



航空攝影測量學

下 冊

(中等科講義)

中國人民解放軍測繪學院編印



航空攝影測量學

下 冊

(中等科講義)

中國人民解放軍測繪學院編印

一九五七年十一月

下 册 目 录

第四編 航空立体摄影測量

第十三章 航空立体摄影測量概說和基本公式 7

§13.1 立体摄影測量概說.....	7
§13.2 像对的相对方位元素和絕對方位元素.....	10
(一) 相对方位元素	11
(二) 絕對方位元素	13
§13.3 近似垂直摄影像片与水平像片間相应像点坐标关系式.....	14
§13.4 标准式像对及左右視差的概念.....	19
§13.5 根据标准式像对計算高程差的公式.....	20

第十四章 立体观察与量測.....23

§14.1 眼睛的構造和本能.....	23
§14.2 立体观察.....	24
(一) 天然立体观察	24
(二) 像对立体观察	27
(三) 用立体鏡作像对立体观察	29
§14.3 互补色立体观察.....	32
§14.4 像对的立体量測.....	34
(一) 双測标法 (虛測标法)	34
(二) 單測标法 (实測标法)	35

第十五章 多倍投影測圖仪和威特 A5 自动 測圖仪37

§15.1 全能法立体測圖仪器的分类.....	37
§15.2 多倍投影測圖仪的構造.....	38

(一) 常角和寬角多倍投影測圖儀	38
(二) 特寬角多倍投影測圖儀	45
§15.3 多倍投影測圖儀的檢點及改正	46
(一) 測繪器的檢點及改正	47
(二) 投影器內方位元素的檢驗	47
(三) 確定 b_s 分划尺的零位置	49
(四) 縮小儀的檢驗	49
§15.4 多倍投影測圖儀在使用上的限制	49
§15.5 威特 A_6 自動測圖儀的構造	50

第十六章 像對的相對定向和模型的絕對定向.....58

§16.1 像對相對定向的條件	58
§16.2 相對定向時選點的條件	60
§16.3 相對方位元素的計算	62
§16.4 相對定向的光學機械法	66
(一) 單獨像對的相對定向	67
(二) 連續像對的相對定向	73
§16.5 立體模型的扭曲	77
(一) 外方位元素對左右視差較的影響	77
(二) 左右視差較的誤差對高程差的影響	80
(三) 立體模型扭曲的形狀	81
§16.6 模型的絕對定向	84
(一) 確定模型的比例尺	85
(二) 確定模型在空間的位置	87

第十七章 像片外方位元素的測定89

§17.1 利用地平鏡攝影儀測定像片的傾斜角	89
§17.2 利用高差儀測定航高	92
§17.3 利用雷達測定攝影站的位置	95
(一) 根據兩個已知的地面站測定攝影站的平面位置	95
(二) 利用雷達測高儀測定飛機對地面的航高	96
§17.4 近似像底點的確定	100

第十八章 在多倍投影測圖儀上進行空中

三角測量.....104

- §18.1 概說104
- §18.2 在多倍投影測圖儀上進行空中三角測量106
- §18.3 圖解高程平差111
- §18.4 高差儀記錄在空中三角測量的應用116

第十九章 航空攝影測量全能法119

- §19.1 概說119
- §19.2 全能法對航攝資料的要求119
- §19.3 全能法對野外控制點的要求120
- §19.4 立體測繪地物和地貌124

第二十章 光束改變時像片在多倍儀上

的作業法.....128

- §20.1 水平像對按改變光束作業的理論128
- §20.2 用未糾正的像對在光束改變時的作業法131

第二十一章 室內高程控制加密法136

- §21.1 概說136
- §21.2 高程改正的內插法136
 - (一) 視差測微尺的構造和使用137
 - (二) 像片基綫 b 和航高 H_1 的確定138
 - (三) 高程等改正曲綫網141
- ✓ §21.3 無扭曲模型法144
 - (一) 立體坐標儀的構造和使用144
 - (二) 無扭曲模型法的基本公式149
 - (三) 在一個立體像對內加密高程控制153
 - (四) 在兩個相鄰立體像對內加密高程控制160
 - (五) 在整塊地區內用無扭曲模型法加密高程控制
(廣新連續法)163

