



航空摄影测量第六册

多倍仪测图

水利部天津勘测设计院编
第一勘测设计总队航测队

测绘出版社

航空摄影测量第六册

多 倍 仪 测 图

水利部天津勘测设计院 编
第一勘测设计总队航测队

测绘出版社

内 容 简 介

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本理论、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》。

本册主要是向读者介绍多倍仪测图的基本理论、方法和工作过程。内容有:多倍仪测图的基本理论;多倍仪的构造与检校,其中对国产HTD₂-1型宽角多倍仪进行了介绍;多倍仪测图的方法和过程;利用多倍仪空中三角测量加密控制点的理论和方法,其中还对图解高程改正的综合改正法作了阐述。

航空摄影测量第六册

多 倍 仪 测 图

水利部天津勘测设计院
第一勘测设计总队航测队 编

测绘出版社出版

山西新华印刷厂印刷

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 $4\frac{3}{4}$ ·字数 128千字

1981年1月第一版·1981年1月第一次印刷

印数 1—4,400册·定价0.48元

统一书号: 15039·新168

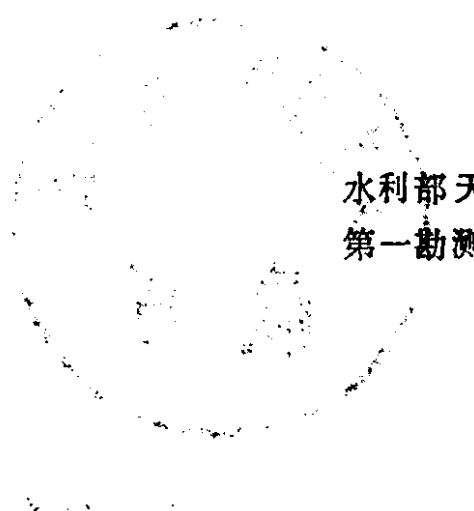
编 者 的 话

多倍仪由于结构简单、制造方便、价格低廉、易于操作等原因，至今在我国航测内业工作中仍为一种主要的测图仪器，在中小比例尺山地测图中仍在广泛应用。有时也用来进行空中三角测量。

本书共分四章着重阐述了多倍仪测图的基本理论、有关公式、作业方法及仪器的结构和检校方法；也讨论了空中三角测量的基本理论、误差公式以及在多倍仪上建立航线模型、加密控制点的作业方法和图解改正方法。

本书系水利部天津勘测设计院第一勘测设计总队航测队集体编，由邹联继、黄孝岑、刘家志、郑庆璋等同志分别执笔编写。除上述同志外连嘉昌、魏纪和、秦学谦等同志参加了讨论、审稿和定稿工作。另外还有一些同志参加了插图及校对工作。

由于编写者的理论水平、工作经验所限，书中难免存在错误，请读者指正。



水利部天津勘测设计院
第一勘测设计总队航测队

目 录

第一章 多倍仪测图理论	(1)
第一节 多倍仪测图的基本原理	(1)
第二节 互补色立体观察	(3)
第三节 外方位元素	(7)
一、相对方位元素	(8)
二、绝对方位元素	(11)
第四节 投影器变动引起象点坐标变化的关系式	(12)
一、变动 b_x	(13)
二、变动 b_y	(13)
三、变动 b_z	(14)
四、变动 k	(15)
五、变动 φ	(16)
六、变动 ω	(18)
第五节 象对的模型扭曲	(20)
第二章 多倍仪的构造与检校	(25)
第一节 多倍仪的构造	(25)
一、投影器	(27)
二、座架	(29)
三、绘图桌	(30)
四、测绘器	(31)
五、杠杆缩放仪	(32)
六、其他附件	(32)
第二节 多倍仪的安装	(33)
一、绘图桌的安装	(33)
二、座架的安装	(33)
三、投影器的悬挂	(33)
四、电器设备的连接	(33)
第三节 多倍仪的检校	(34)
一、绘图桌面的检查	(34)

