



航空摄影测量第七册

精密立体测图仪测图

徐伯清 张元镇 谢学盛 合编

测绘出版社

航空摄影测量第七册

精密立体测图仪测图

徐伯清 张元镇 谢学盛 合编

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》。

本册介绍具有代表性的各种精密立体测图仪器，其中对HCT-1、B8S、Topocart B及Stereometrograph F仪器从理论、结构、检校、操作等方面作了较详细的介绍，对正射投影技术及部分新型仪器则作一般性介绍。在附录中列举了国内外部分精密立体测图仪的技术数据表及仪器使用保养常识。

航空摄影测量第七册

精密立体测图仪测图

徐伯清 张元斌 谢学盛 合编

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 9¼·字数 261 千字

1981年7月第一版·1981年7月第一次印刷

印数 1—8,000 册·定价：0.94元

统一书号：15039·新138

前 言

根据“洋为中用”的方针和向外国学习先进经验的精神，近年来我国各测绘部门先后从国外引进了较多型号和数量的精密立体测图仪器。为了更好地发挥这些仪器的作用，并交流技术经验，我们编写了这本书，以供测绘单位工人、工程技术人员和专业学校师生参考。

全书共分十章并两个附录。第一章讲述立体测图仪的概况和分类；第二章讲述平行四边形交会原理和变换光束测图原理；第三、四、五、七章详细介绍国内数量较多并有代表性的几种立体测图仪器；第六、八章简单讲述A 10和G 5仪器的特点；第九章选择国内为数较少或尚未引进的一部分新型仪器，作概略的介绍；最后第十章对发展中的正射投影技术的基本概念和仪器作了介绍。

本书由陕西省测绘局徐伯清、黑龙江省测绘局张元镇及四川省测绘局谢学盛三同志合编。第二、三、七、八章及附录由徐伯清同志编写；第一、五、六、十章由张元镇同志编写；第四章由谢学盛同志编写；第九章由徐伯清与张元镇两同志合编。

本书在编写过程中得到以上三个省测绘局的航测队、制图队和科研室的同志以及煤炭部航测大队的大力支持；总局测绘研究所程友琛、周祚义、周一同志分别审阅有关章节并提出了宝贵的意见，在此表示衷心感谢。由于我们理论知识及作业水平不高，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者 1979. 6

目 录

第一章 概论	1
第二章 平行四边形交会原理与变换光束测图原理	5
第一节 平行四边形交会原理	5
第二节 变换光束测图原理	10
第三章 HCT-1 立体测图仪	22
第一节 仪器的结构原理与基本参数	22
第二节 仪器的检校	41
第三节 测图作业方法	49
第四章 B8S 立体测图仪	68
第一节 设计原理与基本参数	69
第二节 仪器结构	75
第三节 线性缩放仪	84
第四节 仪器的检校	91
第五节 仪器的使用和测图	105
第六节 主距架的变换	108
第五章 托普卡 B 型(C 型)立体测图仪	110
第一节 结构原理	110
第二节 仪器的结构	119
第三节 托普卡 C 型与 B 型的差别	121
第四节 托普卡 B 型立体测图仪的检校和调试	122
第五节 托普卡立体测图仪作业特点	143
第六章 A10 立体测图仪(附 A8、EK22 坐标记录装置)	150
第一节 仪器结构原理	150
第二节 光学系统	151
第三节 机械结构	153

第四节	仪器的检校	160
第五节	A 10 上测图作业特点	168
第六节	利用 A 10 进行空中三角测量(独立模型法)	169
(附)	A 8 立体测图仪	171
(附)	自动坐标记录装置 EK 22	172
第七章	F 型立体测图仪	176
第一节	仪器结构原理及设备	177
第二节	仪器的检校	188
第三节	测图作业方法	202
第四节	F 型自动坐标记录仪	210
第八章	C5 精密立体测图仪	217
第一节	仪器的结构	217
第二节	投影系统	220
第三节	观测系统	224
第四节	绘图系统	227
第九章	其他类型立体测图仪简介	228
第一节	立体测图仪 Presa 226	228
第二节	立体测图仪 Planimat D2	236
第三节	Aviomap 立体测图仪 AM	247
第四节	立体测图仪 PG 2(附 PG2-AT、PG3)	255
第十章	正射投影技术和正射投影装置	263
第一节	基本原理	263
第二节	GZ-1 正射投影装置	267
第三节	OR-1 正射投影装置	271
第四节	PPO-8 正射投影装置	277
第五节	托普卡正射投影装置(附托普马系列)	283
第六节	电子微分纠正	289
附录 I	部分立体测图仪技术数据表	292
附录 II	立体测图仪的使用与保养	304

