

高等学校试用教材

航空摄影 测量学

(下册)

黄世德 主编



测绘出版社

高等学校试用教材

航空摄影测量学

下 册

黄世德 主编

测绘出版社

高等学校试用教材
航空摄影测量学（下册）

黄世德 主编

*

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 787×1092 1/16·印张 14.75·字数 340 千字

1987 年 6 月第一版·1987 年 6 月第一次印刷

印数 0,001—3,500 册·定价 2.50 元

统一书号：15039·新 612

前 言

本书是根据武汉测绘学院航空摄影测量与遥感专业的“航空摄影测量学”教学大纲编写的，可作为本专业日校学生和函授生的教科书；也可供测绘类专业的师生和工程技术人员自学参考。

全书分上、下两册。上册分十章，下册分九章，总共十九章。上册内容包括：投影几何基本知识、像片解析、立体观测法等摄影测量的基础理论与知识；像片纠正和制作像片平面图；模拟法立体测图的理论、方法和主要的仪器结构，以及正射影像技术（包括正射投影仪）等。下册内容包括解析空中三角测量；解析测图仪和机助测图；数字地形模型；立体测图的自动化，以及地面立体摄影测量的基本知识等。上册中第一章由金为铎编写，第二、四两章由盛浩然编写，其余各章由黄世德编写；下册中，第十一至十四章由黄世德与金为铎合编，第十五章由黄世德与吕言合编，第十六章由林宗坚编写，第十七、十八两章由张祖勋编写，附篇由冯文灏编写。全书由黄世德作统一修订。本书的内容着重于论述基本理论和基本技术，关于具体的作业方法则由另开设的实验课、课程设计和实习讲义来补充。

书稿承郑州测绘学院副教授钱曾波同志进行了初审和复审，提出许多宝贵意见；测绘出版社副总编林天冲同志代表教材编委会进行了审阅，也提出许多宝贵意见，使本书避免了不少的缺点和错误；又承郑志贞、王士虎、严烈和冯沅沅等同志帮助抄写和描绘插图，在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免还有缺点和错误，谨希读者不吝指正。

编 者

1984年9月于武汉测绘学院

目 录

第十一章 解析摄影测量基础	(1)
§ 11-1 像点坐标和像点坐标的量测.....	(1)
一、立体坐标量测仪.....	(2)
二、HCZ-1S 型立体坐标量测仪.....	(3)
三、精密的立体坐标量测仪.....	(3)
四、单像坐标量测仪.....	(5)
五、立体转点仪.....	(7)
§ 11-2 单像的空间后方交会.....	(7)
一、角锥体法.....	(7)
二、用共线条件的光线束法.....	(16)
三、空间后方交会的精度.....	(22)
§ 11-3 像对的相对定向元素关系式.....	(24)
一、连续像对的相对定向关系式.....	(24)
二、单独像对的相对定向关系式.....	(28)
三、相对定向元素的解算.....	(28)
§ 11-4 相对定向的精度分析.....	(30)
一、用六个定向点解求相对定向元素的精度分析.....	(30)
二、九点定向测求相对定向元素的精度.....	(32)
§ 11-5 模型的绝对定向.....	(33)
一、地面测量坐标与地面摄测坐标的变换式.....	(33)
二、绝对定向的基本公式.....	(34)
三、绝对定向元素的平差计算.....	(35)
§ 11-6 模型绝对定向的精度.....	(38)
一、高程量测误差的影响.....	(38)
二、平面坐标量测误差的影响.....	(39)
§ 11-7 测图工序中仪器安置元素的计算.....	(40)
一、全能法测图.....	(40)
二、分工法测图仪器的安置值和其它数据.....	(41)
三、纠正仪上纠正元素.....	(42)
第十二章 航带法解析空中三角测量	(43)
§ 12-1 连续法相对定向建立单个立体模型.....	(44)

§ 12-2 建立自由航带网	(44)
一、模型连接	(44)
二、摄影测量坐标的计算	(46)
§ 12-3 航带网的绝对定向	(46)
一、三维坐标的相似变换	(47)
二、航带网非线性变形改正	(47)
§ 12-4 航带法区域网的建立	(53)
§ 12-5 航带法区域网平差	(55)
一、建立误差方程式	(55)
二、法方程式	(57)
三、法方程式的解算	(59)
第十三章 独立模型法区域网空中三角测量	(61)
§ 13-1 建立模型	(61)
§ 13-2 建立误差方程	(62)
§ 13-3 平面与高程分求	(64)
一、平面部分	(65)
二、高程部分	(66)
三、平高迭代的解算过程	(66)
四、改化法方程式及其运算	(67)
五、模型编号顺序与改化法方程式的关系	(72)
§ 13-4 平高连解	(74)
§ 13-5 带状法方程的循环分块解法	(75)
第十四章 光线束法区域网空中三角测量	(78)
§ 14-1 概述	(78)
§ 14-2 确定像片外方位元素和地面点坐标的近似值	(79)
一、利用旧地图	(79)
二、利用航带法加密的成果	(79)
三、交替地进行空间后方交会与前方交会建立航带模型	(79)
§ 14-3 误差方程与法方程	(80)
§ 14-4 两类未知数交替趋近法	(86)
第十五章 解析空中三角测量的补充	(88)
§ 15-1 解析空中三角测量构网的其它方法	(88)
一、光线束角锥体法的构网原理	(88)
二、利用共面条件的构网法	(90)
§ 15-2 区域网加密的精度	(92)
一、理论精度的公式	(92)
二、理论精度估算实例	(93)

