

航空攝影測量學

下 冊

(本科講義)

中國人民解放軍測繪學院編印

航空攝影測量學

第一版
（本科適用）

中國人民解放軍出版社

航空攝影測量學

下 冊

(本科講義)

中國人民解放軍測繪學院編印

一九五五年十一月 北京

下 册 目 錄

第四編 航空立体攝影測量

第十二章 立体攝影測量的概說和基本公式

§ 12.1	立体攝影測量概說	(1)
§ 12.2	地面點及像點的坐標系統	(5)
§ 12.3	像对的相对定向及絕對定向元素	(7)
	〔一〕相对定向的元素	(7)
	〔二〕絕對定向的元素	(9)
§ 12.4	根據單張像片確定地面點坐標的公式	(10)
§ 12.5	近似垂直攝影的像片与水平像片間像點坐標的關係式	(18)
§ 12.6	根據兩張像片確定地面點坐標的公式	(23)
§ 12.7	根據標準式像对計算高程差的公式	(27)

第十三章 立体觀察及量測

§ 13.1	眼睛及其常數	(30)
§ 13.2	單眼觀察	(33)
§ 13.3	双眼觀察	(35)
	〔一〕概說	(35)
	〔二〕天然立体觀察	(36)
	〔三〕利用光学机械的天然立体觀察	(41)
	〔四〕人工的立体效果	(43)
	(1) 概說	(43)
	(2) 普通立体鏡的構造及应用	(44)
	(3) 在立体鏡內觀察時应注意的事項	(48)
	(4) 利用立体鏡所觀察的立体模型的高程差	(50)
§ 13.4	像对立体量測的方式	(53)
	〔一〕双測標法(虛測標)	(53)
	〔二〕實測標法(單測標)	(55)

(1) 實測標虛模型法	(55)
(2) 補色法	(56)
(3) 偏極光綫法	(59)
(4) 閃光法	(60)
§ 13.5 像片影像的精確性	(60)
〔一〕大氣折光差的影响	(60)
〔二〕軟片(印像紙)變形的影响	(64)
〔三〕平玻璃對構像的影响	(66)
〔四〕畸變差影响的消除	(70)
〔五〕影像分解力的充分份用	(70)
§ 13.6 像片量測的精度	(71)

第十四章 多倍投影測圖儀

§ 14.1 多倍投影測圖儀的構造	(74)
〔一〕常角及寬角多倍投影測圖儀	(74)
〔二〕特寬角多倍投影測圖儀	(82)
§ 14.2 多倍投影測圖儀的檢點及改正	(84)
〔一〕測繪器的檢點及改正	(85)
〔二〕投影器內方位元素的檢驗	(86)
〔三〕確定 b_2 分割尺的零位置	(92)
〔四〕縮小器的檢驗	(92)
〔五〕儀器的總檢查	(93)
§ 14.3 多倍投影測圖儀在使用上的限制	(94)

第十五章 像片的微分公式

§ 15.1 由於攝影機直綫移動所引起像點坐標的變化	(96)
§ 15.2 由於攝影機旋轉所引起像點坐標的變化	(98)
§ 15.3 依埃立爾軸的旋轉與依地面點坐標軸旋轉的關係	(101)
§ 15.4 依像坐標軸的旋轉與依埃立爾軸旋轉的關係	(104)

第十六章 像對的相對定向

§ 16.1 像對相對定向的條件	(107)
§ 16.2 相對定向時選點的條件	(109)
§ 16.3 相對定向計算法(一)——一次項計算式	(113)

〔一〕第一法(單像對).....	(113)
〔二〕第二法(連續像對).....	(123)
§ 16.4 相對定向計算法(二)——二次項計算式.....	(131)
§ 16.5 相對定向的幾何法(核綫法).....	(142)
§ 16.6 相對定向的光學機械法.....	(148)
〔一〕單像對的相對定向.....	(150)
〔二〕連續像對的相對定向.....	(157)
§ 16.7 相對定向的不定性.....	(160)
§ 16.8 立體模型的扭曲與平面位置的誤差.....	(168)
〔一〕外方位元素的誤差對左右視差較的影響.....	(169)
〔二〕立體模型總扭曲的形狀.....	(172)
〔三〕各單獨元素的誤差對模型所影響的扭曲.....	(174)
〔四〕立體像對內測定高程的精度.....	(177)
〔五〕外方位元素的誤差對模型點平面位置的影響.....	(178)

第十七章 模型的絕對定向

§ 17.1 概說.....	(185)
§ 17.2 絕對定向的光學機械法.....	(188)
§ 17.3 絕對定向的圖解法.....	(190)
§ 17.4 絕對定向的精度.....	(196)