二、投影器的检校	(34)
三、测绘器的检校	(36)
四、归心器的检校	(37)
五、底点器的检校	(38)
六、杠杆缩放仪的原理和检校	(39)
七、跨乘水准器的检校	(41)
第四节 HTD ₂ —1 宽角多倍投影测图仪	(41)
一、仪器的结构和性能	(42)
二、仪器的安装	(46)
三、仪器的调整和检校	(47)
第五节 多倍仪的维护和保养	(48)
一、仪器的维护	(48)
二、仪器的防雾、防霉、防锈	(48)
第六节 多倍仪测图有关规定的讨论	(51)
一、相邻两投影器主距较差的限制	(51)
二、投影器主点位置偏心差的限制	(52)
三、红绿滤光片使用规定	(54)
第三章 多倍仪测图	(55)
第一节 确定模型比例尺	(55)
第二节 相对定向	(58)
一、相对定向对点数的要求	(58)
二、定向点点位的选择	(59)
三、相对定向步骤	(60)
四、特殊情况下的相对定向	(68)
五、相对定向的不定性	(75)
六、剩余上下视差的配赋	(79)
第三节 模型连接	(81)
一、模型连接的目的	(81)
二、模型连接的方法	(82)
三、模型连接超限的原因	(83)
第四节 绝对定向	(83)
一、绝对定向对控制点的要求	(84)

二、绝对定向步骤	(84)
三、绝对定向可能出现的问题及解决办法	(90)
第五节 多倍仪测图过程	(91)
一、准备工作	(91)
二、相对定向	(93)
三、绝对定向	(94)
四、测图	(94)
五、质量检查	(97)
六、资料整理和上交	(97)
第六节 改变光束的多倍仪测图	(98)
一、改变光束时的模型变形	(98)
二、改变光束时相对定向的近似条件	(101)
三、变换光束测图的作业步骤	(104)
第四章 多倍仪空中三角测量	(109)
第一节 模型的变形	(109)
一、系统误差的影响	(109)
二、偶然误差的积累	(119)
三、控制点不符值的限制	(122)
第二节 高程误差的配赋	(123)
一、配赋的原则及五项改正	(123)
二、两种图解改正方法	(126)
第三节 图解高程改正的作业方法	(128)
一、四步改正法	(128)
二、综合改正法	(132)
第四节 多倍仪空中三角测量作业	(132)
一、制订测区技术计划	(132)
二、选点、刺点	(133)
三、仪器作业	(135)
四、平面网缩小	(136)
五、图解高程改正	(137)
六、接边及计算中误差	(137)
第五节 精度估算	(137)

一、高程精度	(137)
二、平面精度	(138)
附 录	(140)
1.多倍仪空中三角测量绝对定向手簿	(140)
2.多倍仪空中三角测量相对定向元素手簿	(141)
3.多倍仪空中三角测量模型观测和点的高程计算手簿	(142)
4.多倍仪测图手簿	(143)
5.HTD ₂ —1 多倍仪相对定向 ω 改正数 K 值的推求	(144)

第一章 多倍仪测图理论

航空立体摄影测量，是以空中摄影所取得的地面近似水平象片，借助少量的野外控制点，用室内摄影测量方法，求得立体测图所需的加密控制点，然后使用专门的立体测图仪器进行测绘，得出地形图。

多倍仪是多倍投影测图仪的简称。在航空立体测图仪器中，它结构较简单，操作较方便，是一种既能进行空中三角测量控制加密，又可用作立体测图的一种仪器。在山地、高山地的室内控制点加密和测图中，有较广泛的应用。

第一节 多倍仪测图的基本原理

多倍仪测制地形图的基本原理是摄影过程的几何反转。图1—1即为此过程的几何反转示意图。

如图所示，把象片放在与原航摄仪完全相同的投影器内，并将象片恢复其在摄影时的空间位置。当光束从 p_l 、 p_r 投影下来，其相应光线必会准确地相交于地面上任意点 A 、 C 、 D 、 E 上，其它地形地物在左右两片上构成的各相应象点，投影后相应光线也必成对相交在原地形地物点上，构成了地面光学立体模型，这个模型的大小和形状，与所摄地区完全一致。所以，投影过程是摄影过程的几何反转。

