

地面立体摄影测量



吳甲生 徐介民 編著

冶金工业出版社

地面立体摄影测量

吴甲生 徐介民 编著

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书共分十二章，系统地介绍了地面摄影测量的基本理论、地面摄影测量仪器、仪器操作和应用地面摄影测量方法测绘矿山地形图的全过程。

本书可供矿山地形测量、地质勘探、物探、工程设计勘察、工业建筑测量等测绘专业人员使用；还可供资源考察、冰川研究、水文研究、气象研究、地震震情研究、文物考古人员以及高、中等院校测绘专业师生参考。

地 面 立 体 摄 影 测 量

吴甲生 徐介民 编著

冶金工业出版社出版
新华书店北京发行所发行
冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 11 7/8 字数 311 千字

1976年2月第一版 1976年2月第一次印刷

印数0,001~6,500册

统一书号：15062·3191 定价（科三）1.15 元

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快
好省地建设社会主义。

开发矿业

在生产斗争和科学实验范围
内，人类总是不断发展的，自然
界也总是不断发展的，永远不会
停止在一个水平上。因此，人类
总得不断地总结经验，有所发
现，有所发明，有所创造，有所
前进。停止的论点，悲观的论点，
无所作为和骄傲自满的论点，都
是错误的。

前 言

在毛主席“**开发矿业**”的伟大号召下，我国冶金矿山生产建设正以高速度向前发展。为了多快好省地开发矿山、建设矿山，冶金勘察有关单位，自一九六〇年以来，对地面立体摄影测量技术应用于大、中比例尺地形测量，进行了试验和生产，取得了一定成效。十多年的实践证明，地面立体摄影测量这种方法具有测图质量好，效率高，野外劳动强度低，生产较为安全等优点。因此，目前已成为矿山生产建设、工程测量部门、地质勘探部门测绘地形图的一种有效方法。

为了总结经验和技术交流，我们根据十多年的实践体会，搜集和整理了一些国内外这方面的资料，从一九七二年开始打算编写这本书。我们的想法得到了冶金部成都勘察公司党委的热情支持和具体指导。在公司各级领导的具体指导和地面立体摄影测量组同志们的协助下，完成了本书的编写工作。

本书在编写过程中承蒙各兄弟单位提供了宝贵的经验，冶金部北京矿冶研究院的同志提供了译文资料，国家地震局武汉地震大队张海根同志对本书作了几次修改，在此向他们一并表示感谢。

由于我们水平有限，书中缺点和错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编著者

一九七五年一月

目 录

第一章 地面立体摄影测量的概述	1
第一节 摄影测量学的任务和分类	1
第二节 我国地面立体摄影测量应用情况	2
第三节 关于非地形测量的应用	5
第二章 地面立体摄影测量的基本原理	7
第一节 透镜的一般特性	7
第二节 中心投影的透视影像	11
第三节 立体摄影象对和立体视觉	13
第四节 地面立体摄影测量三种坐标系统	16
第五节 地面立体摄影方式及其基本作业公式	18
第六节 内方位元素和外方位元素	26
第七节 摄影比例尺、模型比例尺和测图比例尺	28
第三章 地面立体摄影测量误差理论	30
第一节 内方位元素误差	30
第二节 外方位元素误差	32
第三节 观测误差对象点坐标的影响	40
第四章 摄影经纬仪	44
第一节 概述	44
第二节 几种常用的摄影经纬仪	49
第三节 双镜头的立体摄影仪	69
第五章 内、外方位元素误差的野外测定	74
第一节 利用后方交会的方法确定内方位元素	74
第二节 利用定向设备的固定角测定内方位元素	84
第三节 考虑了外方位元素误差影响的方法确定内方位元素	91
第四节 在专门设置的场地上测定内方位元素	67
第五节 按后方交会原理确定外方位元素误差	100
第六节 按相片控制点确定外方位元素误差	103
第七节 外方位元素误差 $d\varphi$ 的确定	107
第六章 地面立体摄影测量的外业	111