(六) 确定点的平面位置	164
(七) CK-3 立体坐标仪在無扭曲模型法的应用	165
第二十二章 立体量测仪	169
§22.1 立体量测仪的構造	169
§22.2 校正机械的構造及其原理	174
(一) 縱校正机械的構造及其原理	177
(二) 橫校正机械的構造及其原理	180
(三) 补充校正机械的構造及其原理	185
(四) 立体量测仪上各种安置数的活动范围	188
§22.3 立体量测仪的檢查与調整	189
§22.4 立体量测仪在丘陵地区测圖的应用	194
(一) 像片定向时方位点的选择	194
(二) 按方位点定向的次序及其理由	196
(三) 在立体量测仪上的作業过程	198
§22.5 立体量测仪在山区测圖时的应用	205
第二十三章 航测微分法	210
§23.1 概說	210
§23.2 野外控制点的分布及其测定的方法	211
§23.3 立体描繪地貌	213
§23.4 原圖的編制	214

第四編 航空立体摄影測量

第十三章 航空立体摄影測量概說 和基本公式

§ 13.1 立体摄影測量概說

(一) 立体模型的建立

在航測綜合法中，航空像片只是用来編制地物平面圖，在地貌測量中，地形影像只能起着輔助的作用。而立体摄影測量則不仅地物可以根据像片在室內測定，地貌也是在室內根据像片来进行量測的。

航測綜合法是在單独的像片上进行測量，而立体摄影測量則須由不同的摄影站对同一地区所攝的兩張像片（這兩張像片叫立体像对）来構成地面的立体模型，然后就模型进行量測。

圖 13—1 表示处于摄影位置时的一对像片，圖內 S_1 和 S_2 为投影中心， S_1o_1 和 S_2o_2 分別为兩光束的主光綫，同一地面点在兩張像片上的像点叫做相应点（例如：相应点 a_1 和 a_2 同为地面点 A 的影像），同一地面点到不同像片的投影光綫叫做相应光綫（例如： S_1A 和 S_2A ），兩投影中心的距离叫做摄影基綫，其長度用 B 表示。通过基綫与任一地面点的平面叫做該点的核面（如圖內 W_A 为 A 点的核面），通过像主点的核面叫做主核面。左像片和右像片各有自己的主核面，只有当兩主光綫位于同一平面內时，兩主核面才重合为一个。核面与像平面的交綫叫做核綫（圖內 $a_1a'_1$ 和 $a_2a'_2$ 为通过相应像点 a_1 和 a_2 的相应核綫），通过主点的核綫叫做主核綫。延長基綫与像平面的交点叫做核点，因

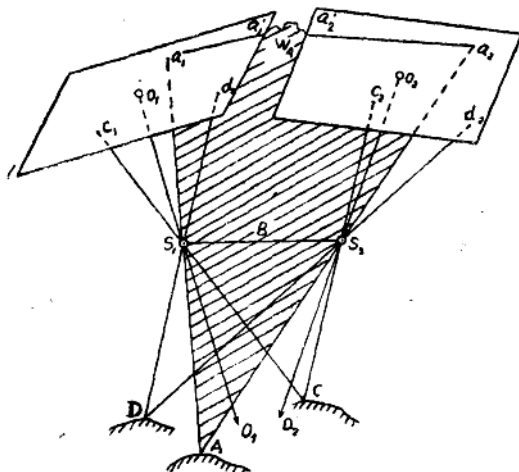


圖 13-1

为所有核面均通过基线，因此每張像片上的所有核线都通过該像片的核点。每对相应光线及相应像点都在同一个核面上（如 S_1A 和 S_2A 、 a_1 和 a_2 都在 W_A 面上）。

