



光束改變後空中三角測量構網法



中國人民解放軍測繪學院譯印

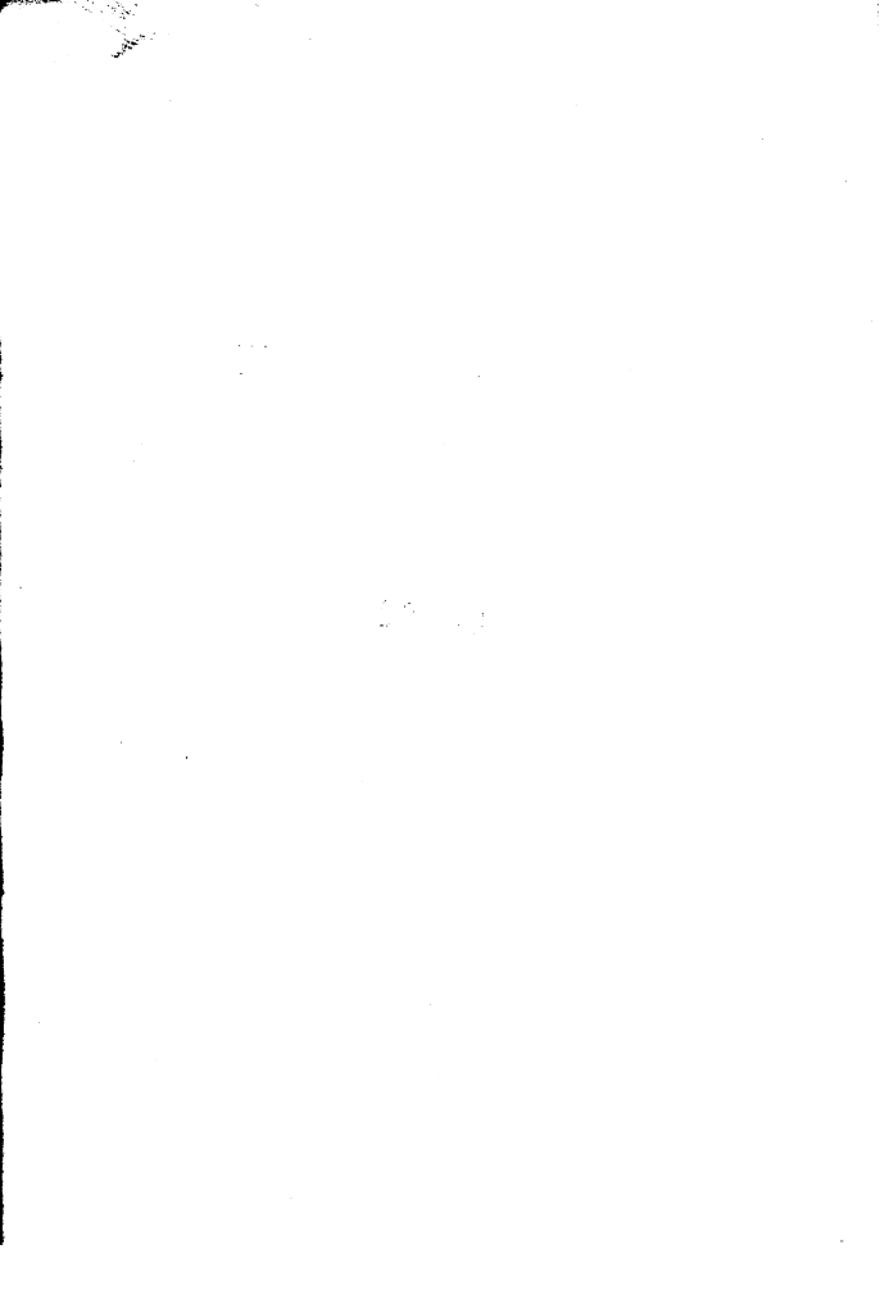


光束改變後空中三角測量構網法

適用於精密立體測圖儀和多倍投影測圖儀

中國人民解放軍測繪學院譯印

一九五五年八月 北 京



出版說明

一、我院爲了大力、全面、徹底學習蘇聯，初步組織人力翻譯一些蘇聯的測繪技術教材和參考書，作爲我院人員學習蘇聯先進測繪科學技術的主要資料。

二、本書係根據1951年莫斯科出版的“光束改變後空中三角測量構網法”（Пособие по построению пространственных сетей на стереопла-ниграфе и мультиплексе при преобразованных связках проектирующих луней）譯出。該書由 Г.П.茹科夫（Жуковым）、Е.И.克拉塔洛夫（Калантаровым）和 З.С.尼古拉也夫斯基（Николаевской）三人所合著。

三、本書由張鴻珍同志翻譯，李道義同志作俄文校對，蔣杏江、韋日昇兩同志作技術校對，並由陳賢鏗同志作最後校閱。

四、由於教學上需要迫切，未能作反覆審校，錯誤與不妥之處在所難免，希讀者提出意見，以便再版時修正。

中國人民解放軍測繪學院

一九五五年八月

目 錄

I 投影光束改變後空中三角測量

構網法的理論基礎

1. 標準式的模型或三角網..... 7
2. 構成模型的條件.....13
3. 確定在儀器上安置像片之數據.....17
4. 模型的變態.....23
5. 像片在儀器上的相對定向.....25

II 作業過程的順序和準備工作

1. 空中三角構網法的特點.....29
2. 構網時的工作程序.....30
3. 精密立體測圖儀分割尺零位置的確定.....31
4. 多倍投影測圖儀和縮小儀常數的
測定及其安置工作.....34
5. 製訂空中三角網的計劃.....38
6. 製作縮小正片.....39

III 像片方位元素之確定

1. 坐標系和像片的方位元素.....42
2. 量測像片以便確定相對方位元素.....44
3. 像片相對方位元素之計算.....48
4. 像片外方位元素之確定.....49

5. 在精密立體測圖儀或多倍投影測圖儀上
確定安置像片之方位元素.....59
6. 像片在精密立體測圖儀和多倍投影測圖儀上
的相對定向.....62

■ 自由網的構成

1. 利用精密立體測圖儀構成空中
三角網（第一種方法）.....67
2. 利用多倍投影器的多倍投影測
圖儀構成空中三角網（第一種方法）.....68
3. 利用三個投影器的多倍投影測
圖儀構成空中三角網（第一種方法）.....71
4. 利用多倍投影測圖儀和精密立體測
圖儀構成空中三角網（第二種方法）.....72

V 空中三角測量網的大地定向

1. 確定三角網的水平比例尺.....78
2. 確定單航線三角網各點的高程.....80
3. 圖幅內（測區）各點平面位置
和高程的共同平差.....83

I 投影光束改變後空中三角測量構網法的理論基礎

1. 標準式的模型或三角網

當航攝儀鏡箱焦距與精密立體測圖儀或多倍投影測圖儀投影器主距不相等，或者不相當的時候，在這些儀器上，可以用兩種方法來構成空中三角網：第一種方法是在構網前確定像片的傾斜角；第二種方法則不需要預先確定像片的傾斜角，而是在構網時根據相對定向的結果，在構網所用的儀器上直接求出這些傾斜角。但是在這種情況下，像片相對定向的過程，比儀器的主距與航攝儀鏡箱焦距相等時要複雜得多。

爲了預先求得像片的傾斜角，可以採用測定相對方位元素的計算法，而所求得的像片傾斜角並不是真值，因爲每條航綫的像片傾斜角都是根據原來的傾斜平面決定的，此傾斜平面以後稱爲假定水平面，其傾斜角只有在所構成的自由網進行外部定向後才能確定。應該指出，假定水平面的傾斜角可以認爲是不大的，約爲 $20'$ —— $40'$ 。此外，如果在航空攝影時已經攝取了高差儀記錄，那麼就可以確定像片的縱向真傾斜角。也可以設想，根據已知的傾斜角糾正每張像片，使之得到各像片對假定水平面的傾斜角爲零的航綫。糾正像片是完全現實的方法，在主距與焦距不相等或不相當的情況下，確實可用這種方法構網。但是糾正像片是一個艱巨的過程，並且也沒有必要進行這一過程，所以這裡所提出來的假設只是爲了從理論上來研究這一問題。

因而假定有一條對假定水平面的傾斜角爲零的像片航綫，同時

對假定水平面的攝影高度各不相同，不難證明，根據這些像片用普通方法，在投影器鏡箱主距不等於航攝儀焦距的儀器上構成空中三角網，會得到不同的垂直比例尺和水平比例尺，並且垂直比例尺 M_B 對水平比例尺 M_T 之比將等於儀器投影器主距 f_{II} 對航攝儀鏡箱焦距 f_A 之比：

$$\frac{M_B}{M_T} = \frac{f_{II}}{f_A} = k.$$

這個最後的結論需要加以說明。我們設想普通的空中三角網〔①〕與構成此網的投影光束同時存在，很顯然，這些光束將與攝影時所存在的光束相同。我們改變由光束頂點 $S_1, S_2, \dots, S_n$ (圖1) 和相應光線的交點 $A, B, C, \dots$ 所確定的空間幾何圖

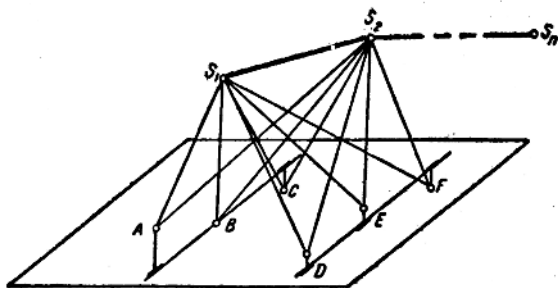


圖 1

形，使其沿水平方向的比例尺仍舊不變，而垂直方向（正確點說應該是假定垂直方向）的比例尺，如果在改變了的模型中起始模型的垂直方向仍然保持垂直的話，則增大 k 倍（圖2）。這種改變是空間仿射性改變的個別情況，以後將稱為三角網或立體模型的標準式改變。

〔①〕這裏所講的普通網是指網內各點的相對位置相似於地面各相應點的相對位置。

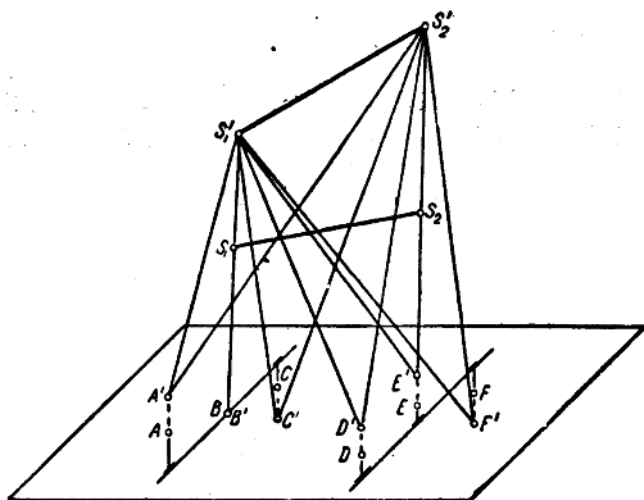


圖 2

很顯然，改變了三角網同樣也改變了攝影光束。每一光束都根據其光線的坐標來確定；為此目的，應將光束的一條光線和包含此光線的平面當作起始光線和起始平面，那麼光束中的每一光線的坐標就是 γ 和 δ 兩個角度（圖3）。 γ 角是光束中某一光線和起始光線的夾角， δ 角是通過某一光線和起始光線的平面與光束起始平面的夾角。在構網的光束中，起始光線就是垂直的光線，而起始平面可以任意選擇。在三角網的標準式改變中， δ 角是不變的，因為這些角都是水平角。起始光線和起始平面的位置也同樣不變，在改變了的三角網中它們仍是垂直的。因此，說明光束改變的特徵，只是 γ 角的改變，取其新值 γ' 。現在我們來求 γ 和 γ' 之間的關係。假設在圖2上： S 是光束的頂點， SN 是此光束的垂直光線， A 是三角網的某一點；其次，設從 A 點到 SN 線的垂線與 SN 線相交於 T 點。

則

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{AT}{ST}.$$

三角網改變後，由於綫段 AT 是水平的，所以 AT 仍舊保持不變，而綫段 ST 則改變為 $S'T$ ，且 $S'T = ST \cdot k$ ，式中 k 是改變了的模型的垂直比例尺與其水平比例尺之比。

因此，

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{k}.$$

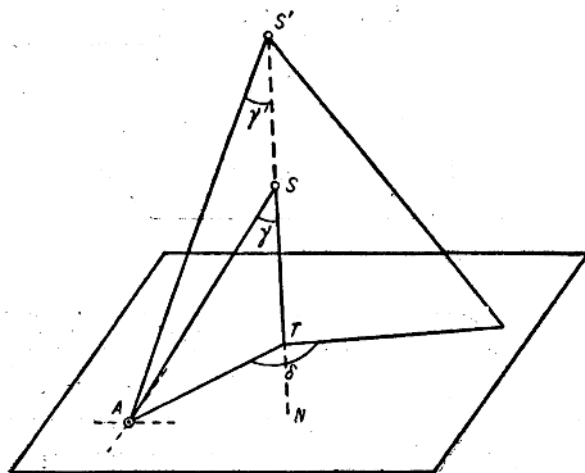


圖 3

這個比例關係對每一光束的任何 γ 角度都是適用的。

對於根據像片恢復的光束來說，主光綫（即垂直於像平面的光綫）就是起始光綫，而 δ 角在像平面上測定。因此假若根據像片來恢復光束（圖 4），則：

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{r}{f_u},$$

式中 r 是由像片某一點 a 到像主點 o 的距離。

當投影器的主距等於航攝儀鏡箱焦距 ($f_{II} = f_A$) 時，所得到的光束稱為原有光束。如果 $f_{II} \neq f_A$ ，則所得到的光束稱為改變光束。不難看出，改變光束的 γ' 角和原有光束的 γ 角之間的關係可用下式表示：

$$\frac{tg\gamma'}{tg\gamma} = \frac{f_A}{f_{II}}.$$

這樣一來，根據像片所恢復的光束，就是按照三角網標準式改變的規律所改變的光束。假如，

$\frac{f_A}{f_{II}} = k$ ，那麼根據像片所得到的

光束將與改變三角網的光束相同；因此，假如根據像片所得到的光束用相對定向來構網，那麼所得到的網就相似於改變後的網，因為在定向過程中沒有變動的光束，可以用唯一的方式彼此進行定向，如果不考慮光束頂點間距離變化的話。但是，假使利用未糾正的傾斜像片構網，就不可能得到和標準式改變網相同的光束。因此，恢復傾斜像片的投影光束，應當使其形狀和恢復

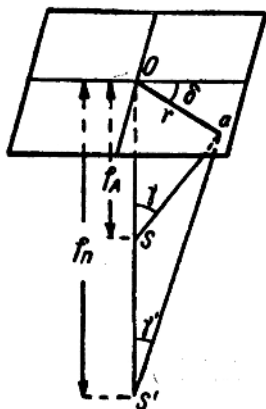


圖 4

糾正像片投影光束的形狀最相近似，同時首先必須遵守一個條件，就是保證最精確地確定所構成的網或模型各點的高程。

地面模型或者是由像片構成兩個光束的相應光綫各交點綜合而成，或者是由一個光束的光綫與另一光束的面束平面的交點綜合而成。同時每個單獨點都是由光束的光綫和面束的平面相交來決定的。當然在此平面內包含有另一光束與此光綫相應的光綫。例如： A 點（圖 5）由光綫 S_1a_1 和平面 W_A 相交來確定。在平面 W_A 內

含有和光線 S_1a_1 相應的光線 S_2a_2 。光束 S_2 的光線 r'_1 是 W_A, W_C 等平面的面束稜。

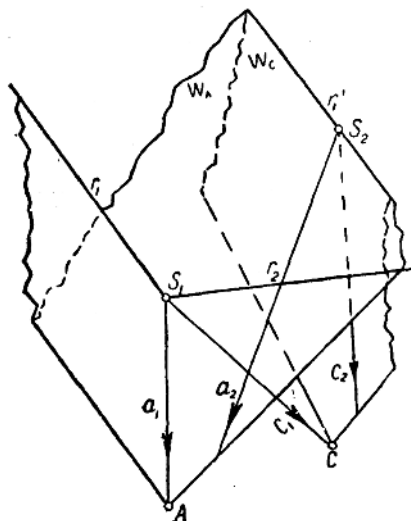


圖 5

用光束與面束相交所構成的地面模型，比由光束相應光綫所構成的模型與標準式模型的形狀更為近似。但僅在構網前確定像片傾斜角的時候，才能用這種方法來改善模型的形狀。因此，只有在採用第一種方法構網時，才能用投影光綫與平面相交的方法來確定網內各點的位置。

如果投影光綫的兩個光束以適當的方法進行定向，則由兩個面束的相應平面的相交可以確定所構成的模型各點的高程，但兩面束的側稜應互相平行（圖 6）。因此，最好將光束的每一投影光綫看作是屬於不同面束的兩個投射面的交綫。在沒有變態的模型中，這些面束中一個面束的側稜應該平行於坐標系的橫坐標軸 X ，這個面束

以後稱為橫面束。而另一面束的側稜，應該平行於坐標系的縱坐標軸 Y ，這個面束以後稱為縱面束。

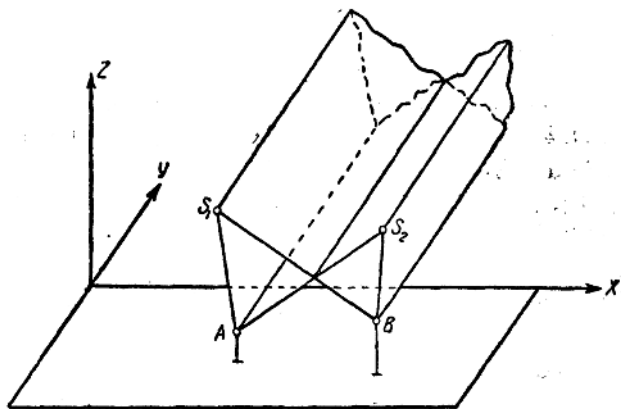


圖 6

很顯然，地面任何一個點的高程，都決定於屬於縱面束的相應投射面的交綫對 XY 平面的距離。

2. 構成模型的條件

由光束直綫與面束平面相交的各交點綜合而構成模型的原理，不能保證所得的模型為嚴格的標準式模型，所得的模型與標準式模型的區別，可視為模型的變態。

構成模型時，如能保持下列條件，則模型為標準式模型：

- 1) 模型中以互相平行的平面表示地面的水平面；
- 2) 恢復地面水平面的每一個平面中，各個方向上的影像比例尺都是一致的；
- 3) 模型各個水平面上的影像比例尺都是一致的；
- 4) 地物的垂綫在模型中仍為垂綫；

5) 模型的垂直比例尺在模型的各部分上都是一致的，但可能不等於水平比例尺。

要表示攝影測量的地面模型中的平面和直線平行或垂直於坐標系平面（此平面表示地面坐標系的相應水平面）的關係，常採用“水平”和“垂直”兩個術語。

根據兩張像片可構成多種不同的模型，模型變態的性質，僅由其構成的方法來決定。在像片的物理性能和處理像片過程中的誤差所確定的範圍內，精密地測定地面各點高程的條件是上述第一種方法的基礎。這樣提出問題，在原則上是完全可以的。地面各點的高程，可作為兩個面束相應平面交綫的高程來測定，此兩面束的側稜是水平的。根據兩張沒有變形的像片，可以得到和原有面束具有共綫性的空間任何面束相同的面束，因而也得到符合於對原有面束成標準式改變的空間面束。由此可見，利用這種方法時，只有將模型正射投影於水平面上才有變形。

面束的選擇在原則上是任意的，但構成面束的方法，應該使其能適用於在現有的全能儀器上構成模型（如在精密立體測圖儀和多倍投影測圖儀上）。因此，面束的選擇將取決於儀器的構造。當模型係由兩個光束的相應光綫相交所構成時，在水平面內移動測標並改變這一平面的高度。就可以使測標與各相應點相重合。但是，如果相應投影光綫不相交，那麼唯一的方法，只能使各相應點位於垂直於儀器橫坐標軸的一條直線上，這可以用改變截面高度來達到。換句話說，就是像片在儀器上安置和定向後，上下視差將不等於零。為了使測定各點的坐標值一致，必須根據一定的法則消除上下視差。消除上下視差最簡單而又實用的方法是沿着縱坐標軸移動儀器的投影器或儀器的測標，對於所處理的像對經常只移動同一個投影器或測標。因此，假如在觀測點所在的投射面上移動測標，則模型每一點的坐標將具有唯一的數值。由此可見，應該使儀器中面束的側稜垂直於儀器坐標系的 XZ 平面。

模型的每一點都可以看作是三個平面的交點，其中兩個平面屬

於同一個光束，例如圖 5 的左邊，而第三平面則屬於第二光束。具有側稜 r_1 和 r'_1 的面束能够確定模型各點的高程，稱之爲縱面束，具有側稜 r_2 的面束爲取得平面坐標所必須的，稱之爲橫面束。

假設在原有位置上，即在攝影時像片所佔有的位置上，平行於地面坐標軸的直線與像平面相交於 V, W, N 各點（圖 7）。則 VW 即爲像水平綫。由以前所述可以看出，攝影時平行於地面坐標系縱坐標軸的光束直綫應爲縱面束之側稜。可以採用任意一條直綫作爲橫面束之側稜，因此經常選擇攝影時與橫坐標軸平行的直綫作爲橫面束之側稜。面束的形狀同樣決定於此面束的側稜對像片所處的位置。側稜的位置是由下列因素決定的：

- 1) 側稜與像平面相交的各點；
- 2) 面束側稜與像水平綫所組成的 θ 角；

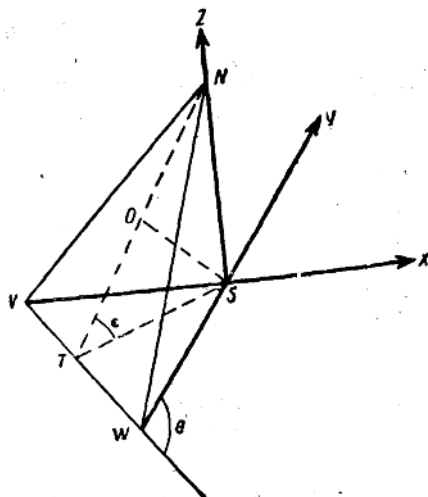


圖 7

3) 通過面束側稜和像水平綫的平面 (VWS) 與像平面 (VW N) 組成的 ε 角。

面束的形狀用面束平面與平面 VWS 所構成的角度來表明 (圖 8)。

由圖 8 可知,

$$\operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{ctg} v \frac{\sin \theta}{\sin \varepsilon} - \operatorname{ctg} \varepsilon \cos \theta.$$

v 角為像片上兩直綫的夾角, 因此在整個改變光束中 v 角不變。其值可用原有面束的各角 φ_1, ε_1 和 θ_1 來確定:

$$\operatorname{ctg} v = \operatorname{ctg} \varphi_1 \frac{\sin \varepsilon_1}{\sin \theta_1} + \cos \varepsilon_1 \operatorname{ctg} \theta_1.$$

因而:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{ctg} \varphi_1 \frac{\sin \varepsilon_1}{\sin \varepsilon} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \theta_1} + \frac{\sin \theta}{\sin \varepsilon} (\cos \varepsilon_1 \operatorname{ctg} \theta_1 - \cos \varepsilon \operatorname{ctg} \theta).$$

所改變的面束對於原有面束應為標準式改變的面束。由圖 9 可

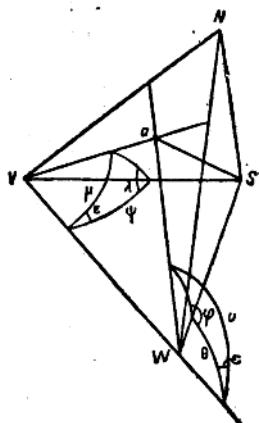


圖 8

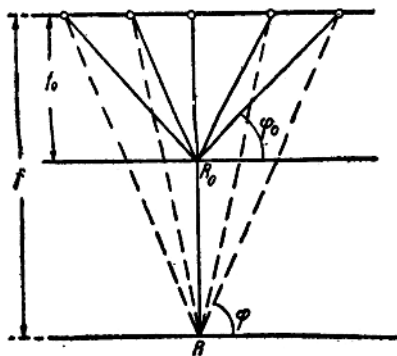


圖 9