

成都工学院图书馆
基本馆藏

373398

地面和航空 立体摄影测量 配合测图法

[苏联] H·H·拉帕索夫 著



中国工业出版社

3
4

地面和航空立体摄影测量配合测图法

[苏联] H·H·拉帕索夫 著

崔志升 译 蔡俊良 汪鈇生 校

中国工业出版社

本书阐述用地面和航空立体摄影测量配合测制大、中比例尺地形图的方法，尤其详细地叙述了地面立体摄影测量的理论和内外业工作方法。原书第十一章《航摄像片的内业处理》，因我国已有不少参考文献，故已删节。

本书可供各部门的地形测量技术人员和测绘专业院校的师生参考。

本书译稿分别经蔡俊良(1—5章)、周维煜(6—9章)、钱曾波(第10章及结束语)校订，并经肖祥莒同志审阅，在出版之前又经汪铁生同志作了统一校订加工。

П.Н.Рапасов
СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ
МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ
НАЗЕМНОЙ И ВОЗДУШНОЙ
СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ
ГЕОДЕЗИЗДАТ Москва 1958

* * *

地面和航空立体摄影测量配合测图法

崔志升 译 蔡俊良 汪铁生 校

*

国家测绘总局测绘书刊编辑部编辑(北京三里河国家测绘总局)

中国工业出版社出版(北京修睦阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $8^{13/16}$ ·字数225,000

1965年7月北京第一版·1965年7月北京第一次印刷

印数0001—1,190·定价(科四)1.00元

*

统一书号: 15165·3962(测绘-147)

目 录

导 言

第一章 摄影测量方法的原理	6
§ 1. 概述	6
§ 2. 摄影测量中水平角、垂直角以及方向线的确定	8
第二章 地面立体摄影测量的理论	10
§ 3. 概述	10
§ 4. 正直摄影	11
§ 5. 摄影方向左偏时的摄影（左偏摄影）	14
§ 6. 摄影方向右偏时的摄影（右偏摄影）	17
§ 7. 在正直摄影的情况下各点竖距差的确定	19
§ 8. 大地坐标的确定	20
第三章 地面立体摄影测量时内外方位元素误差的影响	23
§ 9. 误差的性质	23
§ 10. 象主点位置的误差	23
§ 11. 主距的误差	28
§ 12. 摄影基线的误差	37
§ 13. 交会误差	38
§ 14. 偏斜误差	61
§ 15. 摄影干板的歪斜误差	68
§ 16. 倾斜误差	87
§ 17. 旋转误差	94
§ 18. 上下视差或左右视差的概念	101
第四章 用摄影测量方法确定方向和竖距的精度	105
§ 19. 根据量测点的横坐标和纵坐标确定水平角和垂直角的精度	105
§ 20. 确定竖距的精度	111
第五章 假定竖距公式	118

IV

§ 21. 假定豎距公式的推导	118
§ 22. 假定豎距公式的应用	123
§ 23. 摄影方向偏斜摄影时豎距的确定	126
§ 24. 按假定基线公式确定豎距	130
第六章 測制1:2000~1:25000比例尺地形图的地面 和航空立体摄影測量配合測图法	132
§ 25. 配合測图法的应用	132
§ 26. 准备工作	133
§ 27. 編制作業技术計劃	136
§ 28. 在拟定摄影經緯仪測量計劃时測站位置的选择	136
§ 29. 摄影經緯仪測站基线长度的計算	139
§ 30. 野外大地測量工作	142
§ 31. kl 值的測定	148
第七章 摄影經緯仪作業	158
§ 32. 准备工作	158
§ 33. 摄影經緯仪的野外作業	175
§ 34. 蔭蔽山区的控制測量工作	178
§ 35. 开闢山区的摄影經緯仪野外作業	181
§ 36. 摄影經緯仪摄影的接触晒印象片和航摄影片的野外調繪	191
§ 37. 在《死带》地区測定輔助的高程控制点	193
第八章 摄影經緯仪摄影底片的分析	195
§ 38. 底片分析的实质	195
§ 39. 分析底片时的作業程序	197
第九章 內業工作	202
§ 40. 在航摄影片上和用摄影經緯仪摄影底片取得的 接触晒印象片上辨认相应点	202
§ 41. 在立体坐标量測仪上量測大地控制点和辨认点的 摄影測量坐标和左右視差	204
§ 42. 用立体自动測图仪处理摄影經緯仪摄影的底片	205
§ 43. 計算工作	208
§ 44. 在已知一个点的豎距进行摄影时辨认点的 豎距和高程的确定	210