又在图1—1中，如果将投影器 S_r 在摄影基线 B 方向移动，使两投影器间的距离缩小为 b ，且投影器在移动过程中保持其光束方位，即保持两投影器相关位置不变，就可得到与地面相似，而且缩小了的光学立体模型，此模型比例尺为：

$$\frac{1}{M_{\text{模}}} = \frac{b}{B} \quad (1-1)$$

式中： B 为定值，所以只要改变两投影器间的距离 b ，也就是改变模型的大小，就可以改变模型的比例尺。

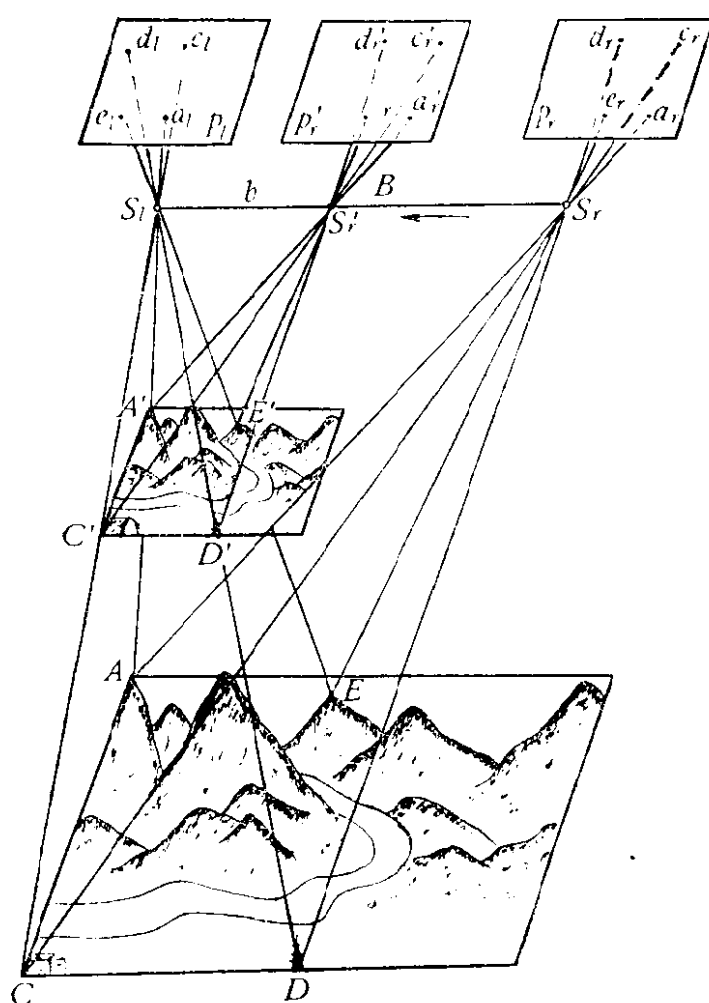


图 1—1

图中： S_l 、 S_r 为象对左片及右片的摄影中心；
 p_l 、 p_r 为象对的左片及右片；
 B 为摄影基线，即 $B = S_l S_r$ ；
 b 为投影基线，即 $b = S_l S'_l$ ；
 A 、 C 、 D 、 E 为地面上任意点；
 AS_l 和 AS_r ， CS_l 和 CS_r ， DS_l 和 DS_r ，
 ES_l 和 ES_r ，分别称为相应光线，也称为地
 面上任意点 A 、 C 、 D 、 E 的反射光线；
 a_l 、 c_l 、 d_l 、 e_l 为 A 、 C 、 D 、 E 在左象片
 p_l 上相应象点；
 a_r 、 c_r 、 d_r 、 e_r 为 A 、 C 、 D 、 E 在右象片
 p_r 上相应象点。

为了减少仪器的体积和重量，多倍仪投影器的象幅和主距都比航摄仪缩小了 n 倍。

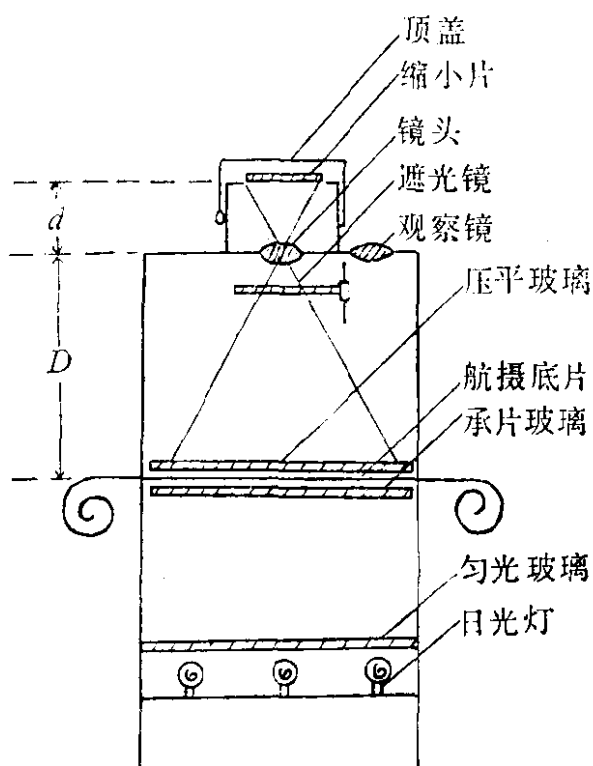
$$n = \frac{f}{f_{\text{投}}} \quad (1-2)$$