第一节	准备工作	111
第二节	摄影经纬仪的野外检校	112
第三节	摄影基线和摄影竖距之间的关系	115
第四节	摄影方式、摄影象对、象场角和摄影面积之确定	122
第五节	摄影基线的选定	126
第六节	相片控制点	131
第七节	控制联测及其像对摄影	136
第八节	摄影基线测量	139
第九节	相片调绘和外业成果整理	144
第十节	隐蔽地区的补测	147
第七章	摄影感光材料及摄影处理	149
第一节	感光材料	149
第二节	显影、定影原理及其药液成分组成	155
第三节	负片冲洗和印象技术	159
第八章	地面立体摄影测量的立体测图仪器	162
第一节	概述	162
第二节	1318立体自动测图仪	164
第三节	工程测图仪	199
第四节	地面测图仪	237
第五节	威特 A ₄₀ 短程自动测图仪	242
第六节	能够处理地面立体摄影象对的主要航测仪器	243
第七节	各种立体测图仪器性能比较	256
第九章	光学机械法测图	258
第一节	1318立体自动测图仪的使用	258
第二节	工程测图仪的使用	275
第三节	威特 A ₇ 自动测图仪处理 P ₃₀ 摄影经纬仪的相片	278
第四节	地形、地貌的测绘	286
第五节	关于地形图的精度问题	290
第十章	相片量测和解析法测图	295
第一节	立体坐标量测仪简介	295
第二节	立体坐标量测仪的使用	298
第三节	解析法测图的一般介绍	300

第四节	图解法测图的一般介绍	302
第十一章	内业加密相片控制和摄影站大地坐标的反算	308
第一节	按标准公式进行加密计算	308
第二节	按摄影交会法进行加密计算	318
第三节	旁点交会导线法加密相片控制点	337
第四节	暂定竖距公式以及暂定基线公式	342
第五节	根据两个已知点确定摄影站大地坐标	346
第六节	在两已知点竖距差未知条件下确定摄影站大地坐标	351
第十二章	附篇	359
第一节	野外摄影小组装备	359
第二节	仪器的维护和运输	360
第三节	有关的数据	362
第四节	1318立体自动测图仪的安装及注意事项	362
第五节	工程测图仪的安装	366

第一章 地面立体摄影测量的概述

第一节 摄影测量学的任务和分类

摄影测量学是以摄影获得的相片为量测的基础，研究如何确定所摄物体的形状、大小及其空间位置的一门科学。由于相片能够真实而详细记录摄影瞬间的客观物体，所以被广泛应用在地形测量学，天文学，建筑学及其它科学技术研究领域。应用于测绘地形图的叫做地形摄影测量。随着摄影、化学、航空、光学仪器、电子仪器等科学不断发展，摄影测量也已应用于各个要求量测的领域。目前摄影测量已广泛应用到地形测量。

地球表面的地形及地物象片可以从空中或地面上摄得，应用这些象片通过立体测图仪器进行地形测量，如果是空中摄影的称为航空摄影测量学（以下简称航测），地面上摄影的称为地面摄影测量学（以下简称地测）。

地面摄影测量从方法上分类，可分为单片观察法和立体观察法，单片观察法仅用于少量的点需要量测的情况，如，应用于地面摄影测量加密控制测量；立体观察法广泛地应用于地面摄影测量加密控制和地形测绘，其方法和原理与航测基本相同。

地面立体摄影测量还可以按所摄影的目标是否活动来分类，可分为静态、类静态和动态等三种目标的地面立体摄影测量。静态目标的地面立体摄影测量，如多数情况下测绘地形资料及其应用都是这个范畴的；类静态目标的地面立体摄影测量是应用一系列的摄影研究移动目标与静态位置间的相对关系，这种摄影时间的间隔可由几秒钟到几年，如：冰川移动的研究。为了研究冰川的移动需要若干个按年的摄影；与此不同的另一方面，如震动的研究，要求很迅速地完成一系列的摄影曝光；动态目标的地面立体摄影测量是研究动态目标运动规律的，一般要求进行一系列的

摄影。这时曝光时间成了很重要的因素，往往涉及到位置相对于时间的关系，所以使用的摄影仪器必须是曝光的相对时间是已知的。这也有两种情况：一种是摄影机站是固定的，而动态目标在移动；另一种是需要将摄影仪器装在车上边运动边摄影。如果要作立体摄影，就要求相对移动需按要求的速度进行间歇的曝光，并且是同步的立体摄影。这种研究对象如：导弹弹道摄影测量，海浪摄影测量等。

就地形测量而言，航空摄影测量和地面立体摄影测量这两种方法有各自的不同用途和局限性。一般地说编制大面积的、区域性的地形图，进行航空摄影测量较好，特别是解决全国性的测图工作，航空摄影测量具有明显的优越性和必要性。地面立体摄影测量对测制小面积的、局部性的山区地形图有它的灵活性及优越性。随着我国矿山生产建设事业的发展，地面立体摄影测量应用在地形测量方面将会有很大的发展。

