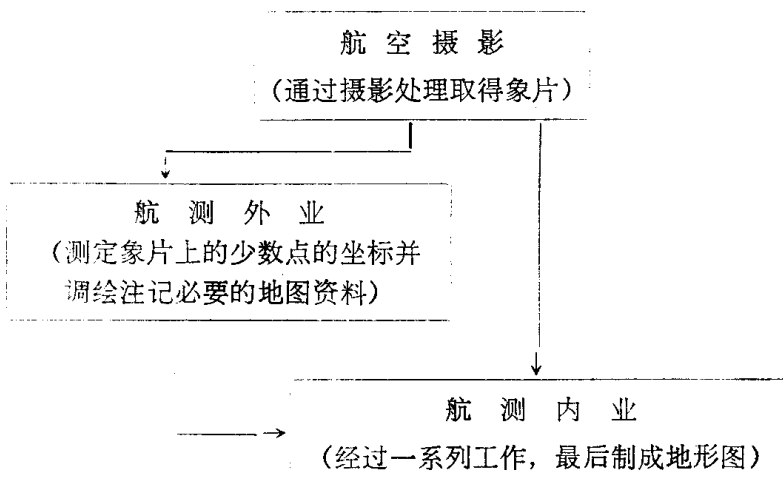
地形图是地表面的正射投影, 而象片却是地表面的中心投影, 所以, 摄影测量的任务就是要把地表面的中心投影变换成它的正射投影。因测图的任务、地形条件的不同, 变换的方式也有多种, 随之形成了以不同的航测理论为基础具有不同功能的各种航测仪器。

整个航测作业可以分为取得地面象片的航空摄影工作和将其变换为地形图的摄影测量工作两大部分。其具体的作业过程如下框图所示。

现把各过程的工作, 简述于后。

(一) 航空摄影

在飞机的航行中, 用装在飞机上的航空摄影机, 向地面进行摄影, 以取得航摄像片。一张象片可覆盖若干平方公里的地面面



积, 但与所摄区域面积相比, 仍然是很小的。所以一个摄区必须摄影许多象片。为了便于以后的测图工作, 航空摄影必需有计划、有规则地进行, 以最少数量的象片, 完整无缺漏地摄得全地区。航空摄影的质量对以后的工作影响极大, 为此, 应有精密的航空摄影机, 以及一系列附属的导航仪器仪表保证之。

航空摄影过程中, 要求飞机按直线 (称为航线) 飞行。每隔一定时间曝光一次, 摄得一张象片, 相邻象片之间均应保持一定程度的重复摄影, 一般航向重复摄影的部分 P 占整张象片面积的 60%,

即: $\frac{P}{L} = p\%$, $p\%$ 约为 60% (见图 0-1)。

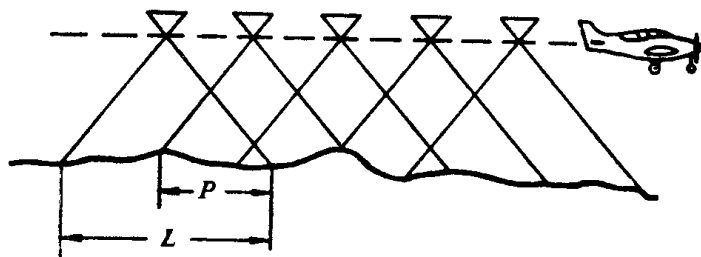


图 0-1

这样，由一张张重复摄影衔接起来的象片，完成一长条带状的地表面摄影，称为航带，也称航线。然后，飞机再自摄区的边缘起，平行于前一条航线，作第二条航线摄影，二条航线相隔的距离应使航带间保持 30% 左右重叠度。第三条、第四条航线的摄影均如此类推。最后完成全区域的摄影(见图 0-2)。

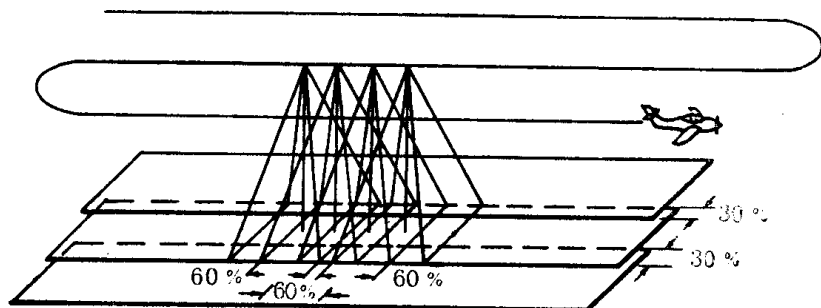


图 0-2

这种自空中两个不同位置向地面摄得的两张象片，其中有 60% 左右面积的影象是相同的，这样的两张象片组成一个测量单元，称为立体象对(见图 0-3)。

在摄影过程中要求飞机的飞行速度 v 保持不变，这样可通过二次曝光间的时间间隔，来控制两张象片间的航向重叠度 $p\%$ ，或者说，控制两相邻摄站 S_1 、 S_2 间的距离。立体象对的两摄站 S_1 、 S_2 之间的距离，称摄影基线。用 B 表示，则

