



航空摄影测量第五册

立体量测仪测图

宋大伟 编

测绘出版社

航空摄影测量第五册

立体量测仪测图

宋大伟 编

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》。

本册较详细地介绍航测微分法测图所使用的立体量测仪、投影转绘仪、X-2视差测图仪的结构、理论,并结合我国目前航测生产程序,介绍仪器的鉴定、测图和编图的作业过程。

航空摄影测量第五册
立体量测仪测图
宋大伟 编

*

测绘出版社出版
北京纺织印刷厂印刷

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 8 3/4·字数 234 千字

1981年3月第一版·1981年3月第一次印刷

印数 1—5,500 册·定价 0.85 元

统一书号: 15039·新133

前 言

本书是航空摄影测量丛书第五册，介绍航测微分法成图的主要仪器——立体量测仪、投影转绘仪、X-2视差测图仪和编图的理论及作业过程。

本书力求以通俗的语言阐明基本理论，并结合目前我国航测生产的程序介绍作业过程，以达到与实际相结合的目的。

投影转绘作业过程由江苏省测绘局叶月芳同志提供部分资料。X-2视差测图仪由煤炭工业部航测大队林定荣同志提供部分资料。

在编写过程中黄委会设计院测绘总队古振今同志审阅了初稿，并提出了宝贵意见。此外还得到黑龙江省测绘局航测队部分同志、云南省测绘局韦日升同志的帮助。在此均表示感谢。

由于编者业务水平有限，时间仓促，书中错误难免，敬请读者批评指正。

编者 1979年6月

目 录

第一章 基本概念	1
第一节 立体量测仪的基本思想.....	1
第二节 理想象对的高差公式.....	2
第三节 立体量测仪的基本公式.....	12
第四节 立体模型的扭曲.....	21
第五节 基本公式的分析.....	30
第二章 立体量测仪的结构原理	31
第一节 立体量测仪的一般结构.....	31
第二节 纵改正机械的结构和作用原理.....	35
第三节 辅助纵改正机械的结构和作用原理.....	48
第四节 横改正机械的结构和作用原理.....	52
第五节 辅助横改正机械的结构和作用原理.....	62
第六节 δ_p'' 、 $f\Delta\alpha_x$ 、 $\frac{b_1^2}{f}\alpha_{x_1}$ 和 p_4^0 、 p_4' 的计算	67
第三章 立体量测仪测图作业过程	75
第一节 准备工作.....	75
第二节 象片的定向.....	78
第三节 定向过程中各种情况的分析和处理.....	91
第四节 测绘地貌.....	95
第五节 结尾工作.....	100
第六节 森林地区测图.....	103
第七节 地貌表示.....	104
第四章 立体量测仪的鉴定	116
第一节 用百分表鉴定仪器的方法.....	116
第二节 用网格片鉴定仪器的方法.....	129

第三节	直读高程装置及其鉴定·····	132
第五章	投影转绘·····	139
第一节	分带纠正原理·····	140
第二节	投影转绘仪的结构和检校·····	147
第三节	投影转绘的作业过程·····	159
第四节	清绘·····	170
第五节	投影转绘作业的一些改进·····	182
第六节	变换光束纠正原理在投影转绘中的应用及 一些问题的讨论·····	185
第六章	X-2 视差测图仪·····	202
第一节	概述·····	202
第二节	高程改正装置的结构和作用原理·····	205
第三节	平面改正机械的结构和作用原理·····	223
第四节	视差测图仪测图·····	238
第五节	视差测图仪的作业检校·····	249
附录 1	LCY-2 型立体量测仪的主要技术参数 ·····	255
附录 2	X-2 型视差测图仪的主要技术参数·····	256
附录 3	HGD-1 型投影转绘仪的主要技术参数 ·····	258
附录 4	直读高程装置精度检验附表·····	259
附录 5	用内插法求取目标点高程用表·····	260
附录 6	在大比例尺和大象幅测图中使用立体量测仪的 情况·····	263
附录 7	立体量测仪高差限制的讨论·····	268
附录 8	立体量测仪几种限差的讨论·····	271

第一章 基本概念

第一节 立体量测仪的基本思想

航测成图主要有三种方法：综合法成图、微分法成图和全能法成图。

综合法成图主要是测制平原地区的地物地貌，由航测内业制作象片平面图，而由航测外业根据象片平面图测绘地面的高程点和等高线。全能法成图是根据航测外业所提供的控制和调绘资料，利用全能型仪器测制地形图。这两种方法均在本丛书其他分册中已作介绍，本册仅介绍微分法成图。

微分法成图是根据航测外业所提供的野外控制点、野外地物调绘片和由航测内业加密工序所供给的内业控制点，利用立体量测仪来测定其他地面点的高程、测绘等高线，再通过投影转绘仪进行象片的分带投影转绘，从而在图板上得到正确的地物地貌位置，最后清绘成图。