第二节 我国地面立体摄影测量应用情况

我国水利电力部门在电站设计、坝址、围堰、水系的大比例尺地形测量中采用了地面立体摄影测量工作。

冶金勘察单位十年来已应用地面立体摄影测量工作完成了不少的大中型金属矿山的地形测量。

铁道勘察设计单位也很早应用地面立体摄影测量作为航测成图的补充工作进行铁路选线，车站场地，桥涵隧道的大比例尺地形测图。

科学院在冰川及综合考察方面很早开始研究地面立体摄影测量的应用。西藏高原的珠穆朗玛峰地区的地形图便是应用地面立体摄影测量方法完成的。

近几年来，有些省的地质局及冶金设计部门应用地面立体摄影测量多快好省地完成了不少山区大比例尺的地形测图。

从很多测量单位应用地面立体摄影测量的情况看，它在工作效率和成图质量方面比平板仪测图有明显的优越性。从成图质量

的精度统计来看：一般地说，对于比例尺 1:1000 的地形图，平均等高线高程中误差为±0.5米左右；对于比例尺 1:2000 的地形图，平均等高线高程中误差为±1.0~±1.5米之间；对于比例尺 1:5000 的地形图，平均等高线高程中误差为±4.0~5.0米之间。从测量的劳动强度来看：将大量外业工作移到内业来进行，从而改善了劳动条件，在效率上有明显的提高。但由于地形条件、交通情况、技术熟练程度的差别，一般来说工效比平板仪测图提高约1~3倍。下面举例说明地面立体摄影测量和平板仪测图的精度和效率的对比：

例如：冶金勘察系统在1960年，1962年曾组织两次试验，其结果列于表1—1：

表 1—1

测区名称	测图比例尺	等高线高程中误差(米)		每平方公里消耗工日(工日)	
		地 摄	平 板	地 摄	平 板
京西门头沟	1:1000	±0.71(849)	±1.21	131	196
密云西智	1:1000	±0.49(738)	±0.74	—	—
× × 矿	1:1000	±0.50(50)	—	300	440

注：（1）表中等高线高程中误差 $m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$ ， n 为统计点数，即表中括弧内

数字， Δ 为真误差，即把经纬仪测角交会解析法计算的坐标和高程视真值展到地摄（或平板）测图上进行比较的差值。

（2）表中每平方公里消耗工日已按冶金部统一定额折合成比例尺 1:1000 困难地区Ⅲ级的标准工作量计算。

（3）表中比例尺 1:1000 测图等高距为一米。

又如：四川省地质局测绘大队和中国科学院地理研究所在四川省选择了不同测区不同比例尺进行地面立体摄影测量的生产试验情况列于表1—2：

总之，在高山地区为了避免攀登陡坡险地、悬崖峭壁，减轻人工测图的劳动强度以及可能发生的危险，地面立体摄影测量有其独特的优点。如果进一步改革外业，使外业时间减少到最低限度，地面立体摄影测量更将发展一步。

表 1—2

测 区 名 称	成 图 比 例 尺	困 难 等 级	平 均 坡 度	等 高 距 (米)	成 图 面 积 (千米 ²)	作 业 效 率				精 度				
						实际作业 时 间	投 入 数 组 外 内	地 摄 千米 ² 组 日	平 板 千米 ² 组 日	不 明 显 地 物 点 检 查 数	小 于 $\frac{\sqrt{2}m}{\sqrt{2}}$ 的 占 分 比	等 高 线 高 程 点 检 查 数	小 于 $\frac{\sqrt{2}m}{\sqrt{2}}$ 的 占 分 比	等 高 线 高 程 中 误 差 (米)
511 1:1000		V 级	30°	1	1.4	$\frac{16}{18}$	$\frac{3}{1}$	0.0205	0.0068	13 点	100%	172 点	90%	± 0.80
桂 贤	1:2000	V 级半	40°	2	6.2	$\frac{43}{39}$	$\frac{3}{1}$	0.037	0.018	54 点	92%	167 点	98%	± 1.65
碧 鸡 山	1:5000	VI 级	35°	5	35	$\frac{72}{36}$	$\frac{3}{1}$	0.139	0.051	21 点	90%	132 点	66%	± 4.09
511 1:10000		V 级	—	10	7	$\frac{5}{7}$	$\frac{1}{1}$	0.295	0.160	2 点	50%	501 点	76%	± 10.52

第三节 关于非地形测量的应用

非地形测量又名近距离摄影测量。由于非地形测量工作的要求，近距离短基线的双象摄影仪器有很大的发展。有的配合以高速快门，或同步快门，有的配以透过不同波长的物镜，有的采用可变焦距的物镜，还有采用可调长度的基线等。因为其目的与任务不同，所以采用的摄影镜箱及测图仪器的情况都有很大的差别。本书仅介绍一下应用概况，不作详细讨论。