§ 45. 根据两个控制点和测得其中一个点到基线一个端点的距离确定基线端点的大地坐标	213
第十章 在摄影站上未进行野外大地测量的条件下, 用摄影测量方法测定摄影基线端点的大地坐标	216
§ 46. 根据两个检查点确定摄影站的坐标	216
§ 47. 根据两个已知点确定和计算摄影站及辨认点的大地坐标	222
§ 48. 根据在同一照准线上的两已知点来确定摄影站的大地坐标	226
§ 49. 在立体象对所摄的地段内有两个已知大地坐标的控制点时, 确定辨认点的图解解析法	234
§ 50. 确定辨认点的高程及其坐标的近似方法	258
§ 51. 按改正后的 $\text{tg}\omega$ 值计算点的近似大地坐标的方法	243
§ 52. 根据两个已知点确定辨认点大地坐标的严密方法	245
§ 53. 根据野外对检查点量测的角度来确定摄影方向 对规定方向的偏斜误差	272
結束語	274
参考文献	276

导 言

在伟大的十月社会主义革命后，特别是从1925年起，地面立体摄影测量不仅已用来测制地形图，而且已用于解决科学和工业建设的各个领域中所产生的其他问题。

各部门都用地面立体摄影测量的方法来进行大比例尺测图，例如，进行火山地区的测图，以及正在设计的水利枢纽、工业建筑物等地区的测图。

从1940年起开始试验使用地面和航空立体摄影测量的配合测图法，而从1943年这种方法便越来越广泛地被用于山区测图。

1943年在天山进行过地面和航空立体摄影测量配合测图的作业，1945~1949年又在帕米尔进行过。

在用立体摄影测量法测制1:2000、1:5000、1:10000甚至1:25000山区地形图时，组织外业和内业工作有很大困难。当进行大比例尺航空摄影时，如果在一个立体象对内地面高差很大，这时为了要得到完整的资料，必须在同一个地区飞行两次或两次以上。

所需的象片平面和高程控制点数要比平坦地区多。

航摄像片的野外控制测量工作，在山区，特别是在高山区往往有很多的困难。控制测量和点的辨认工作的野外检查有很大困难。由于山区的变化复杂，故连测点的标准位置往往不能保证，这给航摄像片的以后的作业造成了困难。

随着地面（摄影经纬仪的）和航空立体摄影测量配合测图法的采用，象片控制的野外连测工作中的困难大大地减少了，测图质量得到了改善，生产费用也有了很大缩减。使用这种方法时，象片野外控制连测工作可用摄影经纬仪测量来代替。

立体摄影测量的联合测图可用两种方法进行：图解机械法，即用摄影经纬仪摄影的底片在立体自动测图仪上描绘地貌和地

物，而用航空摄影的資料补測“死带”；光学解析法，即用地面立体象对在立体坐标仪上加密平面和高程控制点，而航摄資料則用来在立体仪器上按規定比例尺繪制精确的地形图。

从文献資料中得知有关測制格陵兰地图和測制埃塞俄比亚地图的簡要报导。这两次測图的任务是为了获取一覽图。为此，对該地区进行了小比例尺的航空摄影、稀疏的野外控制測量、在測区内布置稀疏的摄影經緯仪測量和內业处理。

格陵兰的地面和航空立体摄影測量資料的內业处理，是按下列的方案进行的：

首先在立体自动測图仪上根据摄影經緯仪摄取的底片加密平面和高程控制网；然后，在精密立体測图仪上根据航摄象片进一步进行控制网的加密，描繪地貌和地物。

埃塞俄比亚的內业測图工作也是以同样的順序进行，但以后是应用多倍測图仪根据航摄象片来加密控制网和描繪地貌。

这种方法主要是完成野外作业的时间短，并能获得必要的制图資料，虽然这种資料只能达到輿地图的精度。

在高差很大时根据航摄象片获得山区，特别是高山地区大比例尺的精确平面图是非常困难的。

这个任务虽然可用航空立体摄影測量的方法来完成，但此时如果使用精密立体測图仪，則在外业和內业中必須化費很多的劳力和時間。

在測区中已进行成片的摄影經緯仪摄影时，应用地面立体摄影測量法会使山区制图問題解决得更順利。此时，在立体自动測图仪上，根据地面立体摄影測量的底片描繪山区地貌的精度，要比根据具有較高乳剂分解力的航摄象片还要高；但在立体自动測图仪上，根据地面立体摄影測量的底片描繪平坦地区或小丘陵地区地貌的精度，往往比在精密立体測图仪上根据航摄象片描繪地貌的精度要低。

