

攝影測量學與航空攝影測量學

第五卷序

根據我後航測教研組蘇聯專家伊里奧斯基對攝影測量和主條攝影測量學做了五年期一次的講課，同時參加听课的除去航測教研組的教師而外還有其他教研組的教師，生產和園的工作人員和修過此門課程的高年級的学生。這部份是專家講課的第一部份，按照整個這門課程的系統而言，這一部份是列為第五卷。因為航測教研組的教師對這門功課本來已有一定的基礎，所以在請專家講課時就有條件把這門科學的順序較動地更改一下以適於急迫的需要。

專家在這部份講課裡引用了最新的資料，對於擴展攝影三角測量網的基本原理以及每一個作業過程都做了很詳細的敘述，這裡面也還加入了不小一部份的專家自己在這方面的創造。這種材料基本上解決了我們在教學上在這部份範圍內所需要的教材內容以及有關的實驗實習課等內容。除在教學方面應用而外，在生產實際方面這部份材料也同樣非常具有價值的因為這樣有系統的深入的同時密切聯繫生產實際的看達到現在還是很少見。我願在此特別提出以供各有關生產部門的參考。

我們參加听课的教師對這門功課本來是有一定的基礎的，現在再隨專家學習一次深刻地体会到已往我們知道的實在太少，太狹窄。例如：在擴展攝影三角測量方面我們已往單純地想到用解三角形三角網，對於其他的各種擴展方式有的只知道一個概括，例如攝影導線測量及輻射三角網的建立等，有的連名字也不知道如專家所創造的圓解—解析方法等；至於對利用多倍投影測圖儀擴展平面攝影三角測量的重要性已經更覺估計不足的，我們已往在教學上很

1001/100/09

攝影測量學與立體攝影測量學

大的缺點就是理論不能密切聯繫實際，較喜歡多在理論方面去鑽研，可是像這一些極重要的問題，例如如何製行像片攝影三角測量擴展的計劃；以及各種誤差之數值及實際作業操作過程等我們知道的是很少的。在這一方面專家給予我們極大的幫助，使得今後由我們所培養出來的學生能更好地有助於發展我國國民經濟的各種建設工作。

專家是在百忙中動身為我們而講動的，我們教研組同仁也都在盡每個人的主觀努力向專家很好地學習。今後我們應該更進一步做好各種準備和配合的工作，使得可以更好地發揮專家在我國時期的指導作用。在此我謹代表本人以及我們教研組全體同仁對專家伊里莫斯基在各方面的幫助致以衷心的感謝。

王之卓

第Ⅲ卷 目錄

第一編 平面攝影三角測量

序言

概論 ----- 1

第二章 單航綫菱形網 ----- 6

§ 1 構成菱形三角網的概念 ----- 6

§ 2 平面攝影測量網的誤差根源 ----- 10

§ 3 推論在航攝負片上所引方向的權 ----- 17

§ 4 網段最有利之形式 ----- 19

§ 5 單航綫菱形網網段的精度 ----- 21

§ 6 單航綫菱形網的精度 ----- 25

§ 7 確定單位誤差和確定基綫長度誤差
公式的若干分析 ----- 33

§ 7° 更精確地推論單航綫菱形網點位中
的橫向移位和單位中的誤差 ----- 36a

§ 8 據兩個控制與歸化的單航綫網中定
向角的測定精度 ----- 37

§ 9 關於引給中心方向綫作業中心的選擇 ----- 39

§ 10 建立單航綫菱形網的可能情況 ----- 42

第五章 在生產條件下應用單
航綫菱形網的實際操
作指南

§ 1 為了進行攝影三角測量工作，應該把
那些資料交到攝影測量的工作車間 ----- 47

摄影测量学讲义 摄影测量学

之

§ 2	为建立摄影三角测量用的起始控制点	48
§ 3	工作的次序	48
§ 4	像片平面同图底的平偏	50
§ 5	编製摄影三角测量网的计划	51
§ 6	航空负片上的刺点和主方向线的引绘	53
§ 7	方向线透明原片的制作	65
§ 8	展用摄影测量三角网 ^(*)	66
§ 9	菱形网的归正	69
§ 10	网的联结	74
§ 11	图底和网的整饰	75
§ 12	摄影三角测量的校对	77
§ 13	工程師巴波夫 (Bonomi) 系统摄影归正 仪的叙述	77
§ 14	摄影三角测量展用之後应呈交的文件 和其他资料	82