§ 15-3	自检校法区域网平差	(98)
§ 15-4	关于粗差的理论	(101)
一、	粗差的分类	(101)
二、	几种粗差理论的方法	(101)
三、	关于改正数 V 的理论	(102)
第十六章	解析测图仪和机助测图	(105)
§ 16-1	概述	(105)
§ 16-2	解析测图仪的硬件	(108)
一、	立体坐标量测仪	(108)
二、	接口设备	(109)
三、	计算机	(112)
§ 16-3	解析测图仪的软件	(112)
一、	输入、输出和控制方案	(112)
二、	计算方法	(113)
三、	计算机操作系统与摄影测量软件	(123)
§ 16-4	数控绘图桌与图形叠加监视器	(125)
一、	数控绘图的概述	(125)
二、	绘图的软件系统	(127)
三、	图形影象叠加监视器	(128)
§ 16-5	解析测图仪的检验	(129)
一、	准确度、精密度和稳定性检验	(129)
二、	光学系统质量检验	(131)
§ 16-6	几种解析测图仪简况	(131)
一、	Planicom C-100 (联邦德国)	(131)
二、	US-2 (美国)	(136)
三、	AP/C4 (意大利)	(139)
四、	Traster 型 (法国)	(140)
五、	DSR1 型 (瑞士 Kern 厂)	(141)
六、	BC2 型 (瑞士 WILD 厂)	(142)
§ 16-7	计算机辅助测图	(148)
一、	机助测图的功能	(148)
二、	绘图功能的实现	(149)
三、	模拟测图仪加机助测图系统	(151)
第十七章	数字地形模型	(153)
§ 17-1	概述	(153)
§ 17-2	数据的获取、预处理和存贮	(154)
§ 17-3	摄影测量内插	(157)

一、局部函数内插法·····	(158)
二、移动拟合法·····	(161)
三、最小二乘法内插·····	(162)
四、同时分块多项式内插(有限元法)·····	(166)
§ 17-4 等高线的自动绘制·····	(167)
一、内插格网边上的等高线点与排列·····	(167)
二、等高线点的插补·····	(170)
第十八章 立体测图的自动化 ·····	(172)
§ 18-1 自动化测图系统的基本原理·····	(173)
§ 18-2 扫描系统及其有关问题·····	(175)
一、扫描系统·····	(175)
二、核线扫描·····	(177)
三、扫描图形的改正·····	(177)
§ 18-3 影象相关的基本理论·····	(179)
一、探求影象相关的几种数学方法·····	(179)
二、相关函数的频谱分析·····	(182)
三、相关系数与线性拟合·····	(183)
§ 18-4 相关的方法·····	(184)
一、电子相关·····	(184)
二、数字相关·····	(186)
三、光学相关·····	(190)
§ 18-5 自动解析测图仪·····	(192)
一、自动解析测图仪 AS-11-C 型·····	(192)
二、AS-11B-X 高程数据采集系统·····	(194)
三、GPMⅣ 型自动测图仪·····	(195)
附篇 地面摄影测量 ·····	(199)
§ 1 概 述·····	(199)
§ 2 地面摄影测量的基本公式·····	(200)
一、像点的像空间坐标与摄影测量坐标关系式·····	(200)
二、摄影测量坐标系中像点与物点的坐标关系式·····	(201)
三、摄影测量坐标与地面坐标的关系式·····	(205)
§ 3 地面摄影测量的外业仪器和装备·····	(206)
一、摄影经纬仪 DJS19/1318-1 型介绍·····	(206)
二、其它类型的地面摄影机·····	(206)
§ 4 地面摄影测量的外业工作·····	(209)
一、踏勘及控制测量·····	(210)
二、摄影站的布设·····	(210)

三、检查点的布设·····	(212)
四、外业的观测工作·····	(213)
五、摄影及摄影处理·····	(213)
§ 5 地面摄影测量的内业工作·····	(213)
一、仪器结构·····	(213)
二、1318 型地面立体测图仪的作业方法 ·····	(215)
§ 6 地面摄影测量的误差来源、影响及其改正·····	(216)
一、像点坐标误差及基线误差对摄测坐标的影响·····	(216)
二、内方位元素误差对像点坐标和左右视差的影响·····	(217)
三、内方位元素必须的测定精度·····	(219)
四、外方位角元素误差对像点坐标和左右视差的影响·····	(219)
五、外方位角元素必须的测定精度·····	(220)
六、外方位元素误差引起的点位变化规律·····	(222)
七、地面立体测图仪上消除外方位元素误差的作业步骤·····	(226)