第十八章 像片外方位元素的測定

§ 18.1 概說.....	(199)
§ 18.2 外方位近似元素與近似像底點的確定.....	(199)
§ 18.3 用幾何法確定像片的外方位元素.....	(203)
§ 18.4 用物理法測定像片的外方位元素.....	(208)
〔一〕利用高差儀測定航高差.....	(208)
〔二〕利用地平綫攝影儀測定像片的傾斜角.....	(213)
〔三〕利用迴轉儀的裝置測定像片的傾斜角.....	(220)
〔四〕利用雷達測定向攝影站的位置.....	(224)

第十九章 室內高程控制測量法〔一〕

§ 19.1 測量視差的簡單儀器.....	(239)
〔一〕視差測微尺.....	(239)

〔二〕視差板	(241)
§ 19.2 加密高程控制網的直線法	(251)
§ 19.3 高程改正內插法	(272)
§ 19.4 航高與攝影基綫的確定	(280)

第二十章 室內高程控制測量法〔二〕

§ 20.1 立體坐標量測儀	(291)
〔一〕儀器構造的說明	(291)
〔二〕儀器的構造誤差	(296)
〔三〕x 滑軌和 y 滑軌不垂直的誤差及其分割尺的誤差	(296)
(1) 誤差的影響	(296)
(2) 方格片的应用	(297)
(3) 點的選擇及平差計算的方法	(299)
〔四〕視差螺子的螺距誤差的檢驗	(308)
〔五〕視差螺子週期誤差的檢驗	(312)
§ 20.2 無扭曲模型法	(323)
〔一〕概說	(323)
〔二〕近似公式	(324)
〔三〕嚴密公式	(335)
〔四〕应用無扭曲模型法建立雙對模型和整個地區模型的方法 及其精度	(342)
〔五〕立體坐標量測儀 CK-3 在無扭曲模型法的应用	(345)
§ 20.3 蘇聯中央測繪科學研究院加密高程的方法	(347)

第二十一章 德羅貝雪夫式立體量測儀

§ 21.1 立體量測儀的構造及其構造原理	(359)
〔一〕概說	(359)
〔二〕立體量測儀自動消除外方位元素影響的理論	(361)
〔三〕立體量測儀的基本構造	(363)
〔四〕立體量測儀的縱校正機械	(368)
〔五〕立體量測儀的橫校正機械	(374)
〔六〕立體量測儀的補充校正機械	(379)
〔七〕CTД-1 和 CTД-2 立體量測儀的性能	(382)
§ 21.2 在立體量測儀上標定像片	(383)

§ 21.3	在立体量測儀上測繪地貌·····	(399)
§ 21.4	立体量測儀在山區測圖的应用·····	(402)
§ 21.5	立体量測儀的檢點及改正·····	(407)
§ 21.6	精密立体量測儀·····	(423)

第二十二章 航空攝影測量微分法

§ 22.1	一般概況·····	(431)
§ 22.2	微分法對航攝資料的要求·····	(434)
§ 22.3	野外控制點的分佈及其測定方法·····	(436)
§ 22.4	在立体鏡下描繪地貌·····	(446)
§ 22.5	原圖的編製·····	(448)

第二十三章 自動立体測圖儀器

§ 23.1	儀器的分類·····	(451)
§ 23.2	德羅貝雪夫双像投影儀·····	(454)
§ 23.3	測像經緯儀在自動立体測圖儀器中的应用·····	(456)
§ 23.4	安置內方位元素的精度·····	(458)
§ 23.5	精密立体測圖儀的構造·····	(464)
	〔一〕儀器的構造原理·····	(464)
	〔二〕儀器輔助机件的構造原理·····	(472)
§ 23.6	精密立体測圖儀的檢點改正·····	(484)
§ 23.7	威特自動測圖儀 A ₅ ·····	(492)
§ 23.8	威特自動測圖儀 A ₅ 的檢點与改正·····	(502)
§ 23.9	威特自動測圖儀 A ₆ ·····	(511)
§ 23.10	航空測圖儀概述·····	(514)

第二十四章 空中像片三角測量

§ 24.1	一般概況·····	(519)
§ 24.2	像片導綫測量·····	(521)
§ 24.3	烏爾瑪也夫教授的空中三角測量計算法·····	(529)
§ 24.4	在自動立体測圖儀器上進行空中三角測量·····	(541)
§ 24.5	在多倍投影測圖儀上進行空中三角測量·····	(563)
§ 24.6	高差儀和地平綫攝影儀的記錄在空中三角測量的应用·····	(568)
§ 24.7	空中像片三角測量的精度·····	(571)