第一章 概 论

随着国民经济的发展,各经济建设部门进行规划、设计、施工以及完成国家基本图的任务,要求测制比例尺大于 1:1 万以上的高精度地形原图。

利用航空摄影象片测制地形图时,在摄影比例尺固定的情况下,缩短摄影机焦距降低摄影航高,可以提高计算高差的精度。如果使摄影航高固定,采用短焦距航摄机摄影则将使摄影比例尺缩小,从而提高了劳动生产率。目前采用 $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ 象幅的航摄机摄影,当焦距为 88 mm 左右、航高为 3000 m 左右时,其摄影比例尺约在 1:3 万至 1:4 万之间,此时一张 $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ 的象片即能包含一幅 1:1 万比例尺的地图幅面,这样不仅加快了成图速度,而且降低了成本。在采用小比例尺航摄资料测制大比例尺地形图时,用低精度仪器来作业很难达到成图精度要求,必须利用精密立体测图仪来完成。

精密立体测图仪有很多系列,每个系列都包含一套一、二、三等级的精密测图仪器。虽然系列很多,精度各有高低,但是它们的基本类型不外乎光学投影和机械投影两类。这两类仪器又有它们的共性之处:

——都是模拟摄影瞬间的几何关系,通过同名光线对对相交建立立体模型。

——都不受倾角大小的影响,它的精度与地形高差无关。

为概略叙述精密立体测图仪的原理特性,下面分别说明光学投影和机械投影的一些特点。

光学投影型立体测图仪

代表这类仪器的有多倍投影仪、双象测图仪及精密立体测图仪 G5,这类仪器的基本原理主要是以光学投影方式按波柔-柯培

(Porro-Kopple)原理直接模拟摄影瞬间的几何关系, 重建地面模

型, 然后对模型进行量测。

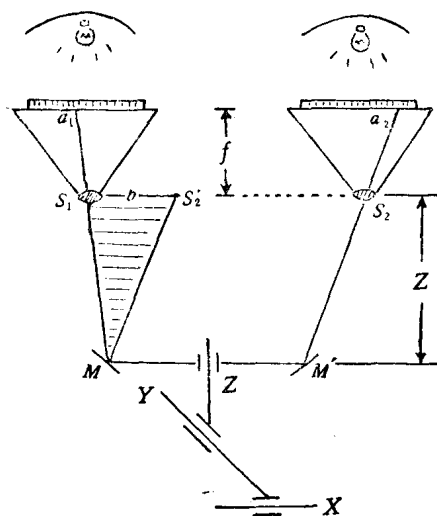


图 1-1

具体实现是投影镜箱完全模拟摄影镜箱(即保持其几何关系), 用聚光器照明航摄底片(或复制片), 通过光学投影系统把所有的象点投影到可观测的承影面上(或测标面上)。光学投影型立体测图仪的基本结构如图 1-1 所示。由于投影器采取固定焦距, 投影影象的清晰主要靠缩小投影物镜的相对孔径, 从而降低了投影影象的分解力。另外有的

双象投影仪器对立体影象的观测采用互补色法, 这样不仅使亮度损失很多, 而且还要在暗室中作业, 劳动强度大。光学投影型立体测图仪中的双象投影测图仪例如 G5, 为了避免两个庞大的投影镜箱相碰, 采用了交会三角形加平行四边形的交会形式。

机械投影型立体测图仪

机械投影型立体测图仪是以两根金属投影导杆代表两根光线, 它们分别绕 S_1 、 S_2 点摆动, S_1 、 S_2 点看成是投影中心。在具体结构上, S_1 、 S_2 点成为两个万向关节转动的节点, 投影导杆的上端也是万向关节, 它用来限制在模拟的象片平面上的运动, 模拟的象片平面与 S_1 、 S_2 之间的垂直距离就是仪器的主距 f 。投影导杆的下端也是通过万向关节与仪器的基线架联结, 它代表立体模型点。