一、采矿工程的应用

在一些金属矿山和煤田的露天开采中，利用近距离摄影测量是很适宜的。一般是采用固定基线，布设在开采工作梯段对方，即对向开采推进工作面，进行定期摄影。根据量测数据可以精确地计算剥离量，依此来确定矿山开采的工作量。此外，应用于金属矿、非金属矿井下空洞测量，井下支架变形和受压煤柱的测量，以及地面沉陷测量也有其独特的作用。

二、沉降变形观测的应用

在研究由于荷重、温度以及地震引起的建筑物的沉降或变形时，除使用高精度的大地测量方法或其它专门设备进行定期观测外，近距离的摄影测量也是一种有效的方法。在不同的情况下，对一些相同的特征点进行多次摄影，然后在立体坐标量测仪上量测这些特征点的坐标，根据几次量测坐标的变异，可以确定变形值以及变异情况。

三、地质、地震方面的应用

由于地面立体摄影象片能够提供详尽的地貌碎部特征：如冲沟的边缘、分水线、悬崖以及不同岩层的倾斜、走向和断层等等，所以地面立体摄影测量对地质工作也有广泛的用途。

地震以后震情的测量，滑坡及塌方的测量，冰川移动测量和火山研究等等。

四、海洋和水文学方面的应用

对于海浪测量，海岸线侵蚀及泥沙淤积，河道变迁，水位线

测量等各种水文测绘都可以通过近距离的摄影测量获得重要的研究资料——摄影相片和量测资料。

五、在科学技术研究方面的应用

在铁道研究方面，可以在火车厢后面装上一对立体摄影镜箱，对火车轨道及枕木进行摄影，这样就可以知道枕木松动及腐朽情况。

在泥沙研究方面，可以在人工河的上进行长期的摄影，便获得很好的研究资料。

在考古研究方面，对于出土的历史文物，除了进行电影记录，宣传及记载历史文物外，也可以利用近距离立体摄影测量方法，以便制造模型，恢复原形。

在人类学和医学方面的研究，可以利用近距离立体摄影对人体或某部位进行摄影，也可以利用立体X光透视拍摄象片，以便测定病变的部位及深度。

在公安方面，在交通事故发生以后，对现场进行近距离地面立体摄影测量，可详细的绘出事故现场地形图。

在飞机拔高性能试验，火箭起飞时的姿态变化等都可以利用近距离摄影测量获得普通测量方法不能得到的很重要的研究资料。

总之，地面立体摄影测量可以广泛用于各种需要测量的科学技术领域里。

本章主要参考文献

- (1) A.Н.лобанов: 《Фототопография》1968.
- (2) Carl Zeiss Jena: 《专题报告汇编》。
- (3) 北京矿业学院: 《摄影测量学》1964年7月。
- (4) American Society of Photogrammetry: 《Manual of Photogrammetry》Third Edition 1966.

第二章 地面立体摄影测量 的基本原理

第一节 透镜的一般特性

地面立体摄影经纬仪就是由摄影镜箱和定向装置或经纬仪等组成的。摄影镜箱的镜头由几个透镜所组合而成。如我们常用的19/1318摄影经纬仪的物镜“奥托泼路他”是两组对称的胶合透镜所组成，透镜两球面中心的连线叫做主光轴，主光轴和两球面的交点有两个节点，位于物方的叫前节点 H_1 ，位于象方的叫做后节点 H_2 ，如图2—1。节点有一个特性，即凡射入方向通过透镜