第四章 摄影测量网

	规则	86
§ 1	根据九张航空负片建立摄影网组的方法	88
§ 2	用十一张航空负片建立摄影网组的方法	91
§ 3	透明原片的预先叠放	94
§ 4	双航线网的展用	95
§ 5	建立单航线菱形网的自由的像片网组	96

第四章 图解—解析法展用摄影

三角测量 ----- 103

註：此章标题应清補填於第 66 页同数第 6 行 2 字

§ 1	用图解—解析法建立平面摄影测量 网的实施方案	103
§ 2	用图解—解析法构成摄影测量网段 的角度误差	111
§ 3	关于用图解—解析法建立摄影三角 网所得任意点的精度估计	113
§ 4	在量测摄影网段边长时的容许值和 用解析法所展角度的摄影测量网的条 件方程式内自由(常数)项所容许 的大小	116
§ 5	设计摄影三角测量的概念, 用图解— 解析方法展用摄影三角测量	120
§ 6	当用图解—解析方法时, 在制作像 片平面用的图底上射影航摄像片 的中心点和到此用的定向角	123
	第五章 扩展摄影三角测量 的其他方法	128
§ 1	多像投影测图仪上建立平面摄影三 角测量	128
§ 2	用解析法构成平面摄影三角测量	131
§ 3	图解的定向侧向摄影三角测量网	138
§ 4	按平面图比例尺扩展摄影三角测量	143
	第六章 确定假定像底点的坐标	
§ 1	总则	151

摄影测量学其主体摄影测量学

§ 2	根据那那顾及到 $\tau_n, \tau_x, \varepsilon, K_n$ 和 K_n 一次项的公式以确定相对定向元素 - - - - -	152
§ 3	根据那那顾及到 $\tau_n, \tau_x, \varepsilon, K_n$ 和 K_n 小值二次项的公式以确定相对定向元素 - - - - -	156
§ 4	根据那那顾及到所测得的横视差值的改正数的近似公式以计算相对定向元素 - - - - -	164
§ 5	关于测定相对定向元素的精度及其在以后的作业中的应用 - - - - -	165
§ 6	航摄像片假定倾斜角和假定像底类坐标的计算 (不利用测微高差仪的读数) - - - - -	170
§ 7	利用测微高差仪读数计算航摄像片的真正航向倾角 - - - - -	172
§ 8	在航摄像片上的类刺假定像底类坐标 - - - - -	174
第四章 用摄影测量方法加密控制 - - - - -		
§ 1 用摄影测量方法加密控制 - - - - -		
§ 1	像片平面同图底的准备和资料的准备 - - - - -	176
§ 2	编制摄影测量测量的计划 - - - - -	176
§ 3	像底类假定坐标的确定 - - - - -	178
§ 4	量测假定像底类的横视差, 主方向间的夹角, 并在量测得的横视差中加入假定倾斜角的改正数 - - - - -	178
§ 5	按自由系统计算假定像底类的坐标 - - - - -	184

§ 6	在航空攝影片上刺出联系点，定向点和控制点以及製作方向線複片	187
§ 7	從圖解結構網在輔助圖底上求得定向点和控制点	188
§ 8	攝影三角測量網的調整、檢驗和整飾	189

第四章

繪製各種不同比例尺地圖中擴展攝影三角測量以確定其在平面位置的方法

190

§ 1	關於梯形圖幅尺寸和確定攝影三角測量其精度的一般數據	190
§ 2	關於平面控制点的分佈問題，這些控制点是利用來做攝影三角網的歸化	193
§ 3	測製各種比例尺地圖時關於擴展平面攝影三角測量的設想	196
§ 4	航空攝影測量生產上先進工作者在擴展攝影三角測量以製作比例尺 1:100000 地圖的經驗	197
§ 5	在地面測量控制稀少的情況下，連接像片組系統的圖解解析法	200
	参考文献	202