机械投影型的立体测图仪可以分成空间解、平面解、半空间

半平面解三种。

空间解使用象片跟踪单元。圆柱形的金属导杆用来代替投影光线，万向球状关节代表投影中心。为使圆柱形空间导杆和万向球状关节这些机械部分不受重力作用的影响，还必须设法保持平衡。空间解的仪器在投影导杆的利用上又有两种不同的方案，即双臂导杆和单臂导杆。当投影中心点 S 在象点和模型点之间，称为双臂导杆；而模型点和象点均在投影中心 S 的一侧的，称为单臂导杆。如图 1-2 所示。

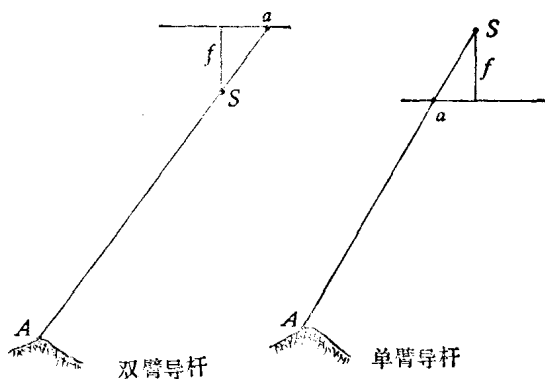


图 1-2

单、双臂导杆的差别是：双臂导杆可以使模型比例尺大于或小于象片比例尺，而单臂则只能做大于象片比例尺的模型。双臂导杆形式的仪器，其机械运动使象片上的坐标与地面坐标正负方向相反，因此应该将象片旋转 180° 后放置，而单臂导杆则不同，它的象片坐标与地面坐标方向一致。

为了实现单臂导杆的几何关系，使象点、模型点都在投影中心的一侧，而且导杆能自由活动，在仪器结构上一般采用了将光学系统中的观察部件从模拟象点处平行移动一段距离 l （见图 1-3）。或者由投影导杆推动观察系统而象片固定不动，或者推动象片而整个光学系统固定不动（此时象片应旋转 180° 安放）。

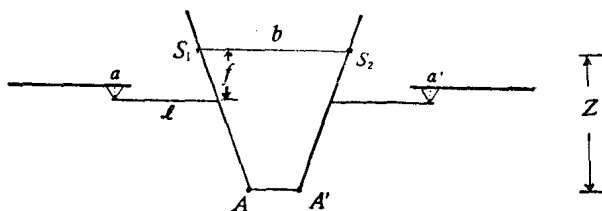


图 1-3

平面解是用两根平面直尺来代替投影光束，用两个可旋转的支点来代替一个投影中心。平面直尺一般都是水平安装，它可绕单个轴转动，并通过轴承与象片盘联结，平面解的仪器受重力影响较小，能排除由万向关节引起的误差。每根直尺和导轨只需要有一个精确研制的直线边。象片通常处于水平的共面位置，但是某些机械结构要求双份，不同平面的直尺（导轨）是通过模拟计算机（或改正装置）来互相联结。由于量测信息传递所通过的机械系统比空间解仪器所经过的要长，这样就包含了另一些附加的误差来源，同时使仪器调试检校复杂。平面解的仪器比空间解的仪器可提供更多的自由度，例如象片纵横方向不均匀收缩的改正，这就可在相对定向和绝对定向中附加一些改正。

半平面半空间解的仪器则是综合了上述二者，它采用了在物方空间用导杆来实现交会，而在象方则分解为 XZ 、 YZ 平面内的投影。

近廿年来，由于科学技术的发展，精密立体测图仪不断地增加了各种外围设备，例如数字化器件、电子计算机等，从而扩大了仪器的功能。七十年代以来由于相关器、自动扫描器的应用，已使精密立体测图仪朝向自动化、数字化方向发展，现在已经出现了一些质量很高的解析测图仪器，但它们价钱昂贵。当前以及今后一定时间内，常规的模拟型的精密立体测图仪，仍将是航测的主要手段。