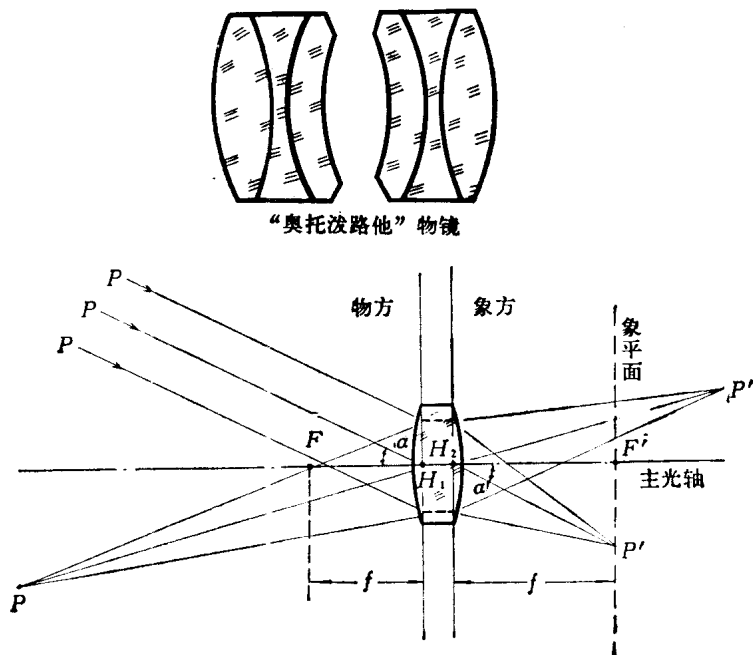


图 2—1

后，其射出的方向与射入的方向平行， $\alpha = \alpha'$ 。但因两节点的距离很小，在实用上两节点间的距离对物方的距离来说可以忽略不计，即将后节点当作镜头中心。所以每根投影光线的两部分看作一直线即中心光线，这样摄影镜箱的几何图形就变得很简单了。

摄影镜箱镜头尚有以下几个主要性能：

一、摄影镜箱常数：

地面立体摄影镜箱的摄影物镜焦距其长度是摄影镜箱物镜中心（严格的说是指后方节点 H_2 ）到象平面（焦面）之间的距离（又称镜箱焦距、镜箱主距，以下同）。摄影镜箱的镜箱常数(f)是指物镜中心到相片平面主点之间的距离，当无限远的物方点到象方在焦面上构象时其镜箱常数即是物镜焦距。因此每个象机都有它的最近清晰距离。不同的摄影经纬仪有不同的摄影镜箱常数，耶拿蔡司19/1318型摄影经纬仪19是指焦距的概略值为19厘米，1318为其象幅尺寸13厘米 $\times$ 18厘米。正确焦距数据由出厂测定。在野外拍摄象片时要经常进行野外检定，这样可以发现出厂所给定的数据有否变化。镜箱常数的测定，以后再详细介绍。工厂所检定的镜箱常数其精度为 ± 0.01 毫米。地面立体摄影测量的摄影物镜焦距也有多种类型，如耶拿蔡司19/1318型摄影经纬仪其镜箱常数为19厘米，耶拿蔡司UMK10/1318全能量测镜箱其镜箱常数为10厘米，SMK5.5/0808立体量测镜箱其镜箱常数为5.5厘米，威特P32型地面摄影镜箱其镜箱常数为6.4厘米，奥勃柯亨蔡司厂出品TMK型地面量测镜箱其镜箱常数有12厘米和6厘米。

摄影镜箱常数的长短，对选择摄影比例尺的大小和摄影面积有相互关系。同一距离的目标用长焦距的摄影物镜比用短焦距物镜成象比例尺要大，摄影比例尺大有助于提高成图精度，但所摄影面积较小，增加了摄影工作量及测图工作量。为此在物镜制造上对短焦距提出了比较高的畸变差要求。在19厘米的焦距物镜其畸变差要求小于0.01毫米，而10厘米或更短的物镜其畸变差要求小于0.005毫米。

二、物镜的相对孔径和景深

进入物镜的光锥底面的直径称为物镜的有效孔径。有效孔径与焦距之比，称为物镜的相对孔径。如以 D 表示有效孔径， f 表示物镜焦距，即相对孔径为 $\frac{D}{f}$ 。

相对孔径的数值决定着焦面的照度，因而也决定着光学影象的亮度。感光片上的照度与物镜的有效孔径的平方成正比，与焦距的平方成反比，所以照度因 $\left(\frac{D}{f}\right)^2$ 而变化。由于摄影时所需露光时间，是随感光片上照度成反比，故露光时间应随 $\left(\frac{f}{D}\right)^2$ 成正比。耶拿蔡司19/1318摄影经纬仪的相对孔径为1:25，所以是一种弱透光力的物镜，因而露光时间要比一般手提照相机速度要慢得多。

当摄取一有限物距的景物时，在此景物前后若干距离范围内的景物其成象清晰，则此前后范围的纵距，称为景深。

影响景深的因素有物距，焦距和有效孔径。相对孔径大，景深就小，露光时间就可以短。当焦距和有效孔径一定时，物距愈大，景深愈大。因此在地面立体摄影测量或近距离摄影测量应用时，根据测图或研究对象，合适选用摄影镜箱型号这是很重要的。

三、视场和象场角

通过物镜的光学中心所作的圆锥形光束（光锥体）在焦面

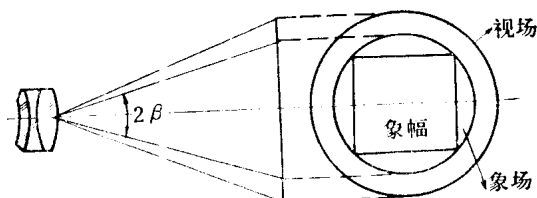


图 2—2