假如把上面所攝得的兩張像片，安放在与原来航攝仪完全相同的兩個投影器內，并且把投影器安置到攝影时航攝仪所处的那个位置，則像点的投影光线將准确地通过相应的地物点，而且各相应光线都各相交在相应的地物点上。这种由相应光线相交而成的几何图形，称为地面的光学立体模型，如圖 13-2 所示。

建立了地面的立体模型后，我們可以改变模型的大小而仍保持与地表面的相似性。这可以由任一个投影器按照下面的条件移动来达到：

- (1) 投影中心沿基线方向移动，且不改变投影中心与像片的相对位置；
- (2) 光束的所有光线在移动中分別与其原方向保持平行。

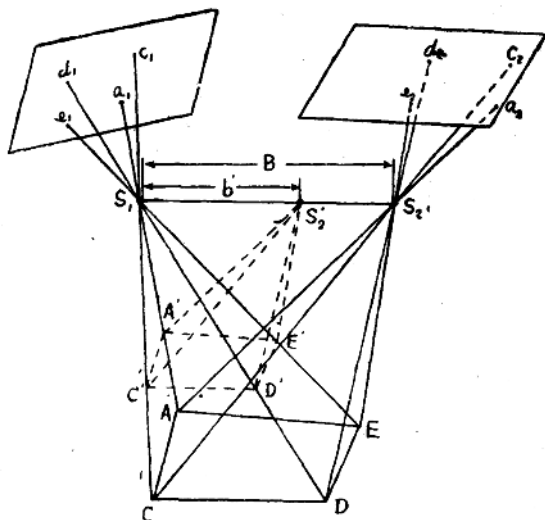


圖 13-2

光束按照这样的条件移动时，每一投影光线总是分别在自己原来的核面上平行移动，因此在这样的移动中，相应光线的成对相交总是不会破坏的。例如在圖 13-2 中， S_2 按上述条件移动至 S_2' ， S_2A 在 W_A 中移动至 $S_2'A'$ ，仍与 S_1A 相交得 A' 点。这时所得的立体模型与地表面相似，且其比例尺等于立体模型基线 b' （圖內的 S_1S_2' ）与摄影基线 B 之比。茲証明如下：

因为每一投影光线先后保持平行，所以

$$\Delta S_1S_2'A' \sim \Delta S_1S_2A; \Delta S_1S_2'C' \sim \Delta S_1S_2C; \dots\dots$$

$$S_1A' : S_1A = S_1C' : S_1C = \dots\dots\dots = b' : B$$

$$A'C' : AC = A'E' : AE = E'D' : ED = \dots\dots\dots = b' : B$$

故立体模型与地表面相似（相当边成比例），且其比例尺为 $\frac{b'}{B}$ 。

由上可知，欲建立与地面相似的立体模型，必須

(1) 恢复摄影时的光束；

(2) 恢复两光束在摄影时的相对位置，使相应光线成对相交。

恢复摄影时光束的工作，称为像片的内部定向，而恢复摄影时两光束的相对位置的工作，叫做相对定向。

(二) 航测全能法和微分法的区别

在第一章里已经讲过，立体摄影测量分为全能法和微分法两种。全能法测图必须建立与地面相似的立体模型，然后就立体模型进行地物和地貌的测绘，所得成果是地面垂直投影的地形图。微分法则不按上述的方法建立地面相似的立体模型，而是将像对配看成立体，根据测算出来的高程按立体观察所感觉到的起伏状态，在像片上画出等高线，地物也是依像片上的像点绘出的。因为像片是地面的中心投影，因此所绘出的地物和等高线，含有由地面高低和像片倾斜所生的移位，必须再经过分带纠正，把地物和地貌的中心投影，变为地图上所需要的垂直投影。