第二十五章 投影光束改變時像片在普遍法儀器上的作業法

§ 25.1	投影光束改變時像對相對定向的條件·····	(585)
§ 25.2	投影光束改變時所構成模型的變形·····	(589)
§ 25.3	像片的糾正和已糾正的像對在光束改變時的測圖法·····	(597)
§ 25.4	一對已糾正像片的分析·····	(602)
§ 25.5	用未糾正的像對在光束改變時的作業法·····	(604)
§ 25.6	在光束改變時用未糾正的像對進行作業的限制·····	(608)

第二十六章 航空攝影測量普遍法

§ 26.1	概論·····	(614)
§ 26.2	普遍法對野外控制點的要求·····	(615)
§ 26.3	在普遍法儀器上測繪地物和地貌·····	(622)
§ 26.4	普遍法與其他方法在測圖精度與價值方面的比較·····	(623)

第五編 地面立體攝影測量

第二十七章 地面立體攝影測量的過程及儀器的概況

§ 27.1	概說·····	(626)
§ 27.2	地面攝影測量的計算公式·····	(628)
§ 27.3	地面攝影測量的野外裝備·····	(633)
§ 27.4	攝影經緯儀的檢驗·····	(637)
§ 27.5	地面攝影測量的野外工作·····	(643)
§ 27.6	地面攝影測量的誤差理論·····	(647)
§ 27.7	地面攝影像片的室內測圖工作·····	(654)

第四編 航空立体攝影測量

第十二章 立体攝影測量的概說和基本公式

§12.1 立体攝影測量概說

航攝像片在航測綜合法中只是用來編製地物平面圖，而且在地貌測量中像片只能起着補助的作用。在立体攝影測量裏不僅應用像片測得地物，而且可測出地貌，這種地物和地貌的量測都不要野外工作，而是利用專門的攝影測量儀器在室內根據像片來進行量測。在第一編裏已經講過立体攝影測量分為普遍法（即全能法）和微分法，前者必須恢復與地面相似的立体模型，同時進行地物與地貌的量測，所使用的儀器比較複雜；後者是為了儘可能地利用最簡單的儀器來進行測圖而產生的，在微分法中不要恢復與地面相似的立体模型，而是根據測算出來的高程按立体觀察所感覺到的起伏狀態（與地面不完全相似的）在像片上畫出透視等高綫（即地貌的水平截口依中心投影投射在像片上的等高綫，它含有因地面高低和像片傾斜所生的移位和不一致的比例尺），然後用單張像片分帶投影（即分帶糾正）的方法來製成地圖，因此在立体攝影測量裏主要地要配成地面的立体模型以便進行量測。為了得到立体模型必須由不同的攝影站攝得一對具有一定重疊的像片，這一對像片叫做**立体像對**。

圖 12—1 表示處於攝影位置時的一對像片，圖內 S_1 和 S_2 為投影中心， $S_1 O_1$ 和 $S_2 O_2$ 分別為兩光束的主光綫，同一地面點在兩張像片的像點叫做**相應點**（例如：相應點 a_1 和 a_2 同為地面點 A 的影像），同一地面點到不同像片的投影光綫叫做**相應光綫**（例如： $S_1 A$ 和 $S_2 A$ ），兩投影中心的距離叫做攝影基綫，其長度用 B 表示。通過基綫與任一地面點的平面叫做該點的**核面**（如圖內 W_A 為 A 點的核面），通過像主點的核面叫做**主核面**。這裏應該注意到，左像片