I 平面像片三角测量 概 論

在現有的实际操作过程中，航攝像片（航攝像片）的糾正通常是要根据定向角来進行的，而這些角在航攝像片上与在平面圖上的位置以足夠的精度确定。定向角的数目及其位置主要是根据糾正剛方法和地面上起伏的性~~况~~而定。例如，如果糾正是在普通的糾正儀上進行並且地面上的起伏不大时，則必需要知道四个定向角（在航攝像片上与在平面圖上）的位置（其中不包括像片的中心），而其中任意三个所取的像角不应位在一條直線之上。在極大部份的情況下，上述定向角^{*}的数目对于糾正起伏很大地區的航攝像片也已經足夠了。如果是糾正到若干傾斜平面上（起伏很大的地面），則通常必需要知道四个角以上的平面位置。

上述的定向角应位在航攝像片有效面积的四角上，也就是說，要使得在相鄰航攝像片（航攝像片）的糾正时也可以利用這些角。

在航空測量發展的初期，每一個定向角的平面位置都要用野外的測量方法測定的，這就使作業的成本大大增高，需要大量的幹部。而在稠密的森林、山嶺、沼澤以及有量木域的地區时，要測定所有的定向角幾乎是不可能的，或者甚至完全不能測定。

由於這種情况因而就尋找了測定定向角平面位置的其他方法，在這些方法中，航攝像片的联系是用室內的方法，根据分佈稀少的地面測定控制角（辨認角）來進行。

* 在某些文獻中，糾正中所需的定向角稱為五角。

这些方法的基础就是航摄负片几何特征的利用。特别是，假如对平坦地区进行摄影时，则利用自等角突纳引出方向线的不扭曲特征；假如是对起伏悬殊的地区摄影时，则自线底突所引出方向线的扭曲是比较小的（当像片倾斜角不大时）。

一般可以说，室内室内方法测定像片平面位置的根据是（当摄影时航摄照片的倾斜角不大时），通过像中心突或 c 突和 l 突所引方向线间的角度，与在地面上相应方向线间的水平角度的差别是比较微小的。

将自相邻航摄负片上所取得的一系列这样的方向线相结合起来，就可以在室内实施几何的交会，并以一定的精度确定航摄负片上像片相对于两相邻像主突的平面位置。再到用其他的相邻航摄负片，就可以按第一个起始基线的比例尺组成一个三角形系统，或四边形系统等。

为纠正每一张航摄负片所需定向突的野外实测联系就可以用测定这些突位的室内方法所替代。而这种室内测定突位的方法称为像片三角测量。

这样，扩展像片三角测量的目的就是用摄影测量方法加密平面的测量控制，通过这种摄影测量的方法，可以得到多为纠正航摄负片（航摄像片）所必需的定向突的补充的数目。

像片三角测量在苏联自1928年左右开始应用，大约在1936—1938年，所有最大的测量机构完全放弃了航摄像片的全面联系，而过渡到使用像片三角测量的方法测定纠正所必需的定向突。

在苏联采用的扩展平面像片三角测量网的方法有下列几种：

解析法 係藉助於專門的儀器量測航攝像片（航攝像片）像中心與（有時是像底點或假定像底點）處的方向，然後計算所測定像點的坐標。

用於作解析像片三角測量的儀器有：

解像三角測量儀 係用於在水平航攝像片上量測高度和距離；帶有傾斜的像片安片框的立體坐標量測儀，像框為 30×30 公分；而在外國則有馮姆工和普丹里赫所設計的立體坐標量測儀。

解析像片三角測量是比解像像片三角測量（敘述於下）稍精確一些的，但是它是非常麻煩而複雜的，所以它主要是為了研究的目的而加以運用，有時則用於大比例的製圖。

機械化（或解一機械法） 係利用機械的方法或解機械的方法將方向線從航攝像片上轉移到底版上。

用這種方法擴展像片三角測量的儀器是：德羅貝雪夫（中 B. ApoubweB）設計的像底點三角測量儀，藉助於這種儀器，可以機械地將方向線自航攝像片轉移到共同的底版上（在塗有專門乳膠的玻璃上畫方向線）。