立体量测仪是航测微分法成图中的主要仪器。

在立体量测仪上由两张相邻的裱板航摄像片，构成立体模型。根据上工序供给的内外业控制点进行模型置平——定向，经仪器六个改正机械的作用，使量测象片上象点的左右视差较和相应地面点的高程满足一定的数学关系式，这样就能用左右视差较求出地面点的高程。在象片上将高程相等的点连成线，就是等高线。

由于航摄像片是地面的中心投影，又因象片是倾斜象片，所以在象片上所测绘的等高线和地物均含有倾斜误差和因地面起伏而引起的投影误差。这还需要用投影转绘仪进行分带纠正，以消除上述两项误差，来满足我们对成图精度之要求。这样才能在图板上得到正确的地物地貌，最后才能清绘成图。

微分法所使用的立体量测仪和投影转绘仪，仪器结构较之全能型仪器简单，而且工作可以分开来进行，成图速度容易加快，也能保证一定的精度，因而我国目前较普遍地采用了这种成图方法。但由于在成图中要使用两种仪器，因而造成工序较多，两工法。但由于在成图中要使用两种仪器，因而造成等倾地用，两工序间误差要积累和影响，精度相应受到损失，而且要投入较多的人力，相对效率也就较低些。

针对上述缺点，我国科技人员在毛主席的无产阶级革命路线指引下，自行设计制造了微分法直接测图仪器——X-2 视差测图仪。该仪器既保持了微分法成图的仪器结构简单、造价低廉、适于大量生产使用的优点，又解决了工序多的矛盾。

X-2 视差测图仪直接代替了立体量测仪和投影转绘仪，仪器原理即是立体量测仪和投影转绘仪的结合。仪器上有高程和平面改正机械，能自动改正外方位元素对象点坐标的影响。由相邻两航摄象片组成立体模型，进行立体观测，操作仪器使测标沿着地表移动，调整缩放系数，就能在图板上直接得到按成图比例尺表示的地面点的坐标和高程，并绘制出等高线。

微分法成图是我国测制丘陵和部分山地地形图的基本方法。利用微分法成图在一定条件下是符合多快好省地建设社会主义的总路线精神的。但微分法成图也有较大的缺点：工序比较麻烦，精度不够理想，尤其是在高山地区的应用有所限制，对平原地区大比例尺测图也有一定的困难，这都是我们今后在技术革新和科学研究方面的课题。

第二节 理想象对的高差公式

一、左右视差和左右视差较的概念

根据象片解析一书，我们已经知道航摄象片是地面的中心投影。

如图 1-1, S 为投影中心, P 为象片, 地面点 A 、 B 、 C 在象片上的构象为 a 、 b 、 c 。

当航摄像片平行于大地基准面（即象片为水平）且通过摄影中心 S 垂直于象片的光线正交于象片的中点（航摄仪上下、左右框标连线之交点），这种航摄像片称为理想摄影象片，也称为垂直摄影象片（有的书上也称为正直摄影象片）。

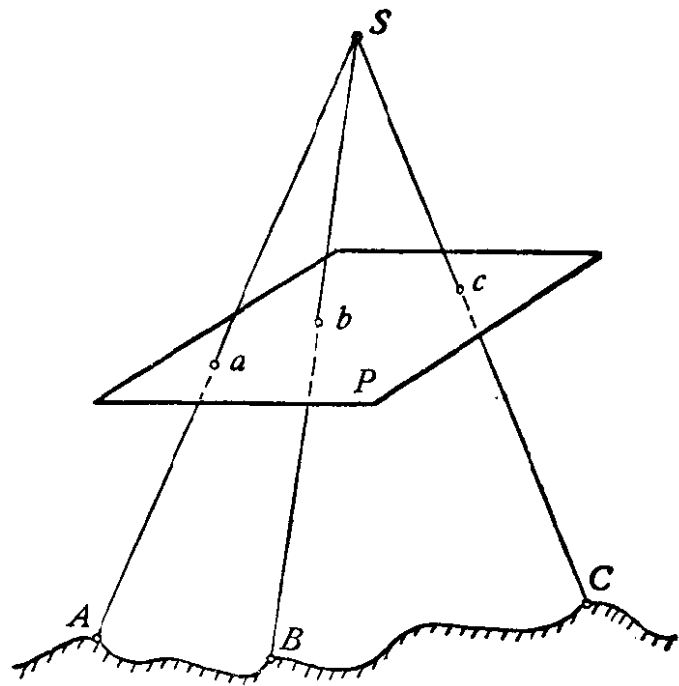


图 1-1

图 1-2, S 为投影中心, P^0 为平行于大地基准面的水平象片, $So \perp O$ 垂直于象片同时也垂直于大地基准面并与该两个面相交于 o 、 O 点。

$$So = f \quad (\text{航摄仪焦距})$$

$$SO = H \quad (\text{航高})$$

象片上左右框标的连线称为象片的 x^0 轴；象片上上下框标的连线称为象片的 y^0 轴, x^0 、 y^0 两轴正交于 o 点, o 点且是 So 的垂足, 称为象主点。