第二章 平行四边形交会原理 与变换光束测图原理

第一节 平行四边形交会原理

由立体摄影测量基本概念知道,利用航摄像片在立体测图仪器建立摄影瞬间的几何立体模型,必须恢复摄影瞬间投影器的内、外方位元素,这时经投影器投影的同名光线才会对对相交,才能建立几何的立体模型。立体测图仪就是采用直接建立与摄影瞬间相似的地面模型,进行前方交会,解求地面点的三维空间坐标值。

由图 2-1 可知,设 S_L 、 S_R 为左、右摄影中心, S'_R 为右投影

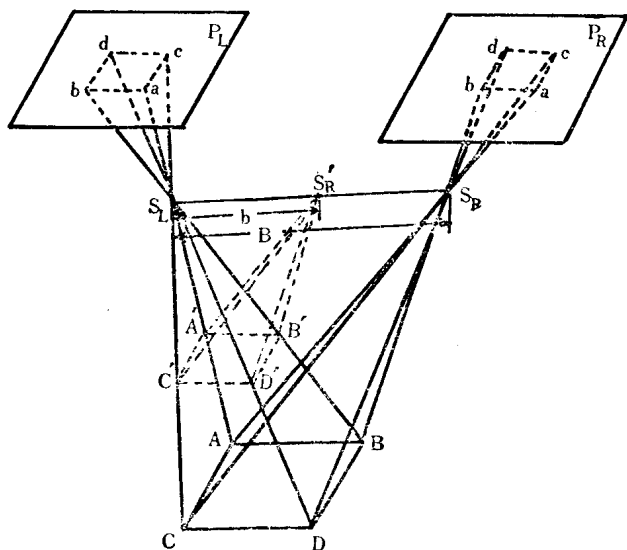


图 2-1

中心, B 为摄影基线, b 为投影基线。如果保持与摄影时光束的

方位不变，将右投影中心从 S_R 处平行移至 S'_R 处，则同名光线仍对对相交，图形 $A'B'C'D'$ 就是地面模型 $ABCD$ 的几何反转的相似模型。其比例尺变化值为 $\frac{1}{M} = \frac{b}{B}$ 。借助测标，可对所建立的几何模型进行量测，获得地面点的空间坐标。

全能法测图是采用前方交会直接解求方式进行的，利用左右两个摄影站作为测站，它的连线作为交会基线，使核面内的两同名光线相交，求得该象点的地面点位置。在精密立体测图仪器上的交会方法有单三角形交会和三角形加平行四边形交会两种形式，现分别叙述如下。

一、三角形交会形式

在大多倍仪上恢复象片在摄影瞬间内、外方位后，两同名光线相交点即为模型点的位置，用测标切准交点即可得到该点的平面位置与高程。这两同名光线与投影基线 B 组成一个交会三角形，如图 2-2 所示。 a_L 为左象片上象点， a_R 为右象片上象点， S_L 为左投影中心， S_R 为右投影中心， B 为投影基线， M 为测标点， A 为模型点， $\triangle S_L S_R M$ 即为交会三角形。

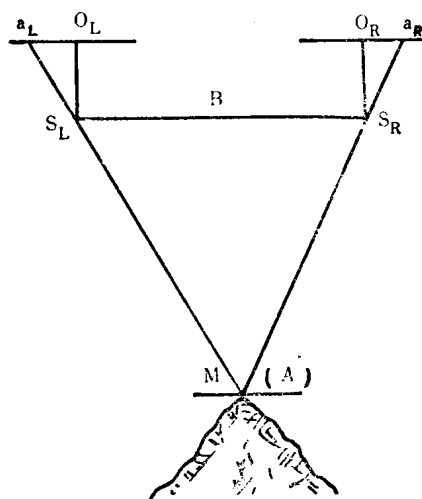


图 2-2

图 2-2 是典型的大多倍仪交会示意图，借助红绿滤光片及红绿眼镜的分象作用，对测标 M 进行立体观察，在交会三角形的交点 M 处即可看到测标 M 与立体模型上 A 点相切。测绘器上的 M 是一个实测标。

类似大多倍仪交会形式的有 A8 和 B8S 等仪器，它们都是采用以投影

实际上要实现正确的交会，图 2-3 中所示投影中心沿基线方向移动是最简单的形式，显然只要保持右投影光束方向不变，且 $S_R S'_R M_R M_L$ 始终构成平行四边形，那么右投影中心向任何方向移动都是可以的。