蔡司的切縫器是專為在航攝像片上擴展平面像片三角測量而設計的。這種儀器上係使用特製的齒刃在航攝像片和空白的堅實紙板上，切截出長約 25 公厘而寬為 3 公厘的縫隙，這種縫隙就相應於自像片中心點向定向點的方向線。所切截得的模片可以使其沿着某一條航線或是一下子按幾條航線帶銀鑲在一起。模片的聯結，係用特種的小栓釘，而小栓釘的外圍直徑要比切截出的縫隙寬度小 0.25 公厘。還有為此目的的其他種儀器，主要都是國外出品，如定型的模片（美國的）立體繪圖儀（加拿大）和其他等。

用切縫器作像片三角測量的生產率是很高的，可是精

度即很低。所以祇有在小比例尺测量时或若在成果要缩小的作业中才可以应用。这种方法在苏联很少应用，因为它的精度比像片三角测量图解方法的精度要低得多。多像投影测高仪是全张式型的仪器，它对于三种仪器可以完成各种的摄影测量工作（平面像片三角测量，空中三角测量，勾绘地形，转绘到部等）。在苏联制造出了本国出产的宽角多像投影测高仪，除能完成其他的摄影测量工作而外，还可以利用於校正平面像片三角测量，并能给出很高作业生产率和工作精度。

图解法 係藉助於方向线透明纸将方向线引航照片（航照片）引到像面。在这种方法中既可以构成单航线线的菱形锁，也可构成三角形和四边形锁，甚至也可以一下子将网展展到几条航线。构成单航线菱形锁方法的生产效率很高，并且在测量控制比较稀少的情况下，可以保证中比例尺，甚至大比例尺型图中所必要的精度。所以到现在为止，它在苏联已取得广泛的应用。图解法作像片三角测量的其他方法也运用于生产的目的上。

图解解折法 包括构成各个摄影测量的网段：（网段含有两条摄影基线，係由沿航线五片相邻航照片所引方向线透明纸叠置而得），量测这个网段的各边及网段的对角线；根据量测的数据解折地计算各角度；联合几个摄影测量的网段成为三角形锁，和平差计算在测量控制网之间的三角网锁，并用解折法确定这些正确网段的坐标。

在底图上确定定向点的平面位置，也是藉助於那些方向线以透明纸图解地进行。

这种方法已在苏联研究出，它比构成单航线菱形锁更加精确，但是也更麻烦困难，所以在苏联极有限地为几个

不同的机构所採用。

摄影导线测量法 在测定中心点和定向点的平面位置时，是利用立体观测的数据（量测縱視差和橫視差）並继续以確定相对方位元素和假定像底点，以及利用主方向线間角度测量的数据。假定像底点的坐标係根据第一條起始（任意）基线，在任一假定的坐标系統內用解析方法計算出。

根据坐标把假定像底点的位置繪在单張底片上，以利用方向线透明紙作交会的方法就可以求得其所必需的像片三角測量点的位置。將三角網归化到所需要的比例尺和方位係用通常的归化方法。

用摄影导线测量的方法確定定向点平面位置的方法在苏联已研究出，並且是一个比構成单航线菱形鎖更加精确的方法，然而也是更麻烦的方法，所以它並沒有得到广泛的应用。

总结上述各种像片三角測量的方法，应再次提醒：在繪製各种比例尺的地圖时，应用最廣的方法在苏联是構成单航线菱形鎖的图解方法，以及在多倍投影測高仪上擴張像片三角網。当製大比例尺（1:2000 或更大的）地圖时，有时也使用在精密立体測高仪上構成像片三角測量的方法。



第一章 单航线菱形锁

§1. 构成菱形三角锁的概念

正如以前所已经指出的，像片三角测量的应用乃是利用航摄负片（航摄线片）的几何特性为基础的。这种几何特性是在于：通过水平航摄线像片中心点所引出的诸方向线间的角度与地面上相应方向间的水平角是没有什么显著差别的。把由相邻航摄负片所取得的这些方向结合起来，就可以实现几何的交会，而可循序地构成为若干几何图形，这些图形是以第一条起始基线的比例尺相互联系的。