或： $f_{\text{投}} = \frac{f}{n} \quad (1-2a)$

式中： f 为航摄影焦距；

$f_{\text{投}}$ 为投影器主距。

为此，作业中要将航摄影底片，用缩小仪缩制成缩小正片，以供多倍仪测图使用。图 1—2 为缩小仪结构示意图。



d 为缩小仪主距

D 为缩小高度

图 1—2

第二节 互补色立体观察

利用象对进行立体观察时，必须满足以下几个条件：

1. 两张象片必须是由不同的摄影位置向同一地区所摄的象片。

2. 观察者两眼只能各看一张象片上的相应影象，达到“分象”条件。

3. 两张象片上，相应象点的连线应基本上与眼基线平行。

4. 两张象片的比例尺大致相等。

因为航摄像片是由不同的位置，用大致相同的摄影高度，对地面进行摄影所获得的象片，所以，“1”和“4”两个条件得到满足。立体观察时，如将左、右象片上相应象点的连线与眼基线平行，则第3个条件就可以满足。此外，尚需满足的只有第2个条件，即满足“分象”条件，才能观察出立体。解决“分象”的方法有多种，在多倍仪上是采用光的互补色原理来达到的。

当两种颜色的光，混合在一起成为白色光时，称这两种颜色为互补色。通常采用的互补色为品红色和绿色（简称为红色和绿色），多倍仪是利用红色和绿色滤光片，使投影光线成为互补色的。

多倍仪投影器装上缩小正片后，在未放滤光片前，投影下来的是黑白影象。分别在左、右两投影器上插入左红右绿的滤光片（或插入左绿右红的滤光片）后，左投影器投下的是红黑影象，右投影器投下的是绿黑影象，当观察者戴上与滤光片相应的左红右绿的眼镜时，红镜片只能通过红光，而吸收绿光，黑色不反射光；绿镜片只能通过绿光，而吸收红光，黑色仍是不反射光。因此，观察者的左眼，只能看见左投影器通过红滤光片投影下来的红、黑两色影象，不能看见右投影器的绿、黑两色影象。同理，右眼只能看见右投影器通过绿滤光片投影下来的绿、黑两色影象，不能看见左投影器投影下来的红、黑两色影象。这样就达到了左眼看左象，右眼看右象的“分象”进行立体观察的目的。而两眼分别看到的是成互补色的红绿色光，经视觉凝合后即变成白光，观察者就能看到有不同黑度的光学立体模型。

根据互补色原理，如将眼镜上的红绿镜片位置左右互换时，因为左眼看到的是右象，而右眼看到的却是左象，因此，观察到的是反立体。利用正反立体的观察，可检验测标切准控制点或目

标点位的精确性。

利用互补色观察立体的优点是：

1. 可以几个人同时进行立体观察。
2. 可以用一光点测标对光学立体模型进行量测。
3. 不存在观察者两眼交会角与眼的调节范围不相适应的现象。

其缺点是：

1. 滤光片吸收一部分光，使亮度减弱，因而也就降低了测绘精度。
2. 必须在暗室工作，生产条件不好。
3. 滤光片的颜色，必须保证只能通过一种颜色的光，其互补色的光应全部不能通过。因此，在制造上较困难。

利用互补色的方法观察到的模型是个“视模型”，(如图1—3中的虚线模型)，它和投影器下的光学立体模型(如图1—3中的实线模型)是有区别的。由图1—3可以看出，“视模型”是随观测者的位置不同而变化的。由于人眼不可能与两投影中心一致，眼基线总是小于投影基线，因此，“视模型”有很大变形。当观察者的双眼向上移动时“视模型”变得高而陡；反之，“视模型”变得低而缓。观察者双眼前后左右移动时，“视模型”也随之作相应方向倾斜，向着双眼的一面山坡变陡，背着双眼的一面山坡变缓。