第十一章 解析摄影测量基础

二十世纪三十年代, 美国人丘奇 (E. Church) 用解析的方法建立了空间光线束锥体原理, 并应用于空间前方交会、后方交会和双点交会的解算。它使用手摇计算机迭代运算, 成为一种数值测图和控制点加密的解析方式, 但限于当时的条件, 并不具有实用的价值。以后由于计算机技术的发展和它在摄影测量中被广泛的应用, 开辟了解析摄影测量的新纪元。这一方法随即应用于空中三角测量中(即解析空中三角测量)。最初是单航带的解析空中三角测量, 其后又连接多条航带而发展为区域网平差。在方法上分有航带法、独立模型法和光线束法等。目前正研究在空中三角测量平差过程中剔除粗差的理论, 以及引入附加参数以顾及残余系统误差的理论与技术(称为自检校法)。此外, 现代发展的数字地形模型、解析测图仪、数字化全自动测图以及遥感图象的几何改正等都要应用解析摄影测量的基础知识, 这一基础知识在本教材上册第三章《航摄像片解析》中已作了部份介绍, 本章则扩充其内容并作进一步的阐述。

§ 11-1 像点坐标和像点坐标的量测

现代, 航空摄影机的像主点与像片框标中心点的差异已校正至很小的数值, 所以, 在地形测图中可以就用框标中心点来代替像主点。而在解析摄影测量中, 通常仍把它作为像平面坐标系的原点, 然后, 在量测的像点坐标中, 加入 x_0 、 y_0 的改正, 并归算至以像主点为原点的像平面坐标系中。

以近似于航线飞行方向为像点坐标的 x 轴, 在量测时可按具体情况作不同的选择。例如, 需有统一的坐标时, 可以用航向两对边中央的框标连线作为 x 轴或者用在它附近的一个刺孔(可制作一张这样的透明模片便可在所有像片上都得出这样的刺孔)作为辅助点, 把像主点连接此辅助点(刺孔)的方向作为 x 轴; 当不要求有统一坐标系时, 如对于单模型(独立像对)来说, 则可以采用像主点连线(方位线)做为 x 轴。

必须指出, 在本章和以下各章里所用的像点坐标 x_i 、 y_i 都应该是在像片上量得的像点坐标值 x'_i 、 y'_i , 加入物镜畸变、摄影材料变形、大气折光差和地球弯曲等因素改正后的数值(改正的关系式见第三章)。

量测像点坐标的仪器有单像坐标量测仪、立体坐标量测仪和精密立体坐标量测仪等。量测时, 通常先将像片的框标中心点(通常也把它叫作像主点)放置在仪器安片盘的旋转中心上, 借仪器安片盘的旋转使像片的 x 轴与仪器 X 轴相平行, 然后, 通过仪器的机械运动, 用观测镜中的测标对准某像点即可得出该像点的坐标。有的仪器可任意放置像片, 先根据量测像片的四个框标坐标值归算出像片与仪器坐标系的定向元素(原点平移值和旋转角), 然后根据各像点的量测值归算得其像平面坐标值。此外, 为了在相邻像片或有重叠

影像的像片上，不是明显地物处，能准确地转刺出同名像点，这需要应用精密的立体转点仪。在航空摄影测量中应用最多的是立体坐标量测仪，立体坐标量测仪（包括精密的）的型号很多，现仅举在我国应用较多的型号介绍于下：

一、立体坐标量测仪

早在 1901 年德国人普甫列希 (Carl Pulfrich) 在蔡司工厂创制了第一台立体坐标量测仪。当时用于地面摄影测量，以后也用于航测，八十多年来形式上虽有许多改进，出现了多种型式，但其结构原理并无大改动。图 11-1 为民主德国蔡司 (耶拿) 厂造的 1818 型立体坐标量测仪的全貌图。我国仿造的型号为 HCZ-1 型，它与蔡司 1818 型相比在外形和功能方面基本相同，仅结构上略有改进。它用来量测尺寸为 $18 \times 18\text{cm}$ 的像片上像点的平面直角坐标 x_1 、 y_1 和左右视差 p 、上下视差 q 。此仪器作局部改装后，也可量测像幅 $23 \times 23\text{cm}$ 的像片。