由 $o-x^0$ 、 y^0 组成象片坐标系；由 $O-X$ 、 Y 、 Z 组成地面坐标系；由 $S-X$ 、 Y 、 Z 组成空间坐标系。

这三个坐标系的 x^0 、 X 轴均在同一平面内； y^0 、 Y 轴均在同一平面内。地面点 A 在象片上的构象为 a^0 , 其在象片上的坐标用 x^0 、 y^0 来表示。

两张相邻理想象片，当摄影基线 B 平行于大地基准面，且两张象片的 x^0 轴与摄影基线 B 在同一平面内，此时所组成的立体象对称为理想象对。

图 1-3 中，

$$S_1S_2 = B (\text{摄影基线}); S_1o_1 = S_2o_2 = f (\text{焦距}); S_1O_1 = S_2O_2 =$$

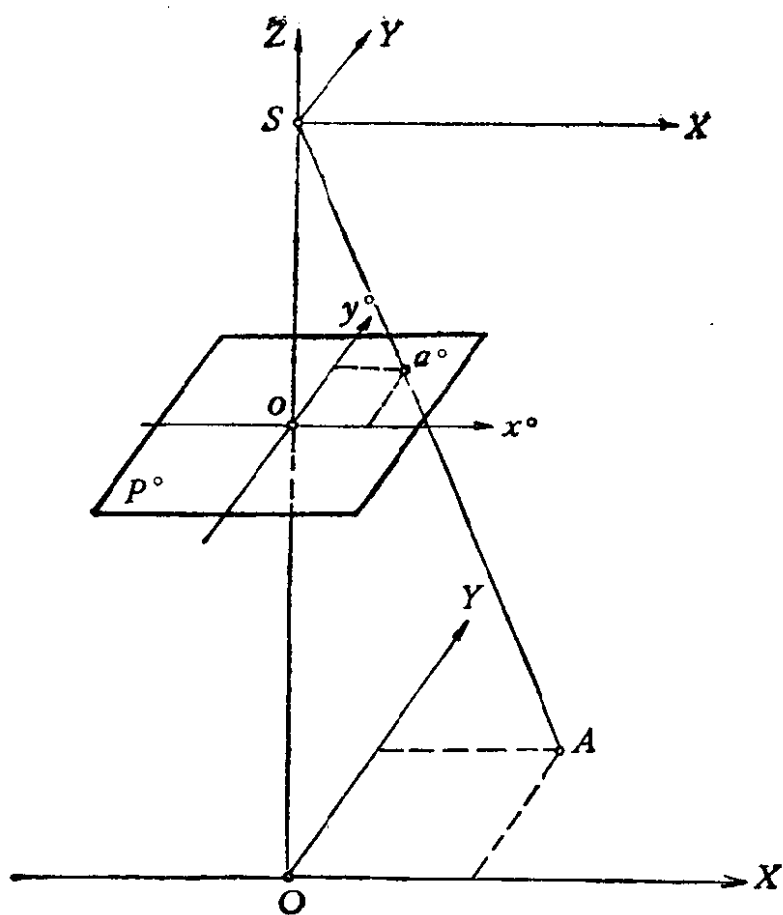


图 1-2

H (航高)。

在象片 P_1^0 上 $o_1x_1^0y_1^0$ 为左片坐标系；在象片 P_2^0 上 $o_2x_2^0y_2^0$ 为右片坐标系。

地面上任一点 A 在左片上的构象为 a_1^0 ，其坐标用 x_1^0, y_1^0 来表示； A 点在右片上的构象为 a_2^0 ，其坐标用 x_2^0, y_2^0 来表示。