图 2-4 所示，投影中心 S_L 和 S'_R 组成空间基线 B ， B_x 、 B_y 、 B_z 是基线 B 的空间分量，如将 S'_R 任意移至 S_R 处，且 $S'_R S_R M_R M_L$ 保持为平行四边形，则观测结果与图 2-3 所示一致。如果仪器的两投影器已经固定在 S_L 和 S_R 的位置，图 2-4 的交会结果可看

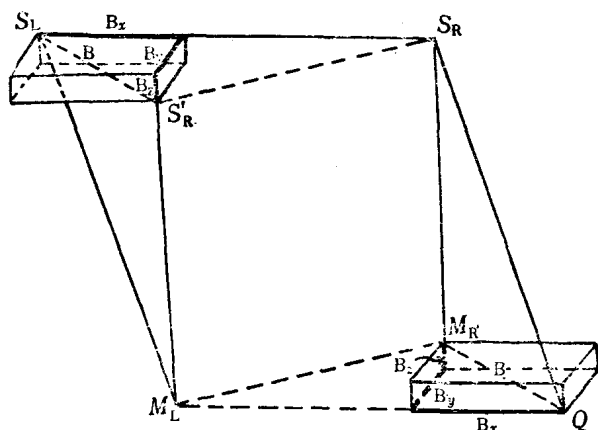


图 2-4

作是右方测标 M_R 是从原始位置 Q 经安置基线分量 B_x 、 B_y 、 B_z 后到达 M_R 的位置，这样同样能实现空间交会，因 $\triangle S_L S'_R M_L \cong \triangle Q M_R S_R$ ，可得 $Q M_R = S_L S'_R = B$ ，这就说明只需用移动右方测标 M_R 来安置投影基线 B 就能实现三角形加辅助平行四边形的交会。如果右方测标在 M_R 处不动，而移动左方测标，使左方测标从原始位置 Q 安置基线分量 B_x 、 B_y 、 B_z 后到达 M_L 的位置(图 2-5)，也能实现与图 2-4 一致的交会结果。上述两种情况，无论是右方测标或左方测标都能完成投影基线 B 的安置，最终安置的结果其测标位置都是向内的，亦即两测标间的距离要比投影器间的固定距离为短，这种安置的基线称为“正基线”。

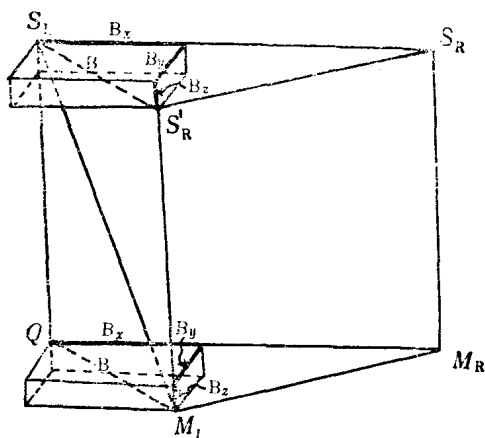


图 2-5

当第一个象对作业完毕后需进行连续象对作业时，可将象片Ⅱ留在原来右投影器内，而把第Ⅲ张象片安放在左方投影器内替换原来的第Ⅰ张象片，此时左方投影器内安放着第二个象对中的右象片，而右方投影器则安放着象对中的左象片。只要仪器的观测系统有使左眼能观测右投影器内的左方象片和右眼能观测左投影器内的右方象片的专门设备，并用测标向外安置基线分量，则同样能达到观测的目的。

由图 2-6 可知， $\triangle S_L S'_R M$ 仍表示原来的三角形交会时左投影中心、右投影中心和测标点的位置。如将测标 M 分成两个 (M_L 和 M_R)，把 M_R 和 S'_R 向左平行移动到 S_R, M_R 处，实际上 S_R 和 S_L 仍代表仪器上两个投影器固定不变的位置，此时由 $S_L S_R M_R Q$ 亦构成一个平行四边形，将测标 Q 安置基线分量 B_x, B_y, B_z ，后到达右方测标位置 (图上为 M_L) 这种安置基线的方向是朝外的，两测标间的距离比两投影器间的固定距离要长，所安置的基线称为“负基线”。