全能法所使用的仪器比较复杂贵重，而微分法所使用的仪器则比较简单轻便。

目前，两种方法都被采用，在测量地形起伏较大的地区时，一般采用全能法，而在测量地形起伏较小的丘陵地区时，广泛采用微分法。

§ 13.2 像对的相对方位元素和绝对方位元素

航空像片及其投影中心在空间的位置，是由外方位元素来确定的。在立体摄影测量中所采用的外方位元素有六个，即

$$X_S, Y_S, Z_S, \alpha_s, \alpha_y, \kappa$$

因此像对的外方位元素共有十二个，即

$$X_{s_1}, Y_{s_1}, Z_{s_1}, \alpha_{x_1}, \alpha_{y_1}, \kappa_1$$

$$X_{s_2}, Y_{s_2}, Z_{s_2}, \alpha_{x_2}, \alpha_{y_2}, \kappa_2$$

上面第一行为左像片的外方位元素，第二行为右像片的外方位元

素。如果分別恢復了兩像片的外方位元素，則像對及其投影中心在空間的位置也就恢復了。

在立體攝影測量中，像對的外方位元素是由像對的相對方位元素和絕對方位元素來確定的。所謂相對方位元素，就是確定兩像片及其投影中心在攝影時的相關位置，即建立地面的立體模型（相對定向）所需要的元素；而絕對方位元素則是確定模型的比例尺及模型在空間的位置（絕對定向）所需要的元素。

（一）相對方位元素

相對定向可以假定一個投影器不動，而移動及轉動另一個投影器來完成，也可以兩個投影器分別轉動及移動來完成。前者可使連續的多張像片建成統一的立體模型，稱為連續像對相對定向法；後者只有在單獨像對定向時才使用，故稱單獨像對相對定向法。

（1）連續像對相對定向時的相對方位元素：假定第一個（或第二個）光束是固定不動的，並以該光束的投影中心 S_1 作為坐標的原點， Z_ϕ 軸與該光束的主光綫一致， X_ϕ 軸和 Y_ϕ 軸分別平行於第一張像片的 x 軸和 y 軸（如圖 13-3）。第二光束對第一光束的相關位置，用第二投影中心 S_2 對 S_1 的坐標差 ΔX 、

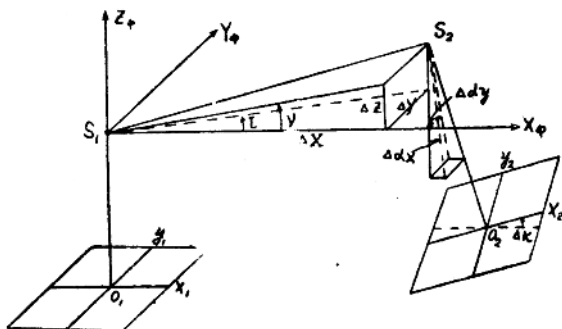


圖 13-3

ΔY 、 ΔZ 和像片的相对倾斜角 $\Delta\alpha_x$ 、 $\Delta\alpha_y$ （第二片对第一片的偏角和倾角差），以及第二片对第一片的旋角差 $\Delta\kappa$ 来确定。由于相对定向时不考虑模型的比例尺，亦即不考虑基线的长度，只要考虑基线的方向即可，而基线的方向可用 $\tan\tau = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ ，和 $\tan\nu = \frac{\Delta Z}{\Delta X}$ 来确定，故相对方位元素就有下列五个：

$$\tau, \nu, \Delta\alpha_x, \Delta\alpha_y, \Delta\kappa$$

上面五个元素中， τ 和 ν 可以确定摄影基线 S_1S_2 在 $S_1X_0Y_0Z_0$ 坐标系中的方向， $\Delta\alpha_x$ 和 $\Delta\alpha_y$ 可以确定第二光束的主光线 S_2o_2 对第一光束的相对方位， $\Delta\kappa$ 则可以确定第二像片在自己像平面上的位置，因而根据这五个元素可以确定第二像片对第一像片的相关位置。

（2）单独像对相对定向时的相对方位元素：这种系统采用摄影基线和像片的主核面作为起算的根据，即设摄影基线为 X_0 轴，第一张像片（左像片）的主核面为 X_0Z_0 平面，此时相对定向的五个元素如图 13-4 所示，图内