为了构成单航线的菱形锁，从每一张航摄负片上（两端的像片除外）应该得到 8 条方向线。取像主点（或作像中心，假若像底点与像底点）就作为这些自张航摄像负片上所得的这些方向线的辐射中心。这些方向称为中心方向线（图 1）。

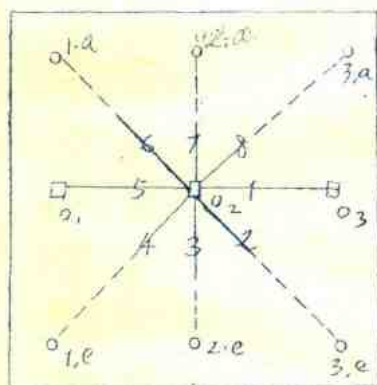


图 1.

两个方向线（除两端的航摄负片外）乃是取自本像片中心 O_2 引向其相邻负片在該航摄像片上的过渡中心（指相邻像片的航线方向重叠大于 50%）。这

两个方向线如图 1 中以号码 1 和 5 所示，称为主方向线，主方向线用于定向其相邻负片（航摄像片）的方向线束。

标以 2, 3, 4, 6, 7 和 8 的方向线係引向彼此二度重叠内的像点（这些点于构成在所有三张重叠的像片上均要很清晰，并用以实现几何地构成菱形锁。

这些点称为联系点。

建立单航线菱形锁的想法，就是：先从沿航带的相邻

航攝負片上(航攝像片上)取得方向線來,並將方向線來引繪在單張透明紙上,(圖2,3),然後將這些繪有方向線的透明紙按以下方式順序疊放:

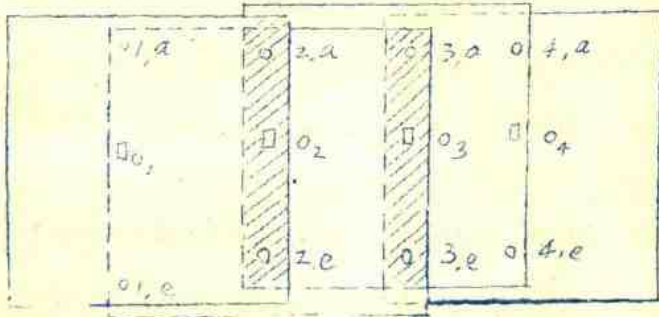


圖 2

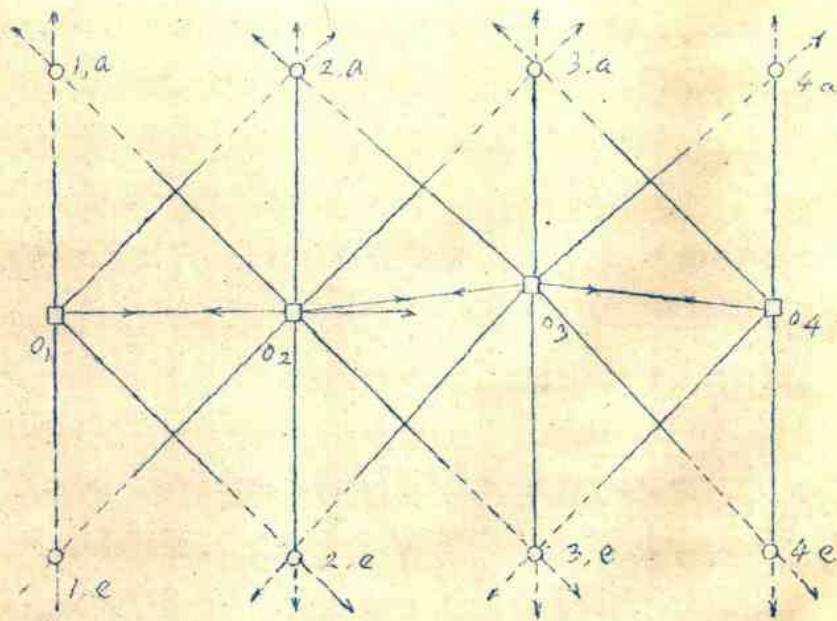


圖 3

a) 把第一張方向線透明紙這樣地置放在紙上(在透明桌玻璃上的透明紙條上),使主方向線 $o_1 o_2$ 位於這張紙的軸線上。

b) 在第一張透明紙上要這樣地置放第二張方向線的透明紙,使主方向線 $o_1 o_2$ 與主方向線 $o_2 o_3$ 相重合。透明紙上

中心間的距離用目估取得，並使這距離大抵相等於以後平面圖的比例尺。置放第二張透明紙的結果，經由引向聯系點的方向線的相交就可以確定矣 $1, a$; $2, a$; $1, e$; $2, e$ 的位置。

為使復要這樣地置放第三張繪有方向線的透明紙，使主方向線 $0_1 0_3$ 與主方向線 $0_3 0_2$ 相疊合，沿着這條直線這樣地移動第二張透明紙，使主方向線 $0_3 0_2$ 並不自方向線 $0_2 0_3$ 移開並能達到這樣一個位置，即方向線 $0_3 - 2, a$ 和 $0_3 - 2, e$ 連過 $1, a$ 和 $2, e$ 矣。由於沒有交合的結果就可以確定中心矣 0_3 的位置；

1) 按這樣的順序置放所有時以後的繪有方向線的透明紙，就得到所謂的菱形鎖。

這樣所稱成的菱形鎖是按第一條假定基線 "B" 的比例尺，且其方位是任意的。

自由的像片三角鎖以後將使變為統一比例尺和統一方位的坐標系統。

這樣的轉變稱為歸化。

為進行歸化起見，至少必需知道兩個矣。這兩個矣的坐標係從野外的測量測定。這樣的矣就是在航攝像片上和在地面上能夠辨認良好的地物之矣，並近似地位於航線同側向重疊的中間和航向的二度或三度重疊的區域內。這樣一方面就可以使在構成半航線菱形鎖時有很好的攝影測量的交會，而另一方面也可以把這些矣利用在兩條相鄰航線的歸化。在實際工作裡，這些矣稱為控制矣，但有時稱為辨認矣。