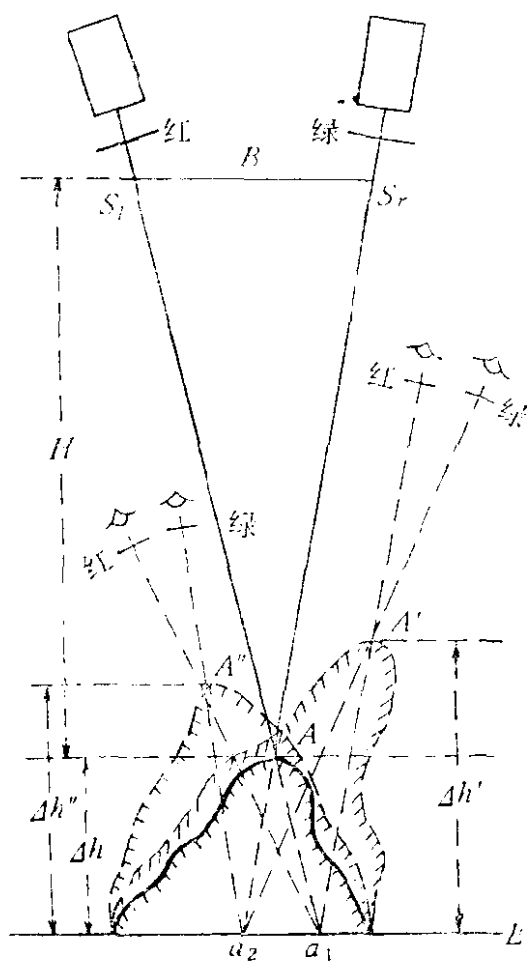


图 1—3

图1—3中, A 为光学立体模型中的一点, 它在承影面 E 的象分别为 a_1 及 a_2 , 它们在“视模型”上为 A' 点, 也就是光学立体模型上 A 点在这一“视模型”上的相应点。此时“视模型”随双眼向右倾斜; 若双眼向下移动并在投影器左侧时, 分别看到 a_1 及 a_2 在另一“视模型”上为 A'' 点, 即光学立体模型上的 A 点在又一“视模型”上的相应点, 此时“视模型”随双眼向左倾斜。后一“视模型”观察到的相对高差, 在视觉中比前一“视模型”减小。

“视模型”和光学立体模型的不一致, 只是存在于视觉中, 而与量测无关。由图1—4可知, 当调节测绘器承影面 E 的高度, 使其正好和光学立体模型点 A 重合时, “视模型” A' 点及 A'' 点, 即和 A 点重合。因此, 不会因为“视模型”与光学立体模型不一致而影响量测结果。