根据作者的建議并在他所領導的中亚細亚苏軍測繪局仪器科学研究所實驗室曾采用这种方法，即用地面和航空立体摄影測量

配合測圖法，精確地測制山區和高山地區地圖。蘇聯於1943～1949年用地面和航空立體攝影測量配合測圖法非常順利地測制了高山區的地形圖。

1941～1942年用這種方法測制 1:25000 比例尺地圖所進行的生產實驗工作，也証實了這種方法的精確性和經濟性。

地面和航空立體攝影測量配合測圖法的實質如下：

施測地區要有大地控制測量（二、三、四等三角測量）並充滿了攝影經緯儀攝影。

攝影基綫點的位置要根據現有的三角點和加密點，用野外測量方法確定。大地控制點和用野外控制測量法補充測定的點，可作為以後立體攝影測量作業的檢查點。在該地區如已進行了航空攝影，在控制測量和攝影經緯儀作業的同時，附帶地進行航攝象片的調繪工作。

立體測量之前，在圖板上展繪出所有的大地控制點、檢查點和攝影經緯儀基綫左端點。

攝影經緯儀攝影的底片在立體自動測圖儀上先加密圖解網，而後再進行處理。最後就可得到攝影經緯儀所攝地面的地貌和地物。

在攝影經緯儀沒有攝到的死帶地段的邊緣上，要確定具有特征性的平面點和高程點，並把它們辨認出和標記在航攝象片上。

利用這種方法所得到的辨認點，便可用立體鏡或地形立體量測儀在航攝象片上描繪地貌。

如果描繪地貌的辨認點不夠，則根據航攝象片進行高程的補充加密。

攝影經緯儀所攝地區範圍內的航攝象片的判讀要素也可供在立體自動測圖儀上量測時使用。

在死帶地段的航攝象片上，描繪地貌並轉繪判讀要素，然後用投影器將地貌和地物從這些航攝象片上再轉繪到圖板上。

由於整個山區地貌是在立體自動測圖儀上測量，而在航攝象片主要是描繪地面低的部分，因此測得的地形原圖便可取得高的

质量。

测图比例尺比成图比例尺大一倍，这样虽然会造成某些劳动的损失，然而精度会大大地提高。

此方法的生产率可由测制高山冰川地区（面积为8000平方公里）的1:100000比例尺的地图资料来说明，此处高程注记在1800~7439米之间变化，普通的平板仪测图或立体测量的方法，一般不能采用。

根据天气和冰河期的自然条件，野外摄影经纬仪的作业主要是从1943年8月20日到10月10日用五台摄影经纬仪进行。

摄影经纬仪摄影和航空摄影资料的室内作业所花费的工天数见表1。

立体自动测图仪上的作业，是由作业员和助手组成的作业组进行的。

表 1

作 业 过 程	天 数		%
	8000平方公里	一个图幅 (1600平方公里)	
1. 立体自动测图仪上的作业（扩展图解网、描繪地貌和地物、图幅接边、死带地段边界上点的整飾）。	323或161 组工作日	65或32.5 组工作日	27.6
2. 航摄像片上的准备工作：			
(a) 划分测图范围；	53	11	4.5
(b) 在地面和航空摄影的接触晒印象片上辨认出相应点，并对这些点进行整飾；	96	19	8.2
(b) 将野外判讀要素轉繪于接触晒印象片上并进行室内判讀。	60	12	5.2
3. 用立体鏡描繪“死带地段”的地貌、沿航摄像片的测图范围框边来拼接和检查。	200	40	17.1
4. “死带地段”的象片三角测量和縮放。	42	8	3.6
5. 准备投影、制作正片和将描繪好的地貌地物从航摄像片上轉繪到編制原图上。	103	20.5	8.8
6. 編制原图的清繪、检查和整飾。	293	58	25.0
共 計	1117	223	100