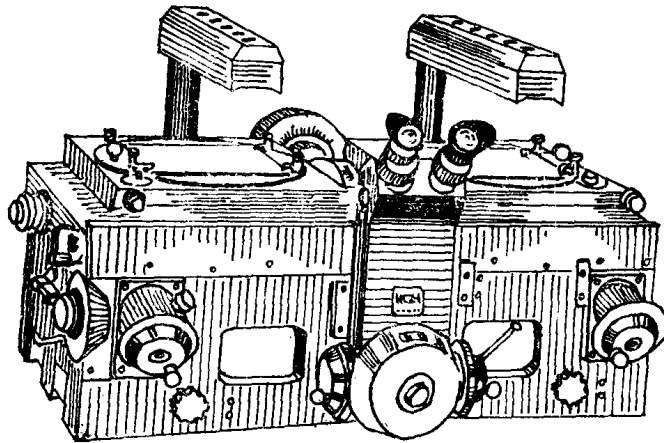


图 11-1 JENA 1818 立体坐标量测仪

仪器的基本结构主要由基座、总滑床、Y 车架、观测系统和照明系统等五部分组成。基座支撑仪器的总滑床、Y 车架等全部部件，底部有两个可调螺旋，用以置平仪器。总滑床亦就是 X 车架，它通过四对滚珠轴承与基座的导轨连接。左、右像片盘由各自的 x 车架与总滑床相连。转动 X 手轮，它们可随总滑床一起作 X 方向移动，即左像片的像点坐标 x 在移动，其值可在 X 手轮的读数鼓上读得，最小分划值为 0.02mm 。右车架安置在总滑床上面，借左右视差手轮可使右像盘相对于总滑床沿 X 方向移动，移动值即为左右视差 p ，它可以从左右视差读数鼓上读出，其最小分划值为 0.005mm 。左车架借助调整螺旋也可相对于总滑床作 X 方向移动，此为调整仪器的零位置时用。左右像片盘可借 κ 螺旋在各自的平面中旋转，如把齿轮脱开，像片盘可旋转 360° 。像片盘承片玻璃中央刻有“+”，为其旋转中心。有的仪器上并无“+”字记号，但在承片框边缘刻有框标线，作为像片归心用。Y 车架固定在基座内两根圆形精密导轨上。借 Y 手轮可使观测系统的物镜作 Y 方向移动，其值可在读数鼓上读出，最小分划值为 0.02mm 。 q 手轮可使右物镜相对于左物镜作前后移动，用以量测上下视差，在读数鼓上读数，最小分划值为 0.01mm 。

图 11-2 是民主德国 1818 型立体坐标量测仪观测系统的结构示意图。它由固定的和可

动的两部分光学系统组成。像片盘上的像片 p_1 (p_2) 位于物镜 o_3 (o_4) 的焦面上, 物镜 o_3 和 o_1 (或 o_4 与 o_2) 之间的光线为平行光, 以适应 Y 手轮的转动。平行光经过固定的物镜 o_1 (o_2) 后聚焦于测标镜平面上, 得到清晰的影象, 由目镜观察, 影象的总放大率为 8 倍。双筒目镜可以调节, 以适应观测者的视力; 两目镜间距离也可调节, 以适应观测者的眼基线。目镜上有楔镜可改变视轴的上下位置, 用于调节观测者眼睛视轴的上下偏差。

照明设备有上、下两套光源, 可供透光的和不透光的两种像片的量测之用。

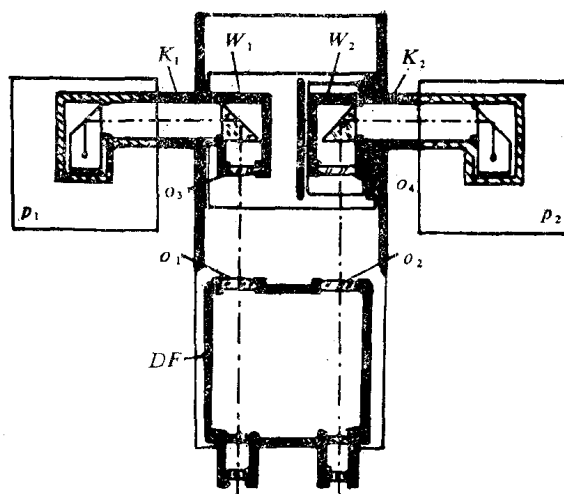


图 11-2

二、HCZ-1S 型立体坐标量测仪

在 HCZ-1 型基础上装配了坐标的自动记录装置, 称为 HCZ-1S 型立体坐标量测仪。坐标记录装置可将量测的像点坐标显示、打印和在纸带上穿孔。纸带的穿孔只适用于国产 108 型、DJS-5 型和 441-B 型电子计算机, 若是其它型号的计算机则要另进行改装。

三、精密的立体坐标量测仪

通常把量测像点坐标的最小读数可至 $1\mu\text{m}$, 量测精度可达 $3\mu\text{m}$ 以内的立体坐标量测仪, 称为精密的立体坐标量测仪。这一类仪器一般都具有自动记录和纸带穿孔的功能。型号甚多, 如民主德国蔡司 (耶拿) 厂制造的 Stecometer、联邦德国蔡司 (欧波同) 厂制造的 PSK 型, 意大利 OMI 公司造的 TA-3P 型, 瑞士威特厂制造的 STK 型等, 它们的功能基本上相同, 但结构形式则各有其特点。现以联邦德国制造的 PSK-2 型 (见图 11-3) 为例简介于下:

1. 结构特点

仪器的主要精密部件置于密封箱体内部。像片架安放在竖直的位置, 像片与量测格网板竖直贴放在一起, 像片尺寸可至 $23 \times 23\text{cm}$ 。测标固定不动, 是直径 $25\mu\text{m}$ 的黑点或直径 $350\mu\text{m}$ 的圆圈。由附加的光学部件把带测标的影象一起投入观测目镜中。承片玻璃板即量测格网板, 刻有间隔为 5mm 的精密方格网。光路中装着刻有间隔为 0.1mm 精度达 $1\mu\text{m}$ 的短分划线玻璃板, 用测微螺旋使精密格网与短分划线重合来读取毫米以下的小数。

由于左、右像片均竖直放置, 故像点 x 坐标的量测是使像片沿仪器的前、后方向运动; 像点 y 坐标的量测是观测系统作上下运动。左、右两像片架可作共同的运动, 亦可单独运动, 从而测得像点坐标 x_1 、 y_1 和 x_2 、 y_2 。为了操作方便, 把沿 X 方向移动的手轮和按钮都置于仪器的左侧, 沿 Y 方向移动的手轮和按钮都安置于仪器的右侧, 且有快、慢两种传动速度。通过不同的按钮和开关控制的作用, 使所有的 X 方向的移动都由 X 手轮操纵; 所有 Y 方向的移动, 都由 Y 手轮来操纵。这是该仪器的特点之一。