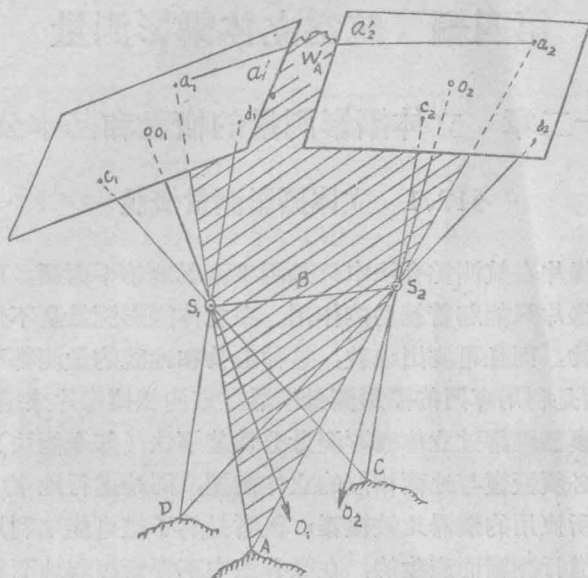


圖 12—1

和右像片各有自己的主核面，在一般的情況下該兩個主核面是不相重合的。核面與像平面的交綫叫做核綫，圖 12—1 內 $a_1 a'_1$ 和 $a_2 a'_2$ 爲一對通過 a_1 和 a_2 點的核綫，通過主點的核綫叫做主核綫。延長基綫與像平面的交點叫做核點，因爲所有核面均通過基綫，因此每張像片上的核綫都通過該像片的核點。每對相應光綫及相應像點都在同一個核面上（例如 $S_1 A$ 和 $S_2 A$ 、 a_1 和 a_2 都在 W_A 面上）。

假設把圖 12—1 內的一個光束（例如右光束）與其像片一起向左光束移動，而且在移動時滿足下列的條件：

① 光束的投影中心沿基綫方向移動，但是投影中心與像片相對的位置不變；

② 光束的所有光綫在移動中分別與其原方向保持平行。

光束按這樣的條件移動時，那末，每個投影光綫總是分別在自

已原來的一個核面上，而始終保持平行。因此在這樣的移動中，其相應光線的成對相交總是不會破壞的。例如： S_2A 在 W_A 面上移動時，總是和相應光線 S_1A 相交的（參看圖 12—2）。假設 S_2 按上述條件移動至 S'_2 ，如圖 12—2 所示，此時相應光線仍舊保持成對相交，相交的許多新點相當於地面的每個點（例如 A' 與 A 點相當），這些點所形成的表面即為地面的立體模型，它與地表面相似而且其比

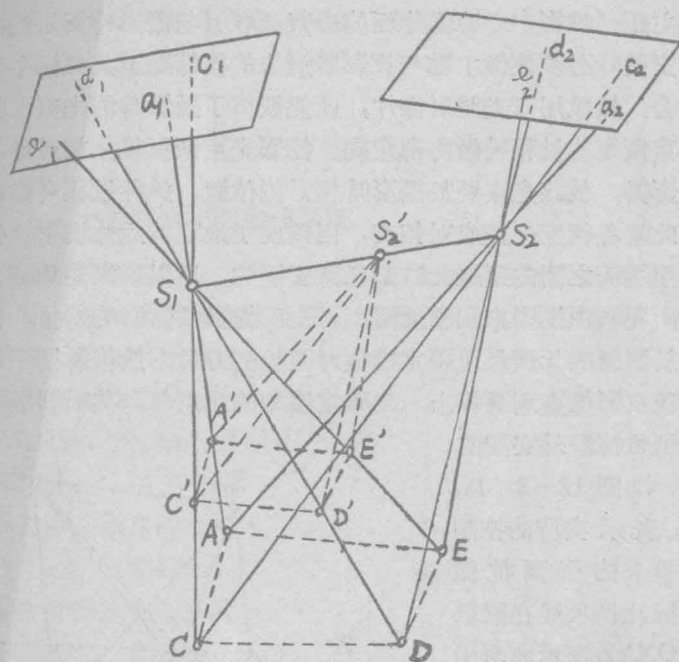


圖 12—2

例尺等於 $b':B$ (b' 為立體模型的基綫即圖內的 $S_1S'_2$ ， B 為攝影基綫)，茲證明如下：

因為每個投影光綫先後保持平行，所以

$$\triangle S_1S'_2A' \sim \triangle S_1S_2A; \triangle S_1S'_2C' \sim \triangle S_1S_2C; \dots$$

$$\begin{aligned}
 \text{則} \quad S_1 A' : S_1 A = S_1 C' : S_1 C = \dots = b' : B \\
 \text{因此} \quad A' C' : AC = A' E' : AE = E' D' : ED = \dots \\
 = b' : B \dots \dots \dots (a)
 \end{aligned}$$

故立體模型與地表面相似，而其比例尺為 $\frac{b'}{B}$ 。立體模型的基綫可以任意選擇，因此我們可以得到任意比例尺的立體模型。

現在我們把兩張互相重疊的像片安裝在投影器上，該投影器的鏡頭和主距（投影中心至像片面的垂直距離）與攝影時所用的鏡箱相同。安裝時必須使像主點與投影器鏡頭的後節點至其標框平面的垂足相合，然後用燈光照射像片，就能恢復了攝影時的光束，這種投影光束恢復的過程叫做內部定向。投影光束恢復後，相對地轉動兩個投影器，使該光束處於攝影時相對的位置，這種過程叫做相對定向。此時各相應光綫成對相交，而構成了地面的立體模型。但是投影器兩鏡頭之間的距離此時是任意安置的，所以模型的比例尺是任意的，要利用模型來測繪地圖，首先應變動投影器的基綫，使模型符合於測圖的比例尺並確定模型對圖板的方位；然後將模型的地物與地貌投影描畫到圖板上。要確定模型的比例尺與其對圖板的方位，必須依據野外實測的