由图可知：

$$\frac{x_1^0}{X_A} = \frac{y_1^0}{Y_A} = \frac{f}{H}$$

$$\frac{a_1^0 o_1}{AO_1} = \frac{f}{H}$$

令

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

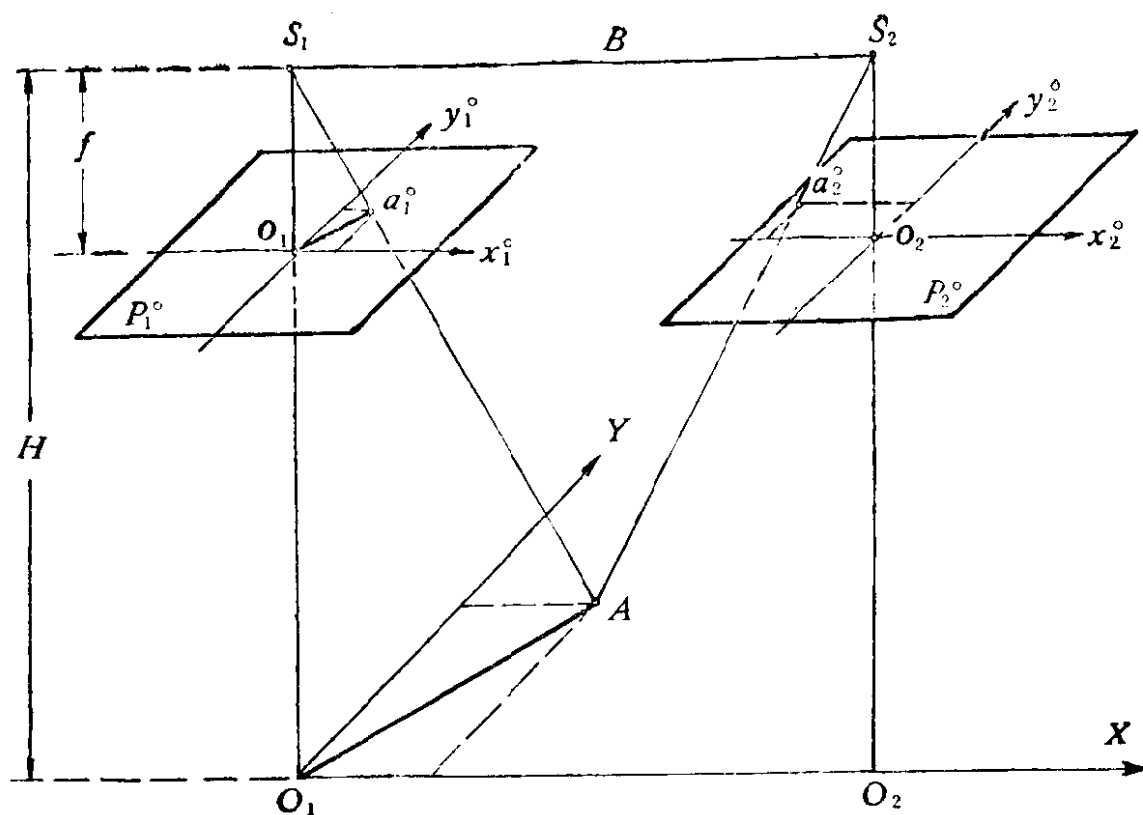


图 1-3

则有

$$\frac{a_1^0 o_1}{AO_1} = \frac{x_1^0}{X_A} = \frac{y_1^0}{Y_A} = \dots = \frac{f}{H} = \frac{1}{m}$$

我们称 $1:m$ 为比例尺。

由于 A 点是地面上的任意一点，当被摄地面是平坦而水平的，则在理想象片上处处的比例尺均是一致的，其数值为 $f:H$ 。

由图 1-3 可知地面点 A 在理想象对上的构象为 $a_1^0(x_1^0 y_1^0)$ 、 $a_2^0(x_2^0 y_2^0)$ 。

设 $x_1^0 - x_2^0 = p^0$ ，我们称 p^0 为左右视差。即地面上某一点在左右两张象片上的构象其横坐标之差就是该点的左右视差。

象片是地面上无穷个点的构象（一般我们只选取若干个点）。设某点 A 为起始点， A 点的左右视差为 p_A^0 ，那么其它所有点的左右视差 p^0 与 A 点的左右视差 p_A^0 之差，称为左右视差较 Δp^0 ，即

$$p^0 - p_A^0 = \Delta p^0$$

二、左右视差的量测

如图 1-4，由航摄像片 P_1 、 P_2 在立体量测仪的立体镜下组成立体模型， m_1 、 m_2 为地面点 M 在左右两张象片上的构象。当左右眼同时观测 m_1 、 m_2 点时，我们就可看到 M 点的立体模型。当然在立体镜下，立体模型的面积是较大的，并不局限于一个点上。

