

多倍投影測圖儀的理論和實用

В.И. 科拉伯列夫 著

國家測繪總局

一九五六年 北京

多倍投影測圖儀的理論和實用

В. И. 科拉伯列夫 著

國家測繪總局

一九五六年 北京

出 版 說 明

一、本書系根据苏联1950年莫斯科出版的「多倍投影測圖儀的理論和实用」(Мультиплекс теория и практика)譯出。本書是技術科学候补博士科拉伯列夫(В.И. Кораблев)所著，內容分为理論与实用兩個部分，二者都有精深独到的地方。可供航空攝影測量教学与实际作業之用。

二、本書由李道义同志翻譯，蔣杏江、韋日升二同志校訂。

國 家 測 繪 總 局

一九五六年

目 錄

原序	5
第一篇 多倍投影測圖儀理論部分	
一. 利用多倍投影測圖儀解決航測諸問題的幾何原理	7
二. 在多倍投影測圖儀上採用的雙像觀察法	17
1. 閃閉法	17
2. 互補色法	18
3. 偏極光法	20
4. 立體閃閉法	22
三. 投影光束的恢復	22
1. 投影器和縮小儀的原理	22
2. 影像的清晰度	24
3. 投影光束的改變	28
四. 模型的構成	42
1. 像片定向元素改變時左右視差和上下視差的改變	42
2. 像片相對定向各點的分佈及在這些點上消除上下視差的次序	48
3. 航線模型的構成	53
五. 模型的變態	53
1. 像對模型的變態	56
2. 航線模型的變態	61
六. 模型定向	80
1. 模型比例尺的確定	82
2. 模型水平整置	83
3. 平面網的改正	90
七. 模型的量測	91
1. 空中網各點坐標的測定	91
2. 地圖的繪製	93

第二篇 實用部分

八. 多倍投影測圖儀的構造	95
1. 常角多倍投影測圖儀與寬角多倍投影測圖儀	96
2. 特寬角多倍投影測圖儀	104
3. 多投影器多倍投影測圖儀	106
4. 處理傾斜攝影像片的投影器	108
5. 縮小儀	108
6. 各種多倍投影測圖儀的特徵	112
九. 多倍投影測圖儀的調整和檢驗	114
1. 多倍投影測圖儀的調整	114
2. 多倍投影測圖儀的檢驗	121
十. 在多倍投影測圖儀上進行工作的經驗	128
1. 實驗工作	128
2. 生產作業	136
十一. 利用多倍投影測圖儀製圖的一般規定	141
1. 對航攝資料的要求	141
2. 對像片野外控制的要求	143
3. 像片的內業處理	149
附 錄	173
1. 投影器主距和 B_z 分割尺零點的測定	174
2. 縮小儀縮小係數的測定和安置	175
3. 沖洗正片的顯影液和定影液的配方	176
4. 多倍投影測圖儀空中三角測量手簿	177
5. 多倍投影測圖儀繪圖手簿	183

原 序

多倍投影測圖儀係現在廣泛應用於作業中的全能攝影測量儀器之一種。此種儀器與其他攝影測量儀器的區別，在於利用前者能獲得所攝地面整條航線像片的光學模型。多倍投影測圖儀基於雙像投影的原理，可以用來構成空中三角網、根據像片繪製地圖和修測地圖。以航測微分法測圖時，多倍投影測圖儀的單個投影器能用於改正輻射三角網，並能將已繪地物和等高線的像片投影於圖板上。

第一架多倍投影測圖儀是在一九三二年製造成功的。此儀器係由六個投影器組成，用於處理焦距為 210 公厘的航攝儀所攝取的像幅為 18×18 公分的垂直攝影像片。當時在多倍投影測圖儀上進行作業的經驗證明，在作業中採用此種儀器是有效的。一九三五年，寬角多倍投影測圖儀問世了，並製造了處理傾斜攝影像片的多倍投影測圖儀的雛形。更晚一些才製造成多投影器多倍投影測圖儀。^①