這些矣在航線方向上的距離係按照航空攝影比例尺，與到像片平面圖的比例尺，和方向的誤差，並根據專門的

公式(將於以後演算出)求出。

在每一張繪有方向線的透明紙上，應給引向控制點(辨認點)的中心方向線，以便在任意單航線菱形鎖的系統中容易地確定這些點的位置。

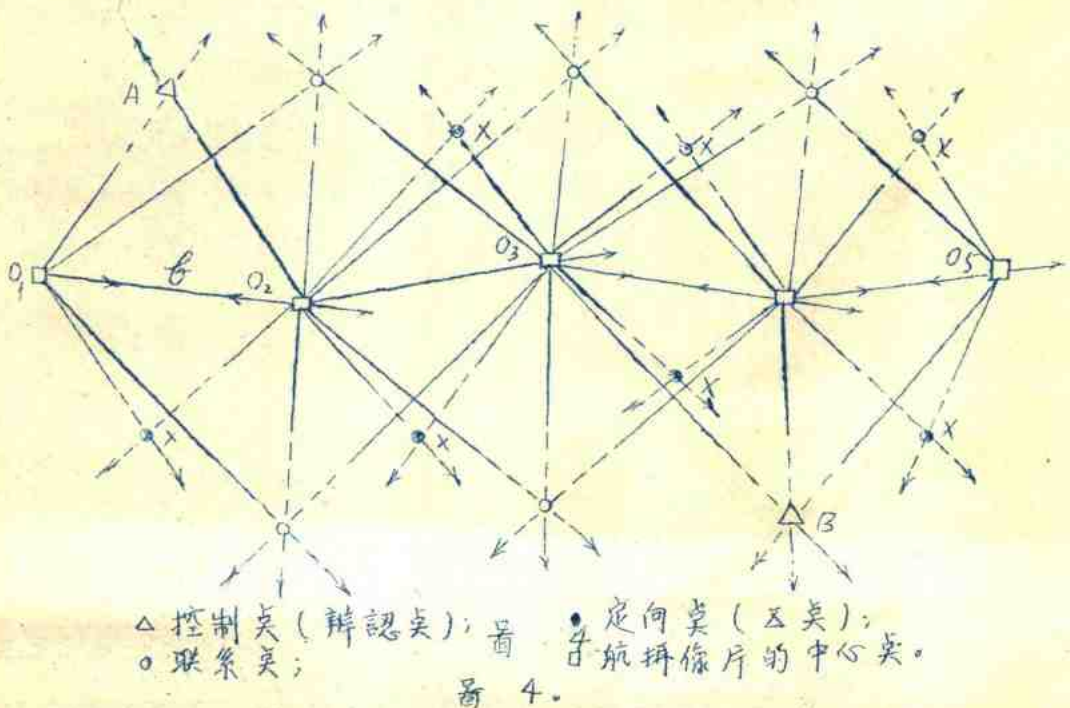
歸化通常是藉助於所謂歸化儀的專門儀器用光學機械方法來進行，間或亦用容易解析法。

我們知道，按控制點作航攝像片的糾正時，至少必須有四個點。這樣的像點是選在每張像片的使用面積的四个角上。(近似地位在側向和航向的二度重疊區域的中间)，並且這些點是在所有的重疊像片內都能够良好辨認出的清晰地物點。

在繪製方向線的透明紙時，還要向這許多標為定向點的像點給引中心方向線，這些像點有時也稱為 Σ 點。

這些像點在自由像片三角鎖系統內的位置是在容易解構成菱形鎖時求得。

在完成所有上述各條件以後，自由單航線菱形鎖就有大概如圖4所示的形式。



藉助於透明紙的疊置，当構成了這樣的菱形鎖時，則將原來的中突，控制突（辨認突）和定向突（ \times 突）轉制在墊在菱形鎖下面的透明紙條（見前）上。（參閱圖5）

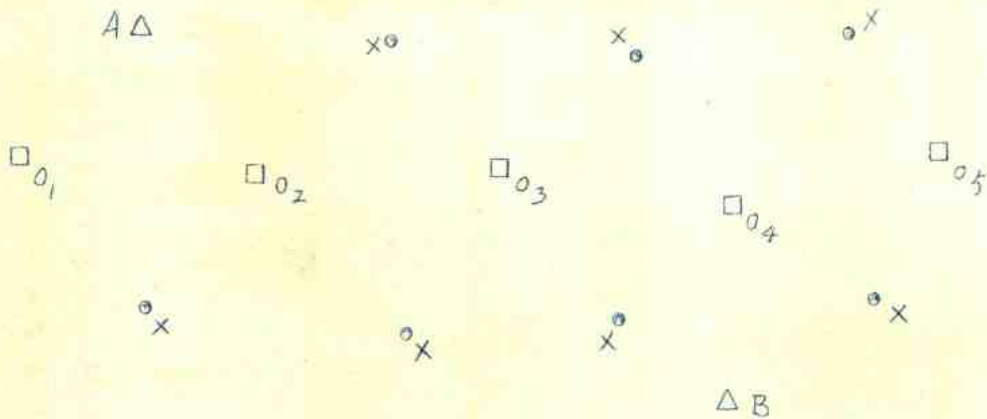


圖 5.

联系突是無需轉制的，因為它們祇是供用於幾何地構成菱形鎖，在以後不再使用。

在歸化以後，在平面圖上就得到定向突（ \times 突）和原來的中突的位置，這些突係利用於像片的糾正和像片平面圖的銀輯上。

構成單航綫菱形鎖的各種技術方案在苏联已經製訂得很好。關於構成單航綫菱形鎖的詳細技術以及在擴展菱形鎖時容許數值的判斷，我們將在一個專門的章節中補充地說明。而現在我們必須討論一些在構成單航綫菱形鎖時與誤差累積有關的原則性的問題，這些問題除理論的意義外，還有其生產上很大的意義，因為像片平面圖的精度，係決定於攝影三角測量的擴展精度。

首先來討論平面攝影三角測量網的誤差根源。

§2 平面攝影測量網的誤差根源

在構作平面的攝影測量鎖和網時，不可避免地要產生與中心定向誤差有關的誤差累積。