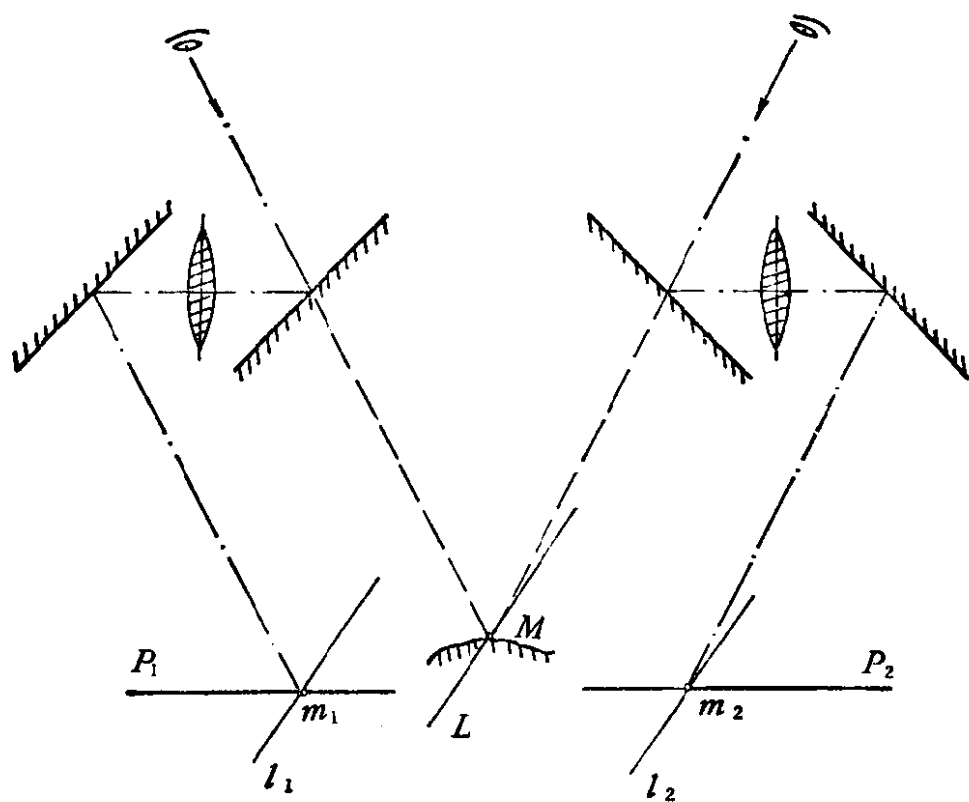


图 1-4

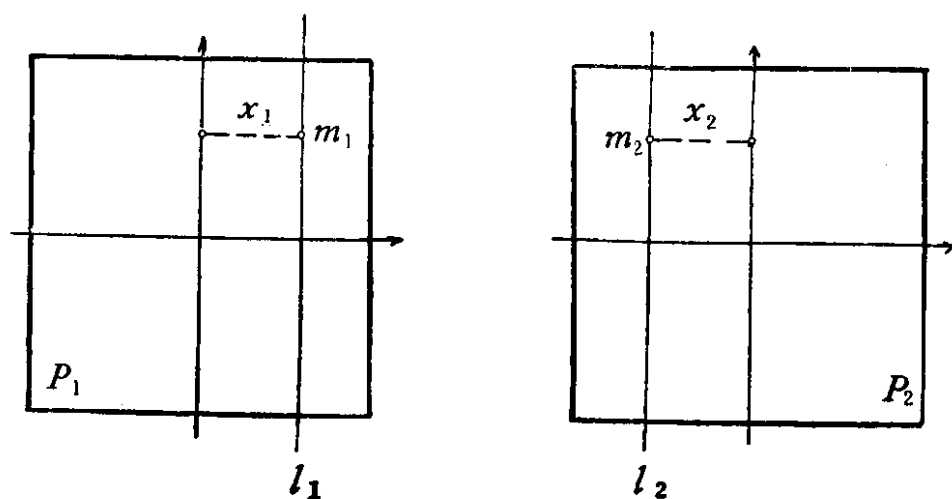


图 1-5

如果此时我们在左右象片上放置一根细而直的线，一般用头发丝或尼龙丝代替，作为测标 l_1, l_2 ，当 l_1, l_2 放置得正好通过 m_1, m_2 点，那么我们就看到由 l_1, l_2 所组成的立体——一根空间测标线 L ，此时正好与地面点 M 相切（在立体感觉中，测标线与地面点相接触，或者正好穿过此点）。此时的平面图如图 1-5 所示。这时我们只要能量得 x_1 和 x_2 ，则左右视差 $p_m = x_1 - x_2$ 即可求出。