$$B = S_1 S_2 = l \cdot \frac{H}{f} (1 - p\%)$$

上式中 l 为象片象幅的宽度。 H 为摄影航高，它是飞机对地表面的相对高度； f 为摄影机主距；曝光时间间隔 t 为：

$$t = \frac{B}{v} = \frac{L(1 - p\%)}{v}$$

而象片比例尺为：

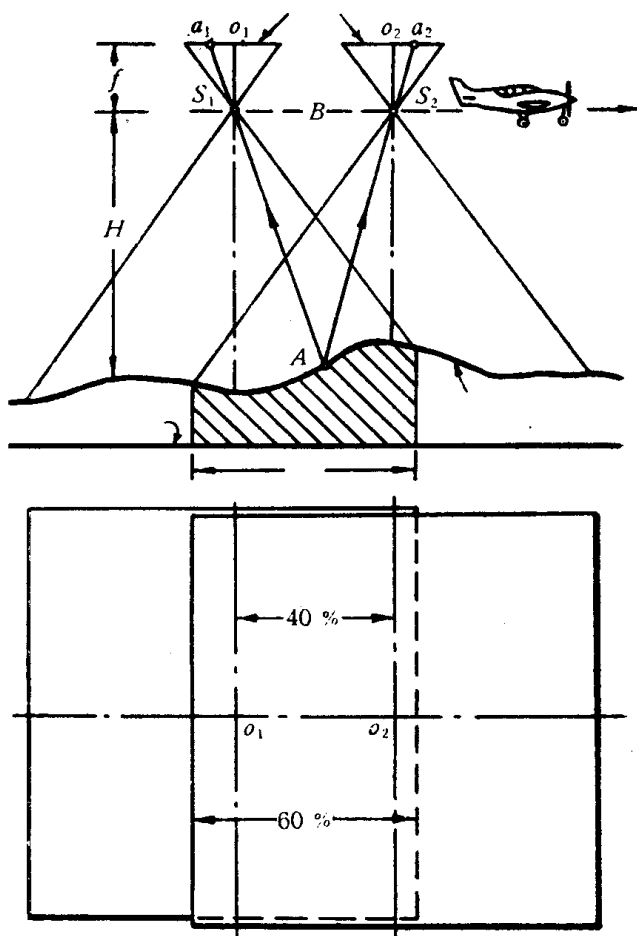


图 0-3

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L} = \frac{f}{H}$$

同理，两条航线间的距离 D 为：

$$D = \frac{H(1-q\%)l}{f} = L(1-q\%)$$

$q\%$ 是航线间的旁向重叠度，如上所述，约 30%。象片间要保持一定的航向和旁向重叠的作用是：(1)为了确证象片间是衔接的；(2)满足某些测图的要求；(3)可利用象片中央影象质量较

好的部分。这样，一张象片的有效摄影面积 $s = B \cdot D$ 。假若摄影地区的面积是 S ，可由下式估算出应该摄影的象片数 N 。

$$N = \frac{S}{s} = \frac{S}{B \times D} = \frac{S}{L^2(1-p\%)(1-q\%)}$$

$$= \frac{S}{l^2(1-p\%)(1-q\%)} \cdot \left(\frac{1}{m}\right)^2$$

由上式可看出：摄影象片数 N 与摄影比例尺分母 m 平方成反比，而象片数对以后的摄影测量工作量密切相关。摄影比例尺 $1/m$ 小些，可使象片数 N 少些，可是摄影比例尺 $1/m$ 是个影响测图精度的因素，为了保证一定的精度，摄影比例尺 $1/m$ 又不允许过小。所以选择摄影比例尺要综合考虑测图精度要求、技术条件和经济效果等各种因素。