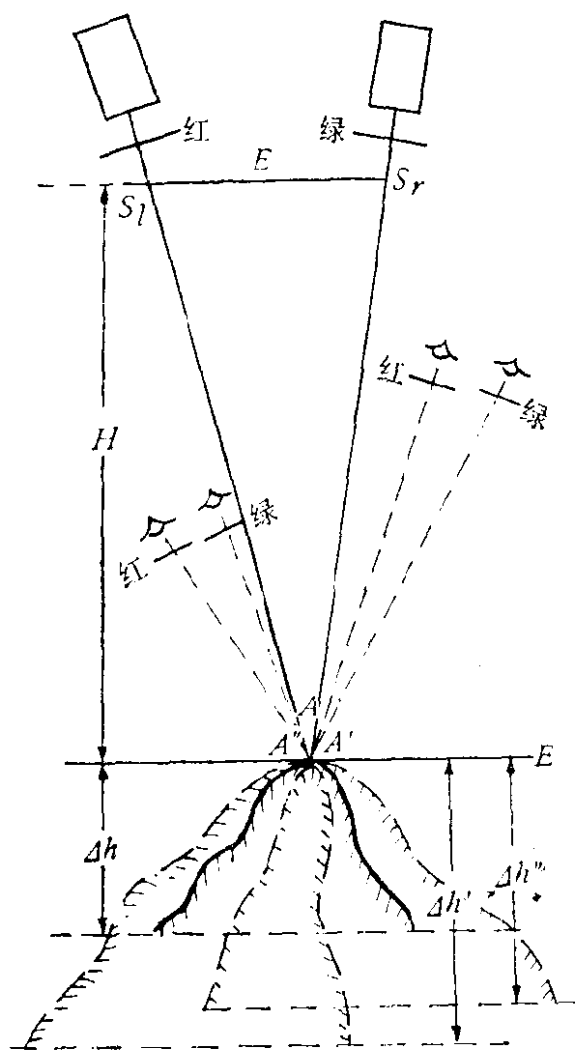


图 1—4

第三节 外方位元素

多倍仪测图，是根据与地面相似的光学立体模型来进行的。为此，必须是：

1. 首先进行内部定向，即使投影器中缩小正片的投影光束与同象片的摄影光束一致。缩小正片的缩小倍数必须满足 $n = \frac{f}{f_{\text{投}}}$ 的条件，才能在投影器上装片时，使缩小正片的主点与投影器镜箱的主点严密重合，以恢复内方位。

2. 进行相对定向的目的，是使左、右两投影器投射的光束的相关位置与空中摄影时的两象片摄影光束一致，使建立起来的光学立体模型与地面相似。进行这一工作所需要的元素叫做相对方位元素。它是由象对的外方位元素，即确定象片与其摄影中心在摄影时的空间位置所需要的元素来确定的。外方位元素每张象片有六个，即：

$$X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \omega, \kappa。$$

式中： X_s, Y_s, Z_s 为摄影中心的大地坐标；

φ 为航向倾角；

ω 为旁向倾角；

κ 为象片在其本身所在平面上的旋角。

因此，象对的外方位元素共有十二个，即：

$$X_{s1}, Y_{s1}, Z_{s1}, \varphi_1, \omega_1, \kappa_1；$$

$$X_{sr}, Y_{sr}, Z_{sr}, \varphi_r, \omega_r, \kappa_r。$$

式中：前一行左片的外方位元素；

后一行右片的外方位元素。

如果分别恢复了两张象片的外方位元素，则象对及其投影中心在空间的位置也就恢复了。

在多倍仪投影器上，有六个相应的螺旋装置即： $b_x, b_y, b_z, \varphi, \omega, \kappa$ 如图 1—5 所示，用以恢复外方位元素。

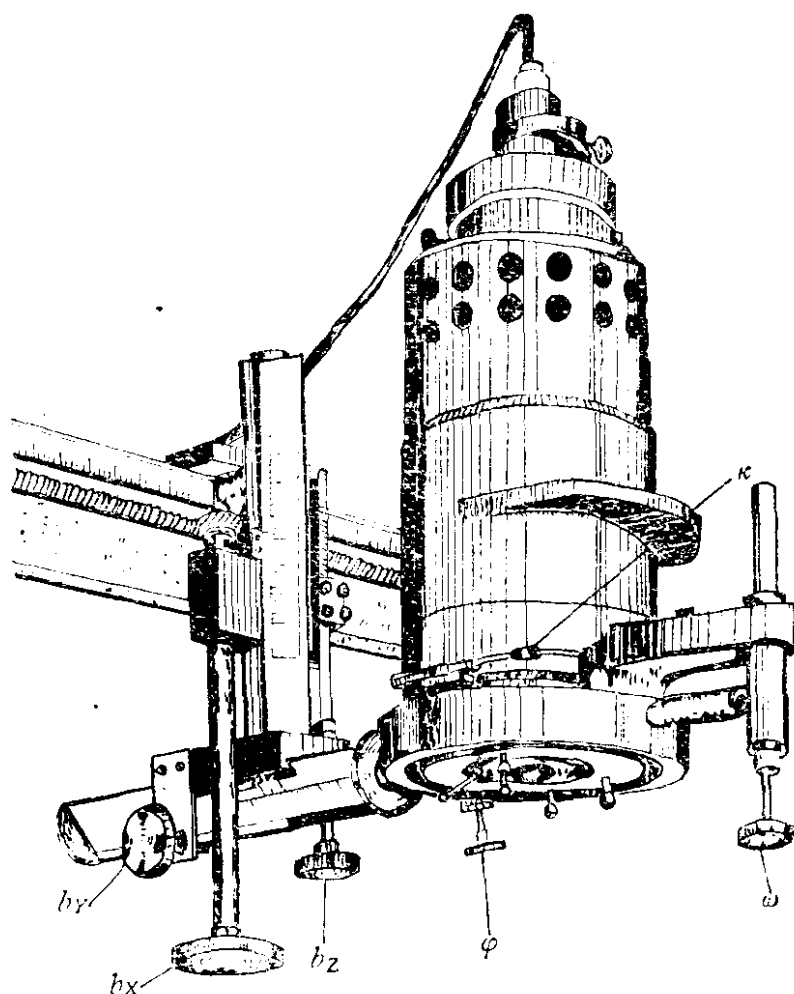


图 1—5

一、相对方位元素

相对定向可以固定一个投影器不动，由移动及转动另一个投影器来完成，称做连续象对的相对定向；也可以分别移动及转动两个投影器来完成，称做单独象对的相对定向。前者适合做多象对的连续定向。