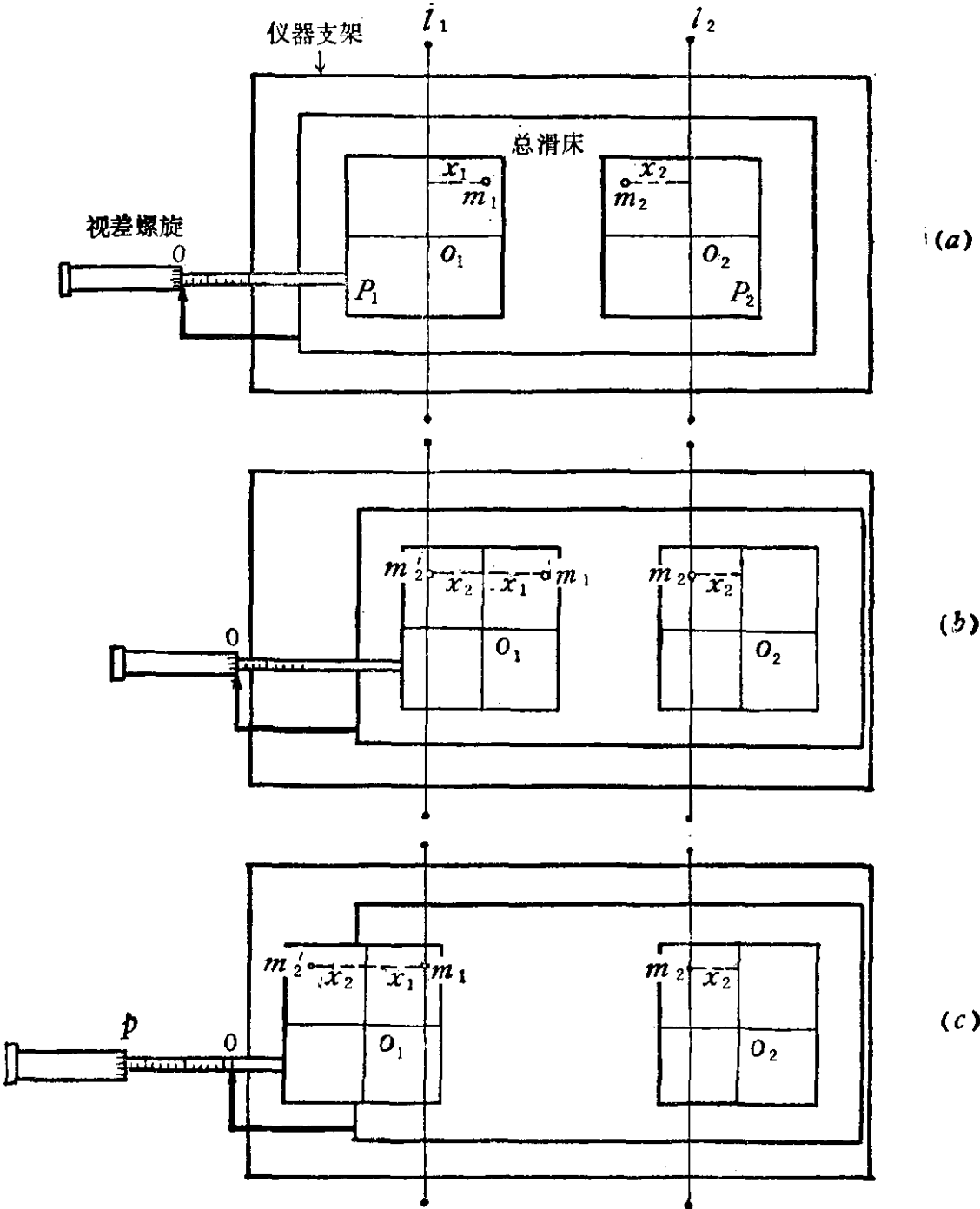


图 1-6

立体量测仪的观测部分就是根据这个原理制成的。在两相邻象片上面有两条测标线，在测标线上方有一立体镜。

如图 1-6 所示：两象片置于仪器的总滑床上，假设在开始时，左右测标 l_1 、 l_2 分别通过左右象片的主点 o_1 、 o_2 ，如(a)图，此时我们在仪器左侧与左象片相关联的一个视差螺旋上读数为零（这一要求在仪器检校时已满足）。然后移动总滑床，使右测标 l_2 通过右象片的 m_2 点，由于左右两象片均在总滑床上，所以左象片也同时向右移动，左测标 l_1 此时照准 m'_2 点（实际象片上无 m'_2 点），如(b)图所示。然后我们利用视差螺旋使左象片单独向左移动，使左测标 l_1 通过 m_1 点，如(c)图所示。此时 l_1 通过 m_1 点， l_2 通过 m_2 点，那么在立体观测下，空间测标线 L 必定与 M 点相切，而视差螺旋上的读数为 $x_1 - x_2 = m_1 m'_2 = p_m$ ，这就是我们所量得的 M 点在象片上的左右视差。

三、理想象对的高差公式

图 1-7 中，地面任意一点 A 在空间坐标系 S_1 - XYZ 中的坐标为 X 、 Y 、 $Z(H)$ ， A 点在左象片上的构象为 a_1^0 、在左象片 $o_1^0 x_1^0 y_1^0$ 坐标系中的坐标为 x_1^0 、 y_1^0 ， A 点在右象片上的构象为 a_2^0 、在右象片 $o_2^0 x_2^0 y_2^0$ 坐标系中的坐标为 x_2^0 、 y_2^0 。

$$\begin{aligned} \text{由相似三角形 } \triangle S_1 o_1^0 a_1'' &\sim \triangle S_1 O_1 A'' \\ \triangle S_1 o_1^0 a_1' &\sim \triangle S_1 O_1 A_1' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则有} \quad \left. \begin{aligned} X_{\text{左}} &= -\frac{Z}{f} x_1^0 = \frac{H}{f} x_1^0 \\ Y_{\text{左}} &= -\frac{Z}{f} y_1^0 = \frac{H}{f} y_1^0 \end{aligned} \right\} \quad (a) \end{aligned}$$