综上所述，应用三角形加辅助平行四边形的原理，在立体测图仪器上实现空间交会和量测，在仪器结构上必须做到下列各点：

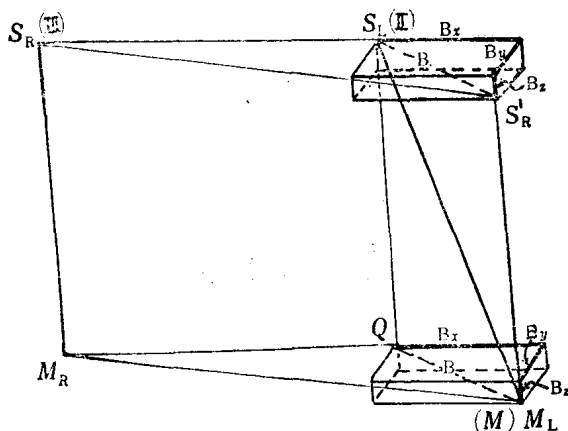


图 2-6

1. 必须具有双测标观测系统，使右投影器的投影光线落在右测标上，左投影器的投影光线落在左测标上，起到分象作用。
2. 仪器测标在三度空间内能够安置基线分量，保证投影光束在移动前后的方位不变。
3. 连续象对作业，象片传递顺序在仪器上要转换使用时，必须使左、右光路的观测路径随同转换。

第二节 变换光束测图原理

不同焦距的航摄影镜头所摄影的象片如象幅相等，其象场角是不等的。如果投影镜头与摄影镜头的焦距值相等，亦即两者的象场角相等，此时投影光线束是相似的，如果投影镜头焦距与摄影镜头焦距不等(图 2-7)，亦即两者的象场角是不等的，此时投影光线束是不相似的。图中 f 表示摄影镜箱焦距， f_1 表示投影镜箱焦距， 2β 表示摄影象场角， $2\beta_1$ 表示投影象场角。如果航摄影焦距和测图仪的焦距(主距)不相等，就产生了变换光束测图的问题。

一、单张象片的分析

1. 水平象片的分析

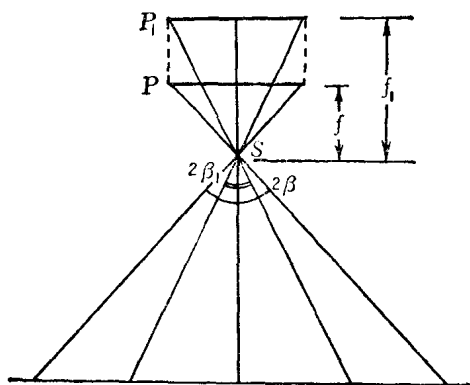


图 2-7

假设摄影镜箱的焦距为 f ，投影镜箱的主距为 f_1 ，且 $f_1 \neq f$ ，此时产生了光束的改变。由图 2-8，如果所摄水平象片 P ，沿 Z 轴平行移动至 P_1 ，象片上同名象点 m 移到 m_1 处，其象片坐标不变，即 $x_1 = x$ 。在保持地面点坐标不变时得 $X_1 = X$ 。

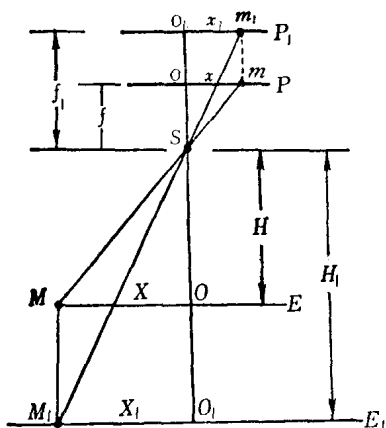


图 2-8

由相似三角形 Som 和 SOM 得

$$X = H \cdot \frac{x}{f}$$

由相似三角形 So_1m_1 和 SO_1M_1 得

$$X_1 = H_1 \cdot \frac{x_1}{f_1}$$

而水平比例尺为

$$\frac{1}{M_{\text{水}}} = \frac{x}{X} = \frac{x_1}{X_1} = \frac{f}{H} = \frac{f_1}{H_1} \quad (2-1)$$

由公式 (2-1) 知，改变投影光束作业建立的投影关系其水平比例尺不变。

由公式 (2-1) 可改写为：