在蘇聯，創造多倍投影測圖儀的寬角和特寬角光學系統的這一艱巨工作，是由斯大林獎金獲得者魯西諾夫完成的。

一九四六年蘇聯製造了特寬角多倍投影測圖儀，其用途是處理像角為 122° 的像片。此種特寬角多倍投影測圖儀，遠較國外處理像角不超過 100° 之像片的各種多倍投影測圖儀為精良。

多倍投影測圖儀之所以被廣泛地採用，是因為它具有如下的優點：

(1) 無論何種地貌、像片的傾斜角如何、在實際作業中可以遇到的攝影高度差怎樣，都可以利用多倍投影測圖儀繪製地圖，而不至於顯著降低成果的精度；

(2) 在多倍投影測圖儀上能完成繪製地圖的全部過程，就這個意

① 這裏和以後，所謂多投影器多倍投影測圖儀，係指投影器數量多於九個的多倍投影測圖儀而言。

義說來，它是全能的：

(3)多倍投影測圖儀的生產率，較之其他航測儀器的生產率要高；

(4)構造簡單，運輸便利，且成本較低；

(5)工作簡單，完成全部作業過程非常明顯。

因為在多倍投影測圖儀上作業時，所採用的不是原來的像片而是縮小的正片，所以在多倍投影測圖儀上取得成果的精度，較之在精密立體測圖儀上取得成果的精度要低些。這應該說是多倍投影測圖儀的缺點。

在蘇聯，最初在根據像片繪製 1:50000 和 1:100000 比例尺山區地圖時，僅用多倍投影測圖儀加密高程控制點。而地貌的立體描繪、平面控制網的加密、地圖的繪製等都是用微分法完成。以前多倍投影測圖儀之所以被這樣應用，是因為當時多倍投影測圖儀的數量不足的緣故；現在，由於多倍投影測圖儀的數量大大地增加了，所以在繪製 1:25000、1:50000 和 1:100000 比例尺山區和大森林山區的地圖時，大部分工作都是利用多倍投影測圖儀完成。測繪這種地區的地圖，毫無疑問利用多倍投影測圖儀是最有效的。

第一篇 多倍投影測圖儀理論部分

一、利用多倍投影測圖儀解決航測諸問題的幾何原理

可以視攝影的地面為無數獨立點的綜合。在攝影的瞬息間，從地面的 $A, C, D, E, \dots$ 各個點上(圖1)均發出一條通過投影中心 S 的投影光線，並在感光藥膜上產生點的影像。投影光線的綜合形成一光束。因此，地面上 $A, C, D, E, \dots$ 各點與像片上 $a, c, d, e, \dots$ 各點被投影光線所聯結。

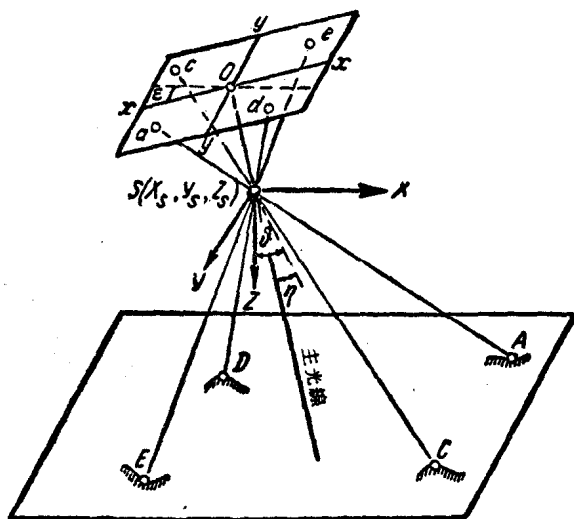


圖1

為了用像片恢復攝影時的投影光束，我們認定攝影後航攝儀的空間位置不變，將像片按照攝影時的位置準確地放在航攝儀內，使其向

相反的方向投影。根據光學上光線的可逆性，由像片上各點發出的投影光線，必通過攝影時發出此光線的各物點；這樣一來就恢復了攝影時所產生的光束。顯然，恢復的光束未被破壞；如果改變航攝儀的空間位置，也只是破壞了光束對大地坐標系 X, Y, Z 的方位，因為投影光線必將通過另外的物點，所以改變了像片的外方位元素。外方位元素包括：投影中心點的坐標 X_s, Y_s, Z_s ，和 $\vartheta, \eta, \varepsilon$ 三個角度。