同理在右象片上，因 $\triangle S_2 o_2^0 a_2' \sim \triangle S_2 O_2 A_2'$

$$\text{则} \quad Y_{\text{右}} = \frac{H}{f} \cdot y_2^0$$

$$\text{因} \quad \triangle S_2 o_2^0 a_2'' \sim \triangle S_2 O_2 A''$$

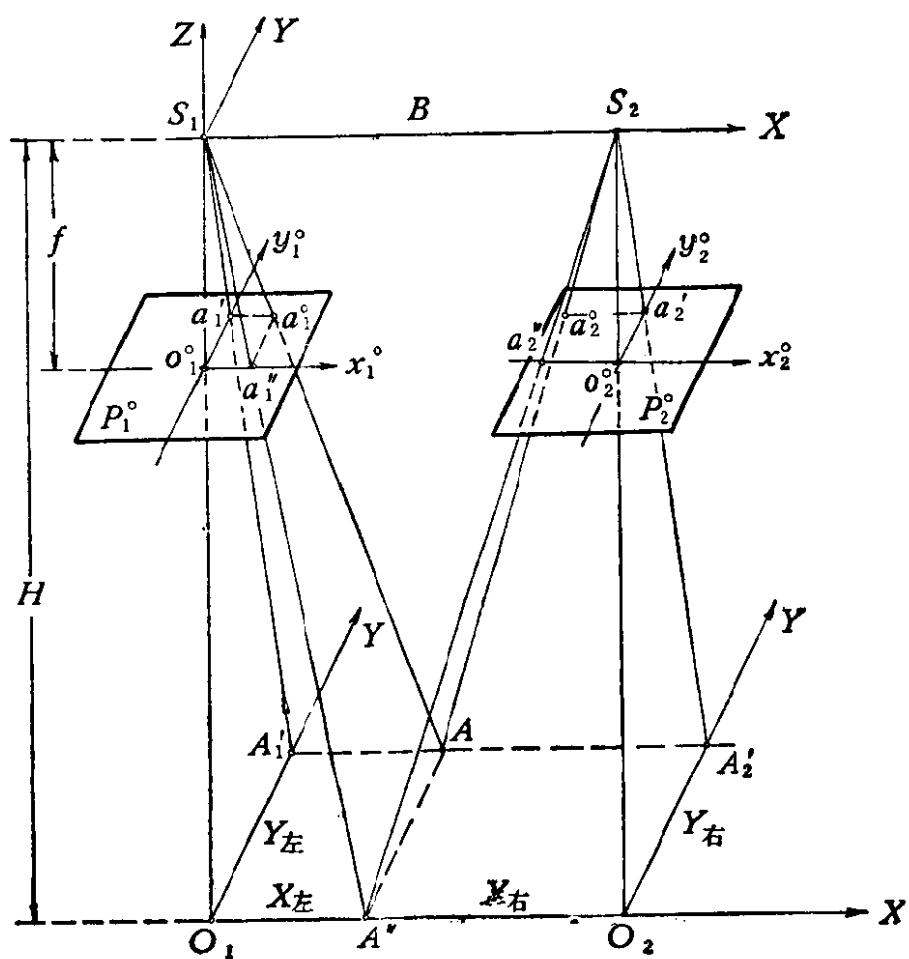


图 1-7

则

$$X_{\text{右}} = \frac{H}{f} x_2^0$$

$$\because X_{\text{右}} = -(B - X_{\text{左}})$$

$$\therefore -(B - X_{\text{左}}) = \frac{H}{f} x_2^0$$

则

$$B = X_{\text{左}} - \frac{H}{f} x_2^0$$

将(a)式代入上式得

$$B = \frac{H}{f} (x_1^0 - x_2^0)$$

已知

$$x_1^0 - x_2^0 = p^0$$

$$\therefore B = \frac{H}{f} p^0 \quad (b)$$

$$H = \frac{B}{p^0} \cdot f \quad (c)$$

将(c)式代入(a)式即可得出理想象对情况下确定地面点空间坐标的关系式:

$$\left. \begin{aligned} X_{\pm} &= \frac{B}{p^0} \cdot x_1^0 \\ Y_{\pm} &= \frac{B}{p^0} \cdot y_1^0 \\ H &= \frac{B}{p^0} \cdot f \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

$$\text{根据式(1-1)可得} \quad p^0 = B \frac{f}{H} = B \frac{1}{m} = b^0 \quad (1-2)$$

可见任一点的左右视差 p^0 就是按该点的象比例尺 f/H 缩小后的摄影基线长度。由于地面有起伏, 不同的点有不同的 H , 则 f/H 的数值也各不相同, 所以各点的左右视差 p^0 也是不一样的。习惯上常常把左右视差称为该点的象片基线, 用 b^0 来表示。