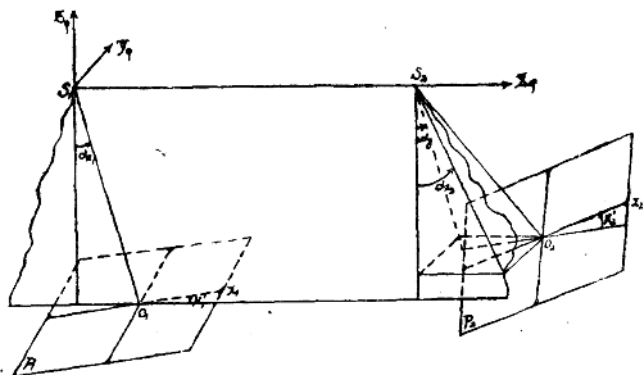


图 13-4

$\Delta\alpha_y$ 为兩像片的傾角差，即兩主核面間的夾角；

α'_{1_1} 为第一張像片的主光綫与 Z_ϕ 軸的夾角（在第一張像片的主核面內的角）；

α'_{1_2} 为第二張像片的主光綫在第一張像片的主核面上的投影，与 Z_ϕ 軸的夾角；

α'_1 为第一張像片上坐标軸 x_1 与主核綫間的夾角；

α'_2 为第二張像片上坐标軸 x_2 与主核綫間的夾角。

圖 13-4 內 $\Delta\alpha_y$ 、 α'_{1_1} 、 α'_{1_2} 、 α'_1 、 α'_2 （在后四个元素上加撇，以与外方位元素相区别）均为正。

上述五个元素中 $\Delta\alpha_y$ 可以确定兩像片主核面間的关系位置，然后用 α'_1 和 α'_2 可以确定兩攝影方向綫的相对方位，再用 α'_1 和 α'_2 确定兩像片在自己像平面上的位置，所以根据这五个元素也能确定兩像片間的相关位置。

（二）絕對方位元素

像对經相对定向后所得到的立体模型虽然与地面相似，但其比例尺和在空間的位置都是任意的，因此要根据模型来測圖，首先应变动投影器的基綫，使模型比例尺符合于測圖的比例尺，并确定模型对地面坐标系的方位（即确定模型对圖板的方位）。这一步工作，称为模型的絕對定向。

相对定向后，如果再恢复左像片（或右像片）的六个外方位元素，并确定模型的基綫長度，即可达到絕對定向的目的，因此絕對方位元素应有七个。在实际工作中常采用下列七个元素：

b_s 为投影基綫在 X 軸上的投影，即第二投影中心对第一投影中心在 X 方向的坐标差 ΔX ，用以确定模型的比例尺；

X_s 、 Y_s 、 Z_s 为一个投影中心的地面坐标，以确定一个投影中心在空間的位置（在实际作業时是确定模型上的一点对相应的地面点的位置）；

δ_x 、 δ_y 、 δ_z 为模型依 X 、 Y 、 Z 軸的旋轉角度，使模型上各点与地面坐标系內相应点的方向一致。

§ 13.3 近似垂直摄影像片与水平像片 間相应像点坐标关系式

如果航空摄影像片是水平的，那末，解决摄影测量的問題最为簡便。但是目前我們只能攝得近似垂直摄影像片，而不能得到真正的水平像片，因此經常需要将近似垂直摄影像片上所量測的坐标，化算为水平像片上的坐标。

如图 13-5，設由同一投影中心 S 对地面攝取水平像片 P_0 及近似垂直摄影像片 P (圖內 $S o_0 = S o = f$)，水平像片 P_0 上的坐标軸 x_0 和 y_0 与地面輔助坐标軸 X 和 Y 平行，而垂直摄影像片含有偏角 α_x ，傾角 α_y (或 ω) 和旋角 κ (X 軸在 P 面上的投影与 x 軸的夾角)，它的坐标軸为 x 和 y 。并設地面点 M 在这兩張像片上的像点各为 m_0 (x_0, y_0) 和 m (x, y)，如果要將 x 化算成

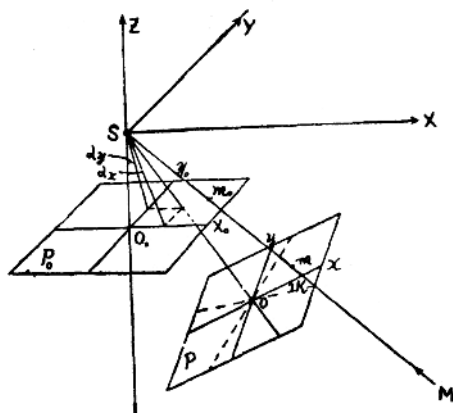


圖 13-5

x_0, y 化算成 y_0 ，則必須加上一個改正數。今令 Δx_1 和 Δy_1 為包含傾角 α_y 所應加入的改正數， Δx_2 和 Δy_2 為包含偏角 α_x 所應加

入的改正数, Δx_3 和 Δy_3 为包含旋角 κ 所应加入的改正数, 则两坐标间的关系, 可写成下式:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x + \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 \\ y_0 &= y + \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13.1)$$

下面就 α_y 、 α_x 和 κ 对坐标的影响分别加以研究:

(一) 像片含有倾角 α , 对像点坐标的影响

在 § 2.5 (上册) 讲过地面与像面相应点间的坐标关系式, 其中以地主点 O 和像主点 o 为原点的坐标关系式为

$$X = \frac{Hx}{f \cos \alpha - y \sin \alpha} \dots\dots\dots (2.3a)$$

$$Y = \frac{Hy}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.3b)$$

如果在地面上以地底点作原点, 而像片上仍以像主点作原点, 则由圖 13-6 知:

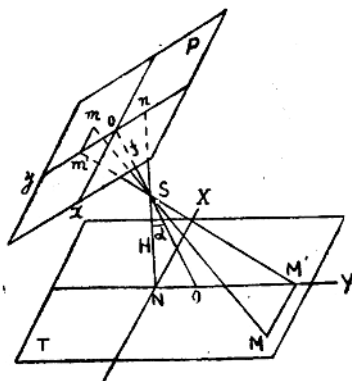


圖 13-6

$$\begin{aligned} X_n &= M' M = X \\ Y_n &= NM' = NO + OM' = H \tan \alpha + Y \end{aligned}$$

因得以地底点 N 和像主点 o 为原点的坐标关系式为

$$X_n = \frac{Hx}{f \cos \alpha - y \sin \alpha} \dots\dots\dots (a)$$

$$\begin{aligned} Y_n &= \frac{Hy}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} + H \tan \alpha \\ &= H \cdot \frac{y + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} (f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} \\ &= H \cdot \frac{y + f \sin \alpha \cos \alpha - y \sin^2 \alpha}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} \\ &= H \cdot \frac{y + f \sin \alpha \cos \alpha - y(1 - \cos^2 \alpha)}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} \\ &= H \cdot \frac{f \sin \alpha \cos \alpha + y \cos^2 \alpha}{(f \cos \alpha - y \sin \alpha) \cos \alpha} \\ &= H \cdot \frac{f \sin \alpha + y \cos \alpha}{f \cos \alpha - y \sin \alpha} \dots\dots\dots (b) \end{aligned}$$

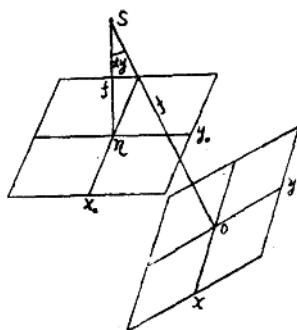


圖 13-7

設攝影時像片只含有傾角 α_y (圖 13-7, 圖內 $S_n = S_0 = f$), 則水平像片和垂直攝影像片的关系, 与圖 13-6 地平面与像面的关系同。因此水平像片与垂直攝影像片間相应像点的坐标关系可用以上 (a) 和 (b) 兩式来表示, 但应將 H 改为 f , α 改为 α_y , 而 X_n 和 Y_n 分别改为 x_0 和 y_0 , 因得

$$x_0 = \frac{fx}{f \cos \alpha_y - y \sin \alpha_y} \dots\dots\dots (c)$$