目镜视轴下倾 30° 角, 视场直径为 $10 \sim 15\text{mm}$, 放大倍率可用调换目镜的方式改变,

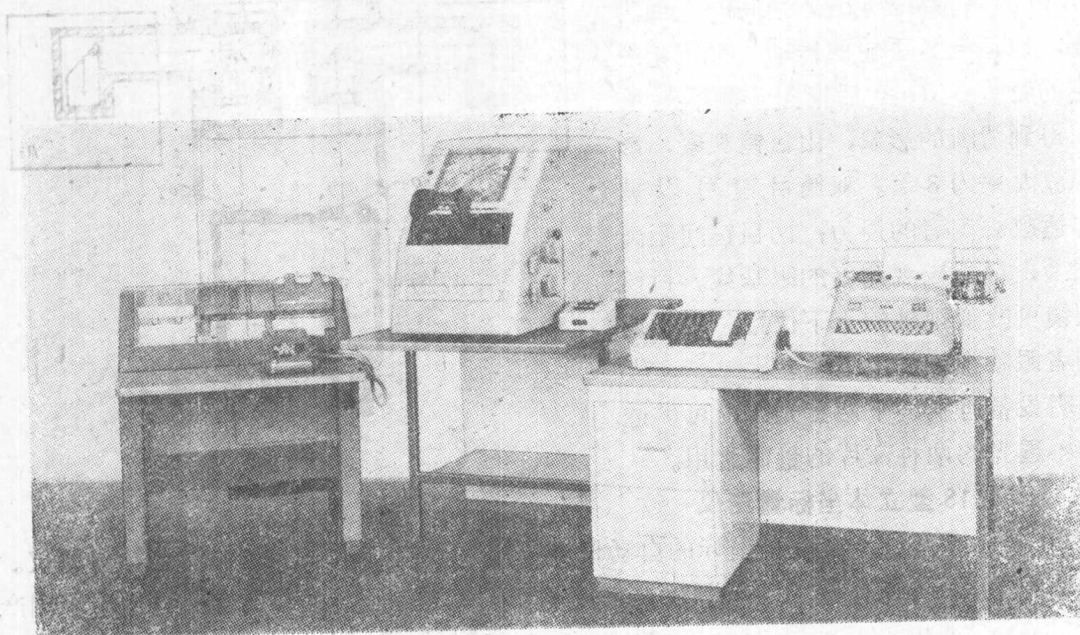


图 11-3 OPTON 厂 PSK 型立体坐标量测仪全貌图

有 $8\times$ 、 $12\times$ 和 $16\times$ 三种。与眼同高的地方有一个指示屏，由 400 个指示灯构成。安放观测的左方像片后，指示灯随时指出左测标照准的部位，即从像片上可看到一个直径 8mm 的亮点随物镜移动，指示测标在像片上移动，有利于找点。

仪器的照明设备有透光的和反光的两套。在透光照明下可看到像片影像而看不见格网，便于进行立体观测；而在反光照明下则只看到格网而看不见像片的影像，用于读取像点的坐标值。

2. 观测系统

观测系统的光路结构如图 11-4，它有固定的光学系统（包括目镜、转向棱镜等）和可动的光学系统两部分所组成。可动部分与固定部分之间为平行光束。观测像片的 y 坐标时，可动部分的光学系统沿竖直导轨上下移动。可动部分的光学系统由棱镜和物镜组成，棱镜装在格网板后面，像片上的影像经过物镜成像在测标盘上，由目镜进行观测。光路中还设有道威旋像棱镜，当影像旋转 90° ，可将上下视差转换为左右视差以提高量测 ΔY （或 y_2 坐标）的精度。此外，因安片时不进行归心定向，所以立体观察也需用旋像棱镜来拨正；光路中还设有一个反像棱镜，当使用负片代替正片作业时，拨动转向调节杆，可达到正像-反像的转换，在光路中还设有左、右光路互换的设施，供连续像对观测用。