在图 1-8 中, 设 A 为起始点, 其航高为 H_1 , 称为起始航高。其左右视差为 p_1^0 , 称为起始左右视差。

$$\text{按式(1-1)得} \quad H_1 = \frac{B}{p_1^0} \cdot f \quad (a)$$

设地面任一点 M 、相对于 A 点有高差 Δh 、 M 点的左右视差为 p^0 , 则有

$$H_1 + (-\Delta h) = \frac{B}{p^0} \cdot f \quad (b)$$

$$(a) \text{式减}(b) \text{式得} \quad \Delta h = B \cdot f \frac{p^0 - p_1^0}{p^0 \cdot p_1^0}$$

$$\text{式中} \quad p^0 - p_1^0 = \Delta p^0 \text{ (左右视差较)}$$

$$\text{则} \quad \Delta h = \frac{B \cdot f \cdot \Delta p^0}{p^0 p_1^0}$$

$$\text{将}(a) \text{式代入, 得} \quad \Delta h = \frac{\Delta p^0}{p^0} H_1$$

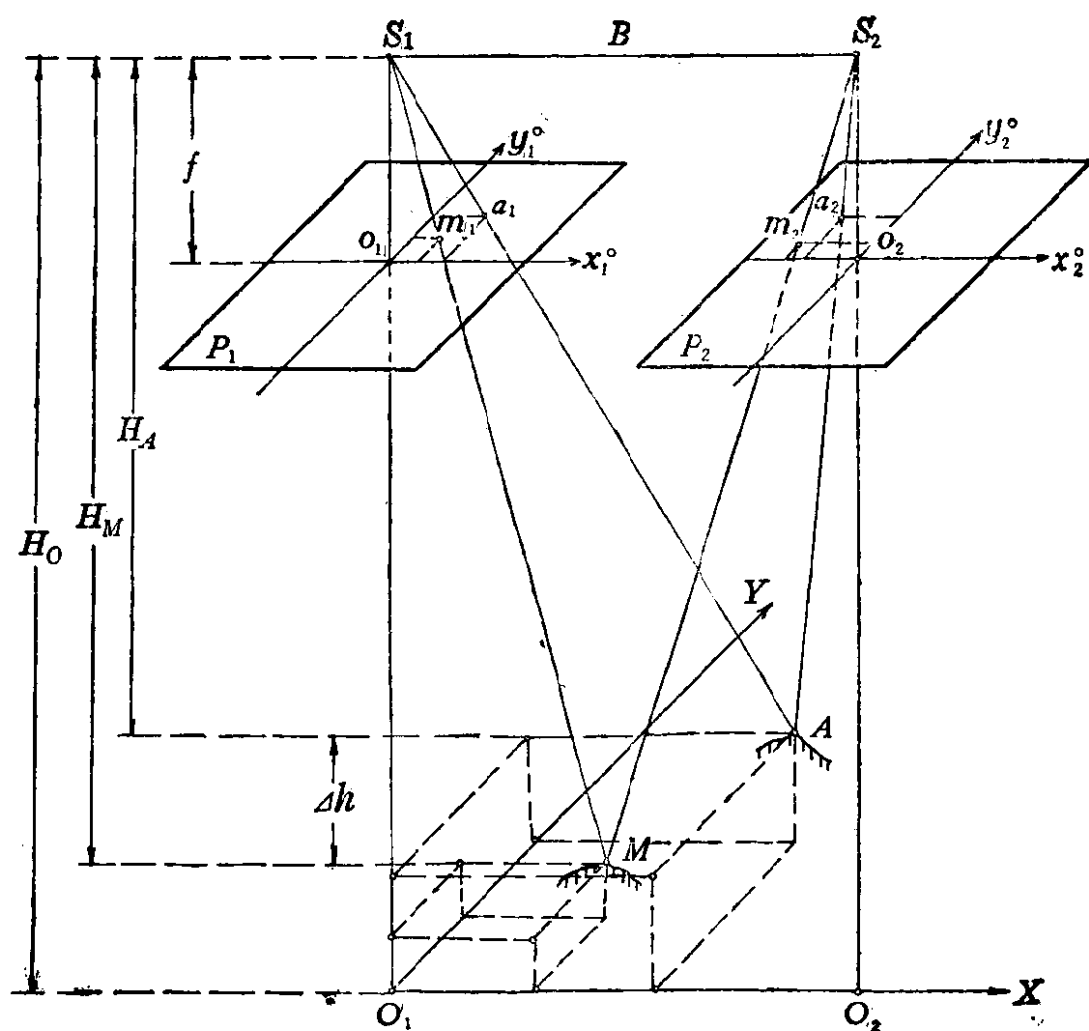


图 1-8

$$\begin{aligned} \therefore p^0 &= p_1^0 + \Delta p^0 \\ \therefore \Delta h &= \frac{\Delta p^0}{p_1^0 + \Delta p^0} H_1 \end{aligned} \quad (1-3)$$

(1-3)式即为理想象对的高差公式。

已知起始点的 H_1 ，只要在理想象对上量测出 p_1^0 和地面任一点 M 在象片上的构象 m 点的 p^0 ，即可计算出 M 点与 A 点之间的高差 Δh 。那么当已知 A 点的高程后，则 M 点的高程也就可以求得。

据式(1-3)可进行变换：

$$\begin{aligned} \Delta h(p_1^0 + \Delta p^0) &= \Delta p^0 H_1 \\ \Delta h p_1^0 + \Delta h \Delta p^0 &= \Delta p^0 H_1 \end{aligned}$$