(一) 连续象对的相对方位元素

如图1—6所示，假定第一个光束是固定不动的，并以该光束的投影中心 S_1 做为坐标原点， Z_1 轴与该光束的主光线 S_1O_1 一致， X_1 和 Y_1 轴分别平行于第一张象片的 X_1 轴和 Y_1 轴。第二个光束对第一个光束的相对位置，是用它们的投影中心 S_2 对 S_1 的坐标差 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 和象片的相对倾斜角 $\Delta\varphi$ 、 $\Delta\omega$ ，以及第二片对第一片的旋角差 ΔK 来表示，即：

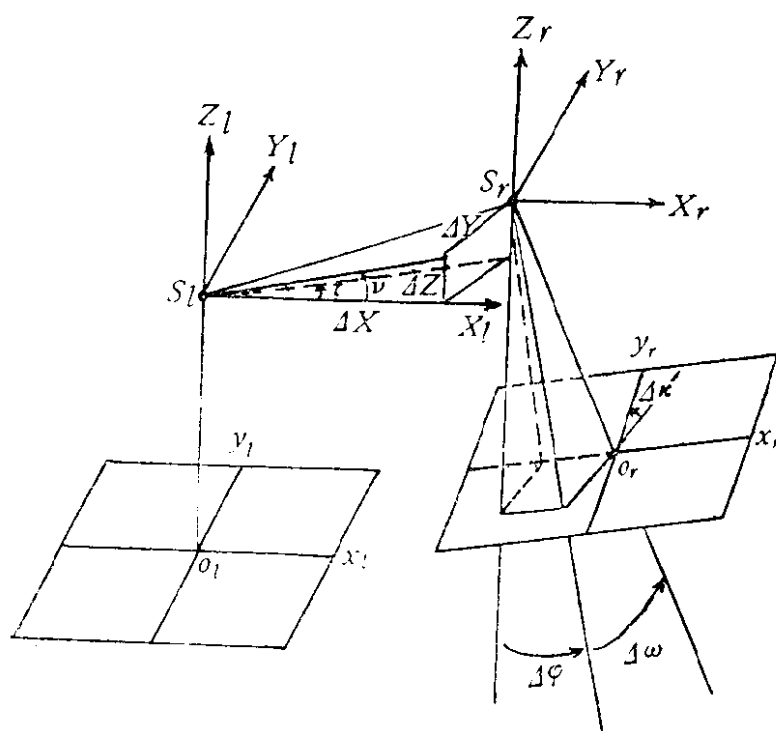


图 1—6

右片: $X_{s_r}, Y_{s_r}, Z_{s_r}, \varphi_r, \omega_r, \kappa_r.$

左片: $-) X_{s_l}, Y_{s_l}, Z_{s_l}, \varphi_l, \omega_l, \kappa_l.$

$$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta \varphi, \Delta \omega, \Delta \kappa$$

用 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta \varphi, \Delta \omega, \Delta \kappa$ 可确定第二个光束对第一个光束的相对位置。由于相对定向不确定模型的比例尺, 也就是不考虑基线在 X 轴上的分量 ΔX 的长度, 只考虑基线方向角 τ 和 ν , 即:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\Delta Y}{\Delta X} ;$$

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{\Delta Z}{\Delta X} ;$$

故相对方位元素只有五个, 即:

$$\tau, \nu, \Delta \varphi, \Delta \omega, \Delta \kappa.$$

这五个元素中, 如上述 τ 和 ν 可以确定摄影基线 $S_l S_r$ 在 $S_l X_l Y_l Z_l$ 坐标系中的方向, $\Delta \varphi$ 和 $\Delta \omega$ 可以确定第二个光束的主光线 $S_r o_r$ 对第一个光束的主光线 $S_l o_l$ 的相对方位, $\Delta \kappa$ 可