3. 量测像点坐标

首先，仪器接通电源，按照规定的操作步骤，确定量测机构的起始位置（即零位置），

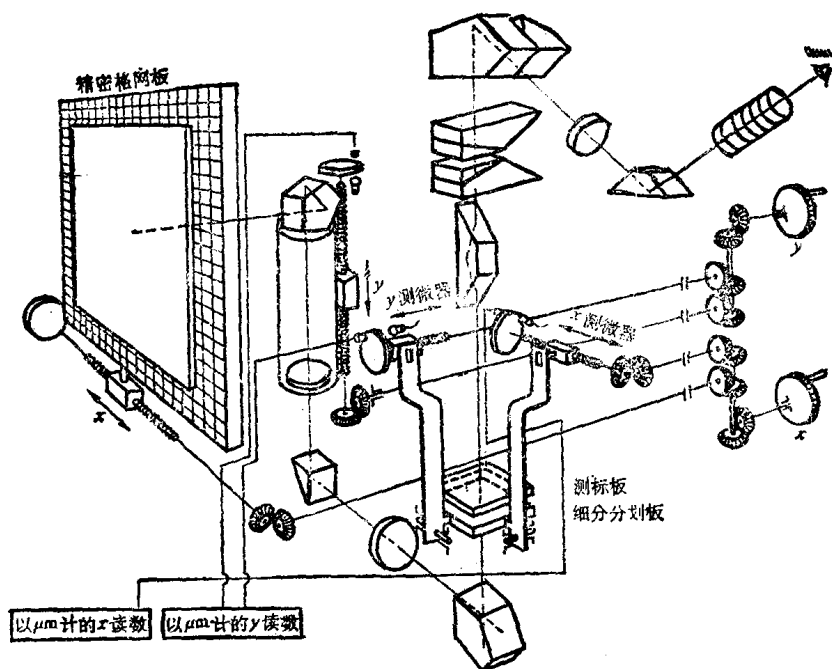


图 11-4

使仪器达到可以进行量测的条件，然后安置像片(不必归中，即可不刺出主点等)，按照“常用程序”(仪器说明书中介绍的量测程序)进行像点坐标的量测。

PSK-2 可选用两种量测方式：(1) 全部是依据丝杆带动编码器旋转来得出的坐标读数。这时，坐标值最后一位读数的单位是 μm ，然而其增量是 $5\mu\text{m}$ ，称为第二类精度；

(2) 如上述情况丝杆转动时发出的脉冲增量为 $100\mu\text{m}$ ，其余的微数则由分划尺移动时另一编码器来补充，读数为二者之和，它的增量为 $1\mu\text{m}$ ，称为第一类精度。这两种量测方式是通过按钮和相应的程序来选用的。

作业时，先用透光照明(后照明)，这时在目镜视场中只看到像片影像和测标，看不到格网线；当照准了量测点以后，如采用和其它立体坐标量测仪一样，就输出像点坐标值，它是第二类精度的坐标值($5\mu\text{m}$)；如用透光照明使测标照准量测点时不输出坐标，而再用反光照明(前照明)，这时目镜视场中只看见发亮的格网线、测标和分划尺，看不见像片影像了。之后通过 X、Y 手轮移动分划尺，使在 $\pm 0.6\text{mm}$ 范围内与格网线最靠近的一条分划线同格网线相重合，这时输出的像点坐标值就是增量为 $1\mu\text{m}$ 的第一类精度了。前已指出，这些量测工作，都必须正确地使用仪器上的按钮并按照仪器说明书中规定的顺序进行，这里不作详细介绍。

PSK-2 精密立体坐标量测仪与 Ecomat 21 型电子记录装置连接使用，记录的是像点坐标 x_1 、 y_1 和 x_2 、 y_2 ，数据的输出可以存贮在磁带上，或由电传打字机打印出来，也可以与穿孔机连接在卡片或纸带上穿孔。

四、单像坐标量测仪

这类仪器严格按照阿贝比长原理，在一张像片上精确地量测像点坐标 x 、 y 的值。除

可用于航空摄影测量外，在非地形摄影测量、天文测量及遥感像片的量测中也有着广泛的应用，它有好几种型号，也都具有自动记录装置。图 11-5 为民主德国蔡司厂制造的 *Ascorecord* 型单像坐标量测仪全貌图。同类产品中有联邦德国欧波同厂生产的 PK-1 型，瑞士克恩厂制造的 MK2 型等。