這裏： ϑ —— XZ 平面上主光線（通過像主點 o 的光線）的投影與 Z 軸之夾角；

η ——主光線與其在 XZ 平面上的投影之夾角；

ε ——像平面上像片的 x 軸與 XZ 平面在像平面上的交線之夾角。

但如果改變像片對投影中心 S 的位置，就破壞了光束，即破壞了像片的內方位元素：航攝儀焦距值 f_h 和像主點 o 的坐標 dx_0 和 dy_0 。

從基線 B 的端點 S_1 和 S_2 兩攝影站（圖 2）對地面各攝影一次，

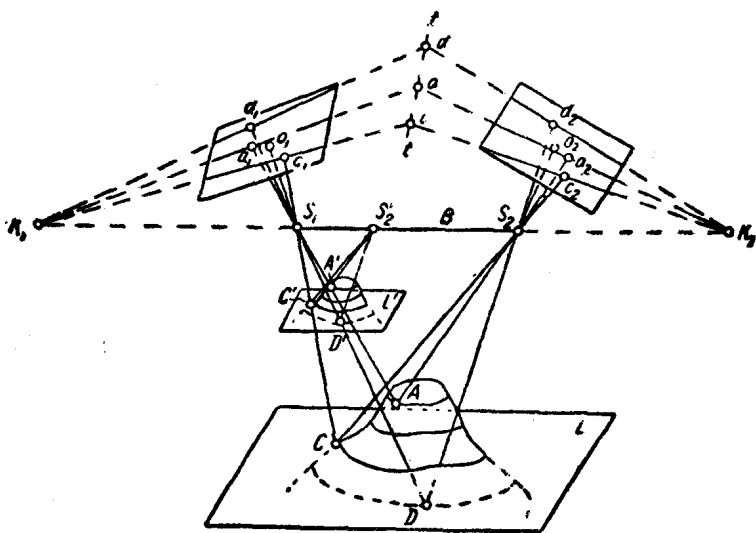


圖 2

這時，我們利用一對像片就可以得出以 S_1 和 S_2 為頂點的兩投影光束。不難看出，攝影時投影光線是成對地相交於 $A, C, D, \dots$ 各物點之上的。根據這一點，我們可以利用像對恢復地面的模型。事實上，如果攝影後不破壞像片的空間位置，將像片向相反的方向投影，那麼所恢復之光束的光線又重新成對地相交於攝影時發出此光線的各物點上。各對光線交點的綜合構成地面的光學模型。成對的投影光線 Aa_1 和 Aa_2 ， Cc_1 和 Cc_2 ， Dd_1 和 Dd_2 叫做相應光線。因此，所構成的地面模型，可視為相應光線諸交點的幾何位置。

所構成的光學模型的特點，在於作為相應光線各交點的幾何位置的光學模型是一實質模型。它不同於立體觀察像對時所感覺的立體模型，因為後者是虛構的。

現在我們來研究一下構成模型的一般幾何條件。各對相應光線都與攝影基線 B 位於一個平面上，此平面叫做核面。主光線（垂直於像平面的光線）所在的核面，叫做主核面。諸核面的綜合構成一平面束，其軸為基線 B 。核面與像平面的交線叫做核線，並且交線上還有着各核線所集合而成的核點 K_1 和 K_2 ，此兩核點就是基線與像平面的交點。按照這種情況，可視 K_1 和 K_2 兩點為相鄰兩投影中心 S_1 和 S_2 在兩像平面上的中心投影，而視基線 B 為投影此兩中心的結合光線。相應核線延長時，必交會於兩像平面的交線 tt 的 $a, c, d, \dots$ 各點上。

大家都知道，像片在空間的相對位置是由五個相對方位元素決定的。在多重投影測圖儀上使用的相對方位元素系統如圖3所示。此系統內的相對方位元素為：

$$\alpha, \omega, \kappa, \frac{B_y}{B_x} = \operatorname{tg} \xi, \frac{B_z}{B_x} = \operatorname{tg} \gamma \quad (1)$$

這些元素能確定右像片的位置和基線 B 對左像片的方向，可採取左像片投影中心 S_1 為坐標原點；主光線與 Z 軸重合，而像片的 x 軸與所選坐標系的 X 軸平行。

這裏： α —— Z 軸與右像片主光線在 ZX 平面上的投影所夾之角。

ω ——右像片主光線與其在 XZ 平面上的投影所夾之角;
 α ——右像平面上 x 軸與主核面 $W\Pi$ 的跡線所夾之角;
 B_x, B_y 和 B_z ——基線 B 在坐標軸 X, Y, Z 上相應之投影。

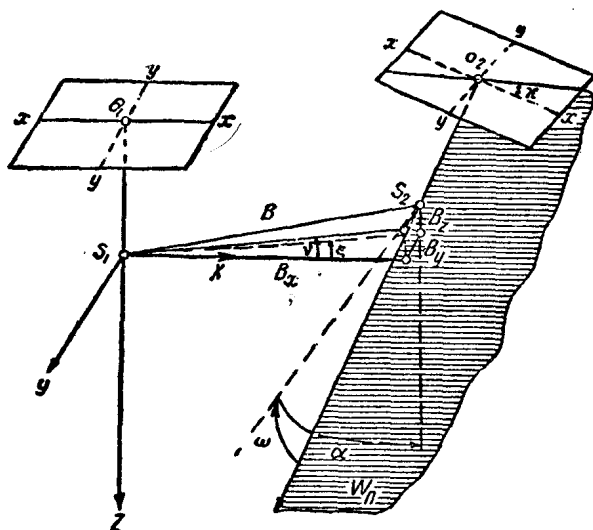


圖 3

如果使 ξ 和 ν 兩角度等於零, 則必產生如下之相對方位元素(圖4):

$$\varphi_1, \varphi_2, \omega, \alpha_1, \alpha_2 \quad (2)$$

這裏: φ_1 和 φ_2 ——主核面在像平面上之跡線與基線所夾之角;

ω ——左右兩像片的主核面 W_I 和 W_{II} 所夾之角;

α_1 和 α_2 ——主核面在像平面上之跡線與像片 x 坐標軸所夾之角。

這就是說, 如果像片相對方位元素為已知值, 那麼就可以恢復投影光束的相對位置, 從而獲得所攝地面之光學模型。

通常在多倍投影測圖儀上不求出相對方位元素, 而利用客觀存在着的光束相應光線相交的特徵使之構成模型。投影平面 L 上左右兩像

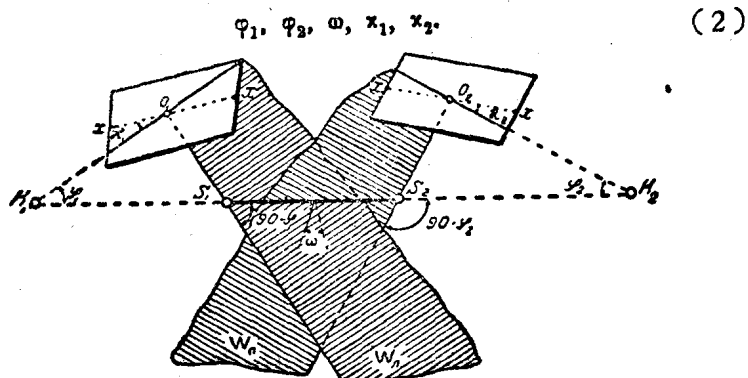


圖 4

片相同像點上下視差 q 之消除，是衡量相應光線交會的標準。圖 5 所示之 A_1 和 A_2 為投影面 L 上相同像點的影像； H 是 S_1 和 S_2 兩投影中心點到 L 平面之距離； q_A 是上下視差，此上下視差應等於：

$$q_A = Y_2 - Y_1 \quad (3)$$

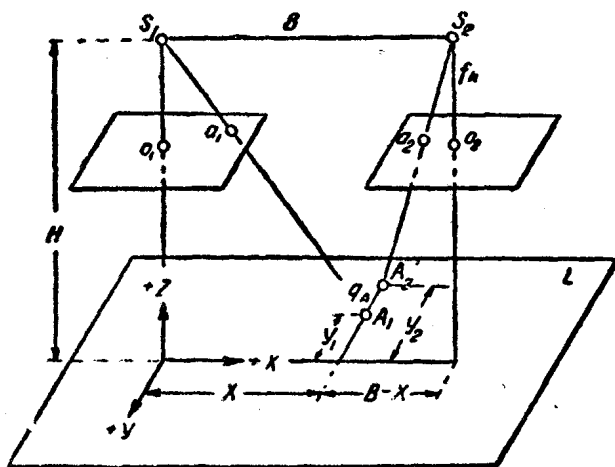


圖 5

各點相應光線的相交，可視為構成模型的獨立條件。因為構成模型需要有五個條件（即相對方位的五個元素）；並且至少必須有五對相

應光線相交才能構成模型。但並不一定每次都能構成模型。事實上，如果相應光線都在一個平面上，則移動投影中心時，在此平面內仍可保持其交會，可是相對方位元素已被改變。因此，至少應使相應光線分佈在兩個（山地）或三個（平地）核面上。有時，任意數目之各對相應光線相交如為單數，則光束的相對方位仍不能確定。此種情況稱為相對方位的不定性。當投影中心點和物點位於二次直線表面（或稱直紋面；即單葉雙曲線體、旋轉圓錐體、圓柱體）上時，便產生此種不定性的相對方位；此種情形於山地測圖時可能遇到。

為了便於量測，常改變模型的比例尺，而不破壞構成之模型的類似性。為此目的，應使一投影光束沿基線移動，而不破壞其依三軸旋轉之角度值。實際上，如果將光束從 S_2 （見圖2）移至 S'_2 的位置，則相應光線的交會仍可保持，因為這些相應光線位於同一核面內，並且其間的角度值沒有改變。因此始終保持着模型的類似性，僅模型的比例尺與基線長度成比例地改變着。

此種模型的構成，具有自由比例尺和任意的空間位置。為了使模型量測取得大地坐標系中的成果，必須根據控制點將模型進行外部定向（大地定向），即確定模型比例尺並使之水平。

大家都知道，投影光束對大地坐標系的相對位置應由六個外方位元素決定。對於一對光束可寫成：

$$\begin{aligned} X_{s_1}, Y_{s_1}, Z_{s_1}, \vartheta_1, \eta_1, \varepsilon_1; \\ X_{s_2}, Y_{s_2}, Z_{s_2}, \vartheta_2, \eta_2, \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (4)$$

組成相應元素之差：

$$\begin{aligned} X_{s_1} - X_{s_2} &= \Delta X, & \vartheta_1 - \vartheta_2 &= \alpha, \\ Y_{s_1} - Y_{s_2} &= \Delta Y, & \eta_1 - \eta_2 &= \omega, \\ Z_{s_1} - Z_{s_2} &= \Delta Z, & \varepsilon_1 - \varepsilon_2 &= \kappa. \end{aligned}$$

坐標增量 $\Delta X, \Delta Y$ 和 ΔZ 為基線在相應坐標軸上之投影 B_x, B_y, B_z 。如果要顧及元素組(1)，則元素組(4)可寫成如下的形式：

$$X_{s_1}, Y_{s_1}, Z_{s_1}, \vartheta_1, \eta_1, \varepsilon_1, B_x; \quad (5)$$

$$\nu, \xi, \alpha, \omega, \kappa_0$$

元素組(5)上行的數值決定第一光束的外方位和基線；而下行的數值決定第二光束的位置，和攝影基線對於第一光束的方向。

模型的七個外方位元素，亦可用另一個系統表示。例如：已知模型 D 、 C 兩點(見圖2)的大地坐標和模型對於水平面 L 的傾斜角。我們根據這兩點的坐標 X_D, Y_D, Z_D 和 X_C, Y_C, Z_C 能够確定模型的比例尺，並根據已知直線 DC 確定模型的方位。為了安置模型之傾斜角，應具有不與第一第二兩點同位於一條直線上之第三點 A 的高程 Z_A 。因此，在大地坐標系中的模型定向，必須具有七個獨立的數據，即相應於模型外方位的數目。

不僅在像對內可以構成地面之模型，在重疊像片鎖的長度內亦可構成模型。模型之構成，可不破壞第一第二兩張像片光束 S_1 和 S_2 (見圖6) 相應光線的交點，而將第三張像片的光束 S_3 對光束 S_2 定向，使相應光線得以相交，再根據公共距離 DE 改變基線長度 B_2 ，將兩模型化歸為同一之比例尺。光束 S_2 參入構成兩個模型；比例尺相等時，光束 S_2 便將兩模型合而為一。當像片間具有重疊，且此重疊保證

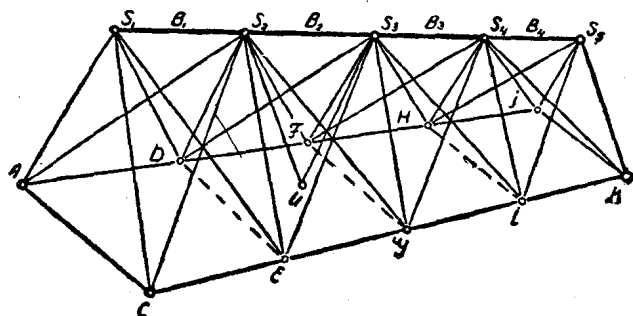


圖6

按公共點 $D, E, H, J, \dots$ 能將模型連接時，以此方法可以在任意數目像片的長度內構成整個的實質模型。顯然，航線模型的外部定向，只需有與像對模型外部定向同樣多的大地點。這就使我們能大大地減

少利用像片繪製地圖所必需的大地點的數目。大地定向之後，任意點 U 的坐標均可在模型上直接量測。在像片鎖的長度內模型的構成和接着確定其他獨立點的坐標，稱為空中三角測量。

外部定向後的模型量測工作，是將 $A, C, D, \dots$ 各點（圖 7）向圖平面 E （大地坐標系的 XY 面）上作正射投影；並量測模型各點對於圖平面的高程。綜合各點的正射投影位置 $A_0, C_0, D_0, \dots$ 依模型比例尺將承影板上所攝地面的輪廓線描繪於圖紙上。測出的高程用等高綫表示其特徵。為了便於量測，須根據高程上下移動承影面 E 。當

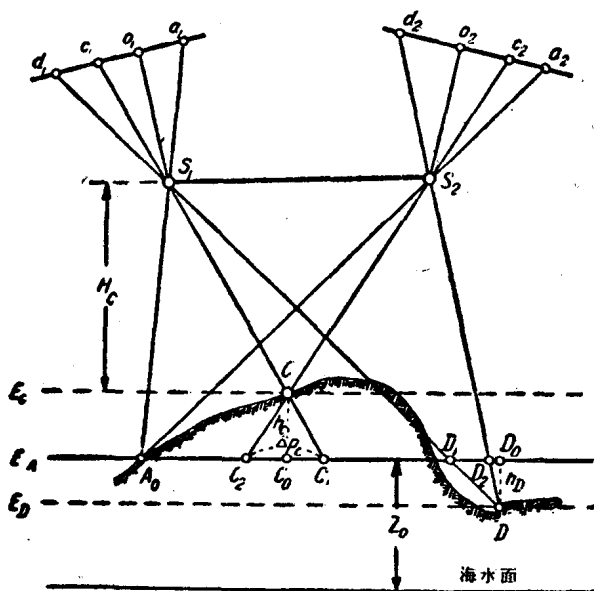


圖 7

承影面與模型 C, D 兩點 (E_C 和 E_D 兩位置) 重合時，測定該兩點的正射投影位置 C_0 和 D_0 ；上下移動的量 h_c 和 h_D ，為 C, D 兩點距離 E_A 平面起始位置的高差。不難看出，模型 C 點的絕對高程 Z_c 可用下式表示：

$$Z_c = Z_0 + Mh_c \quad (6)$$

式中: Z_0 ——起始點(此時即為A點)的絕對高程;

 h_c ——模型比例尺中所求點距起始點的高差；

M ——模型比例尺的分母。

從圖 7 上也可以確定，當基線 B 為水平時：

$$h_c = \frac{H_c}{R} \Delta p_c \quad (7)$$

投影鏡箱和照明裝置，來恢復與攝影時所產生的光束相似的投影光束。為此目的，須將與原像片相似的正片安置於投影鏡箱內，但須縮小 k 倍。正片投影於承影面 E 上，此承影面即儀器上的圖平面或大地坐標系的 XY 平面。爲了將所恢復的光束進行相對定向，須使各投影器能沿主樑（ B_x 移動）和其他兩個坐標軸（ B_y 和 B_z 移動）的方向移動，以及能作縱向（ α 傾斜）與橫向（ ω 傾斜）傾斜，並繞其軸（ x 旋轉）旋轉。已定向之光束諸相應光線的交會，構成了所攝地面的模型。根據控制點 $A, C, D, E, \dots$ 進行絕對定向時，這些點的平面位置和高程依模型比例尺在儀器的空間用控制點台的測標來確定。爲了使模型各點與控制點台的測標重合，須將模型上下移動，以及作縱向和橫向傾斜，並在圖桌上移動圖紙。利用主樑的螺旋柱 W 使模型上下移動並作縱向傾斜，而橫向傾斜則利用儀器台座的升降螺絲 V 來進行。

利用可移動的繪圖器量測模型。繪圖器的測標 M 可與模型 U 之

任一點重合。此時繪圖器上的鉛筆將正射投影的位置 U 。點標示在圖紙上，並按高程尺算出此點的高程 h_u 。

爲了製作與原像片相似的縮小正片，多倍投影測圖儀附有縮小儀，其構造如圖9所示。放置底片的底片平面 ac 和放置正片的像平面 $a'c'$ 互相平行，並依光學的原理相聯結。爲了使底片成爲平坦的平面，須將底片壓於承片玻璃 Π_1 和壓片玻璃 Π_2 之間。爲求得影像的亮度均勻，在縮小儀物鏡 S_y 之前安置一濾光玻璃 Φ 。露光時，用帶有燈泡之弧形反光鏡照射底片。

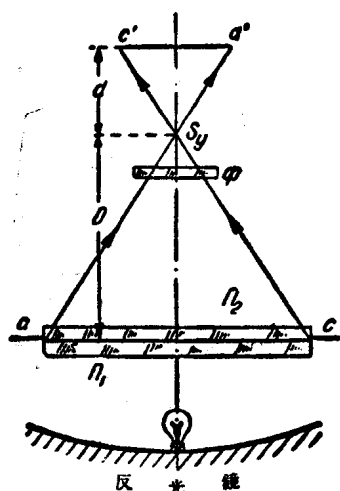


圖9