控制點。如圖 12—3， 1_0 ， 2_0 及 3_0 表示實測的控制點在圖板上的平面位置

（按測圖比例尺展在圖紙上）， $OXYZ$ 表示地面坐標系，在各控制點上方安置測標（黑點）1, 2 及 3，且使這些測標的高差等於地面相應點按測圖比例尺所縮成的高程差。然後把一個投影器沿基綫 $S_1 S_2$ 移

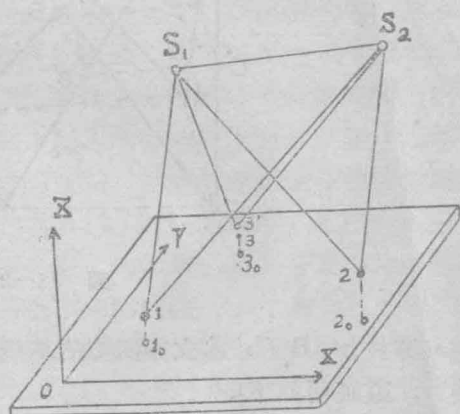


圖 12—3

動（保持各光綫前後平行）來改變模型的比例尺，並相對地移動模型對圖板的位置，使任意兩個控制點（例如 1 及 2）與模型的相應點相合，此時模型比例尺已等於測圖比例尺。最後，把模型依 1—2 直綫而旋轉，使控制點 3 與模型的相應點 3' 相合，這樣，模型就完成了最後的定向。上述改變模型成規定的比例尺以及使模型對圖板定向的過程，叫做絕對定向。利用遊動測標使沿着模型上的地物與等高綫走動，並裝置一鉛筆使與測標相聯繫，則測標走動時鉛筆就會在圖板上畫出地物與地貌的垂直投影，這種過程叫做碎部測圖。

§12.2 地面點及像點的坐標系統

【一】地面點的坐標系統

地面點的坐標除應用大地坐標系或立體測圖儀器的軸為坐標軸來表示外，在立體攝影測量裏確定地面點的坐標通常還採用輔助的直角坐標系，其中比較常用的為：利用投影中心 S_1 或 S_2 為原點； X_ϕ 軸與攝影基綫相合； Z_ϕ 軸多安置在第一或第二像片的主核面上，向上為正（圖 12-4）。此種輔助坐標系叫做基綫坐標系。此外，也有通過投影中心做出平行於大地坐標系的坐標軸作為輔助的坐標系，不過以南北方向為 Y 軸，東西方向為 X 軸。

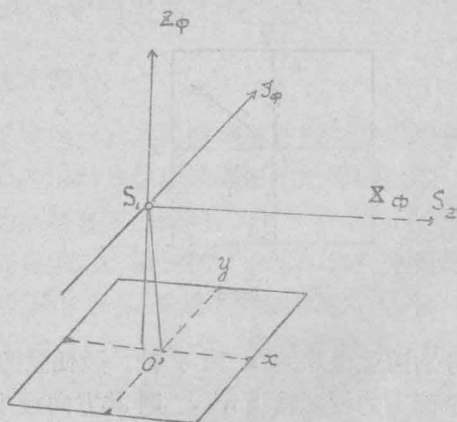


圖 12-4

【二】像點的坐標系統

像點的坐標系可分為內坐標與外坐標兩種，內坐標除應用像平面上的直角坐標（圖12—5）*和極坐標（圖12—6）*外，尚有應用空間方向極坐標來量測投影中心至像點的方向，此種坐標如圖12—7所示，以投影中心 S 為原點，通過 S 作兩個互相垂直的平面，使其

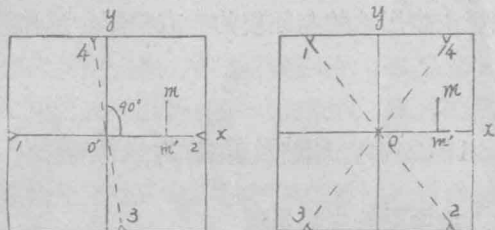


圖 12—5