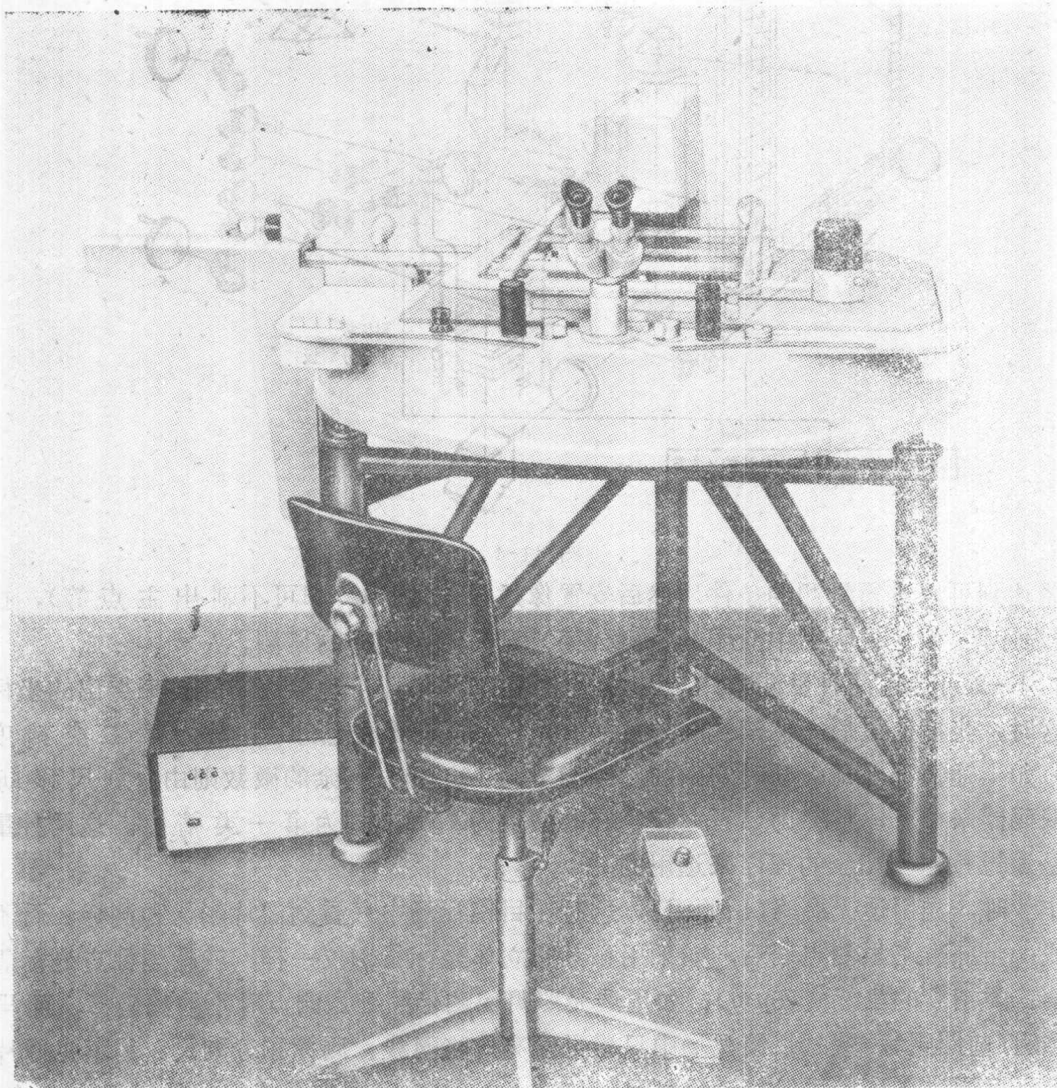


图 11-5 *Ascorecord* 单像坐标量测仪全貌图

Ascorecord 单像坐标量测仪可量测像幅 $30 \times 30\text{cm}$ 的 x 、 y 坐标，量测坐标的最大平均误差 $< \pm 0.4\mu\text{m}$ 。量测某像点时通过一个双平行四边形的机件控制移动像片框，而且，总是把所观测的像点放在量测刻尺的延长线上。

仪器上像片框的主要部件是具有较高研磨精度的相互垂直的两条直边。在这些边上用弹簧把量测玻璃尺顶住。玻璃刻尺的移动可以估读到 $0.1\mu\text{m}$ 。但采用增量脉冲计数方法进行记录，记录的精度只有 $3\mu\text{m}$ 。选用不同的物镜和目镜，观测显微镜的放大率有 $18\times$ 、 $29\times$ 、 $36\times$ 或 $58\times$ 。刻度读数的放大率有 $45\times$ 和 $75\times$ 两种可供选用。仪器配有电动打字机、

纸带阅读器、纸带穿孔器和编码译码器等附属装置。

在空中三角测量中,需量测相邻像片上同名点的坐标,因此单像坐标量测仪必须与立体转点仪配合使用。

五、立体转点仪

立体转点仪是专用于转刺同名点的仪器。主要特点是转刺同名点的精度高,而且可在具有相同影像但比例尺不同的相邻像片上转刺同名点。它有多种型号,如瑞士威特厂制造的 PUG 型、联邦德国欧波同厂生产的 PM-1 型,民主德国蔡司厂生产的 TRANSMARK 型。图 11-6 为瑞士威特厂出产的 PUG4 型立体转点仪。

在观察系统中通过 Zoom 系统使影像的放大率可以为 $6\times\sim 24\times$ 。利用透射光进行立体观察。还备有旋像棱镜,用以得到立体影像和正、反立体效应。像片对分别放在左、右像盘上,用手推移,在欲刺孔的局部范围内得到立体效应,再用 X 、 Y 微动螺旋使左测标对准所刺的点,又用 ΔX 、 ΔY 微动螺旋使右测标对准其同名点(即立体照准),然后按下刺点钮,刺点针即垂直地在药膜上旋转刺出明显的直径为

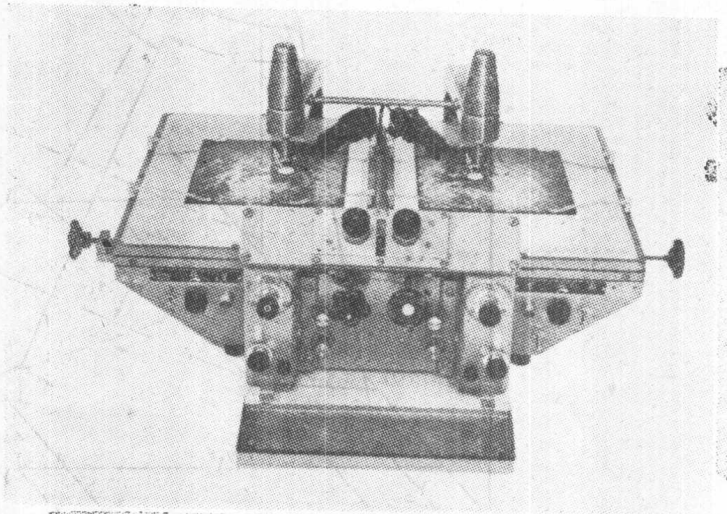


图 11-6 威特厂 PUG4 立体转点仪全貌图

0.06 mm 的圆孔。刺点针旁附有夹玻璃铅笔的夹头,在刺孔的同时它自动放下绕点画一个圆圈记号。

刺点针下面有漫射盘,用以调节光线和照亮视场,它在刺点时自动移开。刺点后要在立体观察下检查刺点的正确性。为了补偿透明正片不同厚度的影响,对左、右观测系统可独立地进行调整。