首次进行这项工作的作业组获得这样的生产率，应该认为是十分满意的。

测制的1:100000比例尺地形原图的野外检查证明，地物的平面位置误差不超过图上0.5毫米，而相对高程不超过等高距的 $\frac{1}{5}$ 。

随后用这种方法进行了帕米尔地区的测图工作，证明可以提高生产率20~25%。

这种方法在进一步完善以后能解决测制开阔山区地图的任务，可以不用野外控制测量方法确定摄影基线长度、基线点和检查点的坐标，而以室内摄影测量方法代替野外控制测量工作来测定这些大地坐标的数据。目前现有的或根据测图比例尺所测定的全国性三角测量，可以作为在开阔山区进行摄影经纬仪测量的足够的大地控制。野外测量工作则变为利用全套摄影经纬仪中的摄影镜箱，并符合地面立体摄影测量的整个理论要求的普通摄影。

地面和航空立体摄影测量配合测图法最好用来测制地面点相对高差很大的山区地图，并且测图比例尺越大，使用这种方法得到的结果就越好。

苏联很好地制订出了，在用立体自动测图仪上获取山区地貌和地物，并进一步利用航摄像片补测“死带地段”的条件下，使用地面和航空立体摄影测量联合测图的方法。

还在1947年，而后在1948年作者建议：用立体坐标仪代替立体自动测图仪和确定辨认点大地坐标的假定竖距公式，然而这些公式目前还没有推广。

使用立体坐标仪的地面和航空配合测图法，在目前才得到应用，但由于下列原因往往不能达到足够的精度，即作业成果是用简单的方法根据普通公式来处理的，并没有考虑到所有误差以及外方位元素和內方位元素误差的影响。大家都知道，它们对确定地面点坐标的精度有显著的影响。

本书指出了在保证成图精度和使用立体坐标仪的情况下，可广泛地应用地面和航空立体摄影测量配合测图法来测制1:2000~1:25000和更小比例尺的山区地图。

第一章 摄影测量方法的原理

§ 1. 概 述

我們將摄影象片当作中心投影的透視影象。

如果在眼睛 S 和物体 ANB 之間放一个垂直的透明承影板 (图1, a), 并繪出来自物体各点的光綫在板上的交点, 則在透明板上就可得到物体的透視影象, 或它的投影。

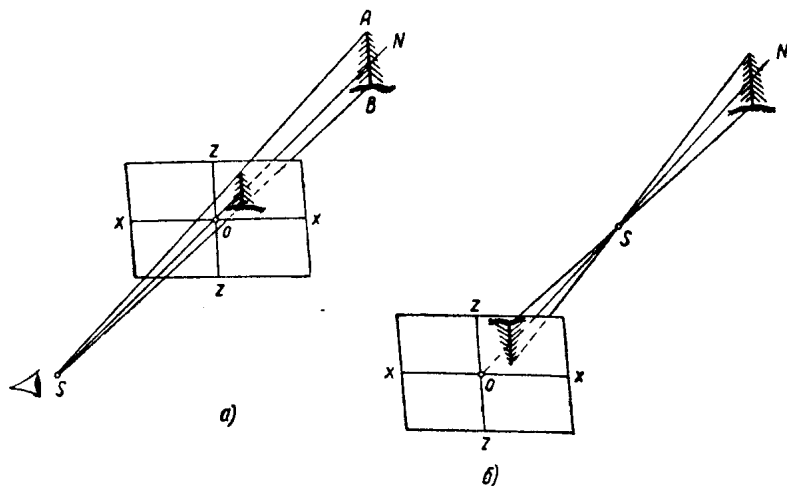


图 1

此时观测者的眼睛就是透視中心, 而承影板就是图平面。

观测者的眼睛可以用摄影机的物鏡代替, 而透明承影板可以用摄影干板代替 (图1, b)。

来自物体各点的投影光綫通过物鏡前节点, 在物鏡中折射后, 由物鏡后节点射出并与摄影干板相交。

結果我們获得物体的摄影影象, 此影象也就是物体的透視影象, 但是投影中心是物鏡的后节点, 同时物体影象是負象。

当物鏡沒有畸变差时，則投影光綫通过物鏡前节点的方向与經物鏡后节点射出的方向是保持不变的。

物鏡前节点与后节点之間的距离，在摄影測量时可以不考虑，因为該距离与物鏡到地面測定点的距离比較起来是很小的。所以可把物鏡的两个节点当作是一个重合的点，該点称为投影中心；所摄得的物体影象就是物体的中心投影，而地面某一点在底片上的影象，就是該点的中心投影。