航空摄影的质量，主要从以下两个方面来评定：

1. 象片的影象质量 影象质量主要反映在其清晰程度和几何位置是否正确。这二者是相互联系的。要有最佳的影象质量，才能最大限度地发掘航摄像片的量测性能和判读性能。

2. 航空摄影质量 这是指摄影中航摄像片的位置是否符合要求。希望摄影时象片尽可能地水平，象片与象片之间保持一定的重叠度。

摄影质量的好坏关系到以后测图工作的难易。低劣的质量不仅增加以后的工作量，还有可能不得不重新摄影，从而造成人力、物力、财力的浪费。

(二) 航测外业

航测外业主要包括二方面的内容。

1. 控制点测量(象片联测) 携带航摄像片到实地，对象片预定范围内某些明显地物的象点，辨认出相应点的实地位置并加以标志，同时在象片上精确刺出该点。然后根据国家基本控制网点用野外测量的方法测定这些点的地面坐标，这样就把象片与国家基本控制网联系起来了。这些点称为象片控制点，是以后摄

影测量测图的主要依据。

一张象片或一个测区内需测定多少个控制点，取决于测图精度要求，成图方法和地形条件等，在长期实践的基础上，相应的作业规范均有规定。

为充分发挥控制点的作用，便于内业测图，控制点在象片上的位置也有一定的要求。一般要求控制点布设在象片航向和旁向重叠中线的交叉处，以便相邻象片共用。

2. 象片调绘（象片判读） 虽然象片客观、真实地记录了地表面各种景观，但是不能显示地名，水深流速，地下管道，通讯线等，而这些都是地形图上必需的要素。因此，就要带着象片到实地调查，补充这些象片上没有显示或虽有显示但不能确定的地图要素，并加以标注，以便在室内测绘地形图的过程中，将这些要素转绘到地形图上去，使地形图更加完善。

（三）航测内业

根据测图的要求和测区的地形条件，航测内业测图可分为单象测图和双象测图。

单象测图只能确定地面点的平面坐标。如果地面是平坦的，航空摄影中使象片平面平行地面，此时象片的比例尺为：

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

当象片比例尺刚好与测图比例尺一致时，这样的象片就可作为地形图使用。可是，实际上由于飞机在飞行中随着气流波动、倾斜，不可能保持这样理想的状态。一般，航摄像片都有一定的倾斜，由于倾斜引起象片上各部分的比例尺不等，这样象片不能作为地形图用于工程建设。把倾斜的平坦地区象片变换为地形图，乃是单象测图要解决的主题。通常采用光学-机械仪器，根据已知控制点改正象片倾斜引起的误差，并将其导致为要求的比例尺。这一作业过程称为象片纠正。然后按图幅并根据控制点把许多张象片镶嵌成象片平面图。

有时根据需要,在象片平面图上用普通测量方法补测高程、描绘等高线,就称为综合法测图。

双象测图(通常称立体测图),可以确定地物点的三维坐标(X 、 Y 、 Z),为此必须用立体象对(从不同的摄影站,以一定重叠度摄影两张象片)作为作业单元。在这象对内量测同一地面点在象片上的影象坐标 $x_1, y_1; x_2, y_2$ 。利用这四个数据,便可解算该点在地面上的三个坐标值 X, Y, Z ,它具有精确而可靠的效果。

立体测图又有许多方法,主要分全能法和分工法两种。

全能法测图是以模拟空中摄影过程的几何关系为基础,所以测图中,首先要恢复象对在摄影中的相互几何关系,建立起按要求比例尺缩小了的地面立体模型。然后,根据控制数据确定模型定向并量测立体模型,以测绘地形图。

目前已有许多种类型立体测图仪供全能法测图使用,按其实现摄影测量原理的方法,有光学解法仪器、机械解法仪器和光学-机械解法仪器。有的国家还生产不同精度等级的仪器,并形成系列。它们共同的特点是能够模拟摄影时象对的相互位置关系,故又称模拟型仪器,是航测中重要的一类仪器。

分工法测图是以简化了的、但仍保持一定作业精度的近似解算公式为基础。它用多种结构简单的仪器,分别完成测图过程中的某一个工序,故称为分工法测图。这一方法所使用的仪器较易制造,价格较低,可大量装备以供许多人员同时作业。但与全能法比较,精度较低,某些作业重复,因此作业率也不如全能法。分工法使用的主要仪器有:立体坐标量测仪,地形立体量测仪和单投影器等。分工法测图虽有上述不足之处,但在目前我国模拟型仪器尚未大量生产的情况下,分工法仍不失为一种有效的测图方法,尤其对于小比例尺测图,更是如此。

无论是单象测图或双象测图,每一张象片均需一定数量控制点。这些点可用象片野外联测方法求得,但更一般的情况,是先