§11-2 单像的空间后方交会

空间后方交会是利用地面控制点及其在像片上的相应像点确定像片外方位元素的方法:

一、角锥体法

角锥体法又称丘奇法(Church method),它是应用摄影光线束角锥体中在像方空间和物方空间相应光线间顶角相等的原理,来确定像片的外方位元素。该方法特点之一是将六个外方位元素的待定值分成两个步骤来求解:先根据地面控制点的坐标(及其像片上相应点的坐标)确定摄影站的空间坐标 X_s 、 Y_s 、 Z_s ;在上述结果的基础上再确定像片的角方位元素(简称角元素)。该法计算比较简单,计算的工作量也较少。因解算的基本公

式是严密的，所以，对竖直摄影的和倾斜摄影的像片都可应用，亦可应用于解析空中三角测量中。

如图 11-7，假设从空中摄站点 $S(X_s, Y_s, Z_s)$ 摄得像片 p ，在像片包括的区域内

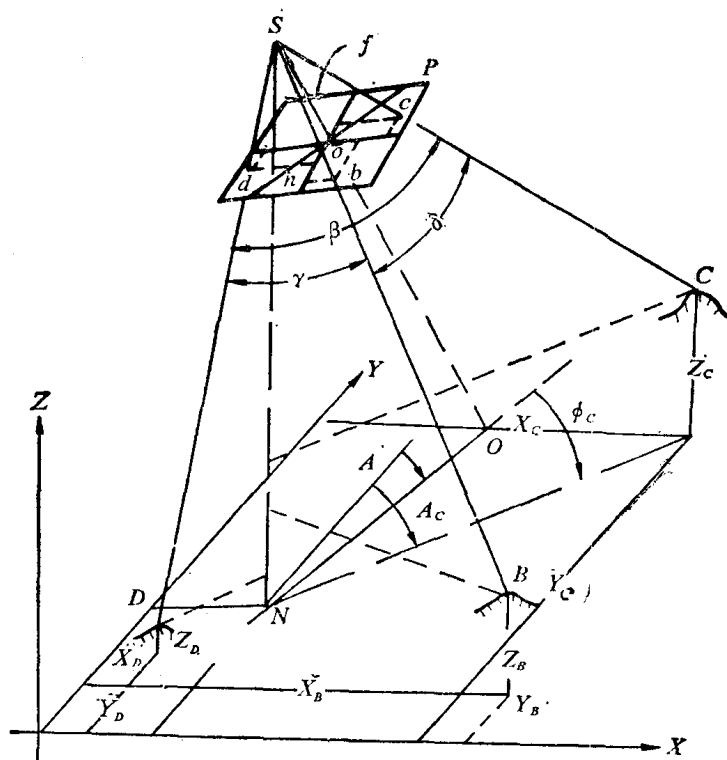


图 11-7 角锥体法

有三个以上地面控制点，如有 $D(X_D, Y_D, Z_D)$ 、 $B(X_B, Y_B, Z_B)$ 、 $C(X_C, Y_C, Z_C)$ 三个点，它们在像片上的影像为 $d(x_d, y_d)$ 、 $b(x_b, y_b)$ 、 $c(x_c, y_c)$ 。摄站点 S 与像点 d 、 b 、 c 的连线可组成一个光线束的角锥体。同样， S 点与地面控制点 D 、 B 、 C 亦可组成光线束的角锥体。这两个光线束的角锥体应该是完全相同的。 SdD 、 SbB 、 ScC 均应是一条直线，因此，两个角锥体上相邻光线间组成的角度亦应相等，亦即 $\angle dSb = \angle DSB$ 、 $\angle dSc = \angle DSC$ 、 $\angle bSc = \angle BSC$ 。 S 点相对于像片的位置是已知的(像片内方位元素)，但 S 点相对于控制点 D 、 B 、 C 等的位置是未知的。然而通过适当近似值代入，应用上述的基本原理，就可解求出它的空间位置，即 X_s 、 Y_s 、 Z_s 。同样， S 点空间坐标值已知后，就可以应用类似的方法解求得像片的角元素。

由解析几何知，由 S 点与各像点组成的角锥体顶角的方向余弦为：

$$\left. \begin{aligned} \cos dSb = \cos \gamma &= \frac{x_d x_b + y_d y_b + f^2}{\overline{S_d} \cdot \overline{S_b}} \\ \cos bSc = \cos \delta &= \frac{x_b x_c + y_b y_c + f^2}{\overline{S_b} \cdot \overline{S_c}} \\ \cos dSc = \cos \beta &= \frac{x_d x_c + y_d y_c + f^2}{\overline{S_d} \cdot \overline{S_c}} \end{aligned} \right\} \quad (11-1)$$