过投影中心垂直于象平面的垂面，称为主垂面，而过投影中心垂直于象平面的水平面，則称为主水平面。主垂面与象平面的交綫 zz ，称为主纵綫。

过投影中心 S 垂直于象平面的水平面，与象平面的交綫 xx ，称为象平面的主横綫。

直綫 zz 和直綫 xx 的交点 o ，称为象主点。

光綫 SoN 是摄影光束的主光綫，也就是摄影机的摄影方向。

如果象平面在投影中心和物体之間时，我們定它为正象，而投影中心在物体和象平面之間，則定为負象。

为了确定象点在象片上的位置，我們采用以主纵綫和主横綫构成摄影測量的直角坐标系。主纵綫可作为纵坐标軸 zz ，主横綫作为横坐标軸 xx 。物鏡后节点到象平面的距离 So ，称为摄影鏡箱的主距 f 。

为了根据象片确定地面点的坐标，必須知道它們在露光时所处的位置。

确定摄影露光时象片位置的元素，称为方位元素。它們分为两种：（1）內方位元素和（2）外方位元素。第一种方位元素可以确定投影中心对象片的位置；其中包括有摄影鏡箱的主距和象主点的坐标 x_0, z_0 。用这些元素并根据象片可以恢复摄影瞬間相应的投影光束。

第二种元素可以用来确定露光瞬間光束的空間位置。其中包括有：投影中心的大地坐标、摄影方向的方位角、摄影方向的傾角和象片繞其主点旋轉的旋角。

摄影方向可认为是水平的。利用在摄影鏡箱上的水准器可保証摄影机水平精度达到 $10\sim 20''$ 。

§2. 摄影測量中水平角、垂直角以及 方向綫的确定

設点 M 为地面上的測定点，其在象片上的相应点用 m 表示（图2）。

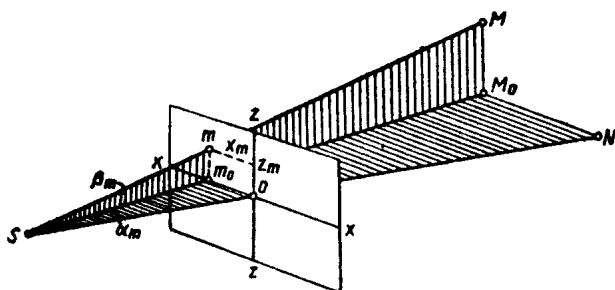


图 2

在象片直角坐标系中，点的位置用坐标 x_m 和 z_m 确定。

量測象点 M 坐标后，如果知道鏡箱主距之值，就可以确定地面点 M 的照准綫 SM 的水平方向和垂直方向。

照准綫 SM 的水平方向由角 α_m 确定，該角是鏡箱的摄影方向和通过物鏡后节点的照准綫在主水平面上的投影綫的夹角。

照准綫 SM 的垂直方向由垂直角 β_m 确定。角 β_m 是由照准綫 SM 和其在主水平面上的摄影綫所夹的角。

根据三角形 Som_0 可得

$$m_0o = So \operatorname{tg} \alpha_m,$$

考虑到 $m_0o = x_m$ 和 $So = f$ ，即可得

$$\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{x_m}{f}. \quad (1)$$

为了确定角 β_m ，由三角形 Smm_0 得

$$mm_0 = Sm_0 \operatorname{tg} \beta_m,$$

所以

$$\operatorname{tg} \beta_m = -\frac{mm_0}{Sm_0}; \quad mm_0 = z_m,$$

因而

$$\operatorname{tg} \beta_m = -\frac{z_m}{Sm_0}, \quad \text{其中 } Sm_0 = \frac{f}{\cos \alpha_m};$$

代入后可得

$$\operatorname{tg} \beta_m = -\frac{z_m \cos \alpha_m}{f}. \quad (2)$$

角 α_m 的值也可按下式确定:

$$\sin \alpha_m = \frac{x_m}{\sqrt{x_m^2 + f^2}}, \quad \cos \alpha_m = \frac{f}{\sqrt{x_m^2 + f^2}},$$

但这些公式在作业中几乎不采用。

由此可见, 如果已知内方位元素和地面点的象坐标 x_m, z_m , 就可以根据下式求出这些点的水平角、垂直角和方向:

$$\operatorname{tg} \alpha_m = \frac{x_m}{f}$$

和

$$\operatorname{tg} \beta_m = -\frac{z_m \cos \alpha_m}{f}.$$

在立体坐标量测仪和地面立体摄影测量还没有出现以前, 测图是用下述方法进行的:

在地面突出点上布置稠密的三角测量网。在严格标定镜箱摄影方向和整置镜箱水平位置的条件下, 在每个测量网点上依次地摄取整个能看到的视野, 每张象片要进行编号。

经过摄影冲洗处理和摄影站与网点的坐标计算之后, 把象片放在坐标量测仪上量测出地面点的横坐标和纵坐标, 各点用前方交会法求出, 或用图解法转刺在图板上。

用上面这种方法把所测定的点标在象片上, 然后利用该象片在平面图上描繪出地貌和地物。这种摄影测量方法的缺点是: (1) 必须选择长基线; (2) 辨认同名象点困难; (3) 需要设置过渡点。

第二章 地面立体摄影 测量的理論

§ 3. 概 述

地面立体摄影测量法是用在某一条基綫所摄得的两張象片，根据前方交会法来确定点的空間位置。

摄影测量法要量测互相重迭的每一張象片。点的空間位置是采用前方交会法按一般的測量公式来确定，而按公式計算时所用的水平角和垂直角是以摄影測量法根据象片測得的。

随着立体摄影測量法的应用，要把两張互相重迭的象片組成一个立体象对，它們可以按立体观测的原理进行測量。經過量测可以确定出象点的橫坐标、纵坐标以及左右視差，或确定出水平角、垂直角以及視差角。

点的空間位置也可用前方交会法确定，不过要按照地面点的空間坐标和其摄影測量坐标之間，所具有的立体摄影測量的数学关系来确定。为了解决这个問題，必須知道立体象对中每一張象片的投影中心相对于空間点和象片上象点的位置，即應該知道外方位和內方位元素。

大家知道，內方位元素包括有：摄影鏡箱主距 f 和象主点的坐标 x_0, z_0 。在进行地面立体摄影測量时，外方位元素包括有：

(a) 一个摄影站的投影中心的空間坐标 X, Y, H ;

(b) 摄影站間的距离在水平面上投影的长度，即摄影基綫值，以及基綫方位角 α_0 ;

(c) 每个摄影站上摄影鏡箱的摄影方向，是由 φ 和 ω 角确定的， φ 是摄影方向对摄影基綫垂綫的偏角， ω 是摄影方向对水平面的傾角；

(2) 旋角 α ●是象片繞象主点的旋轉角。

在地面立体摄影測量中, 摄影时摄影鏡箱的摄影方向在每个基綫点上的位置均垂直于基綫, 或均对基綫的垂綫左偏或右偏一个固定角度。在上述的所有情况中, 通常要使摄影鏡箱的摄影方向处于严格的水平位置上。

鏡箱的摄影方向傾斜或交会的摄影, 只用于工程測量, 或用于难以到达的地区測量。

根据摄影鏡箱的摄影方向相对于摄影基綫的位置, 地面立体摄影測量可分为三种情况:

正直摄影, 此时摄影鏡箱的摄影方向与摄影基綫方向垂直, 并处于水平位置, 即在主水平面內。

左偏摄影, 此时摄影鏡箱的摄影方向对基綫的垂綫向左偏某一定角(φ), 但摄影鏡箱的摄影方向仍处在水平位置, 即在主水平面內。

右偏摄影, 此时摄影鏡箱的摄影方向对基綫垂綫向右偏某一定角(φ), 但摄影方向也处在水平位置。

因此, 摄影是在摄影鏡箱的摄影方向彼此平行和水平时进行。

下面我們来研究摄影的每一种情况, 并推出在进行地面立体摄影測量时某一点 M 的空間坐标与象片內、外方位元素間的关系式。

§4. 正 直 摄 影

設点 S_1 和 S_2 为投影中心(图3); 点 o_1 和 o_2 为象主点; 点 M_0 为地面所求点在主水平面上的投影; 点 m_1 和 m_2 为点 M_0 在左右象片上的影象; S_1N_1 和 S_2N_2 为在基綫两端点摄影时, 摄影鏡箱的摄影方向; S_1M_0 和 S_2M_0 为点 $M(M_0)$ 投影到左右象片上构成影象的光綫;

$$S_1o_1 = f \text{——鏡箱主距;}$$

● 原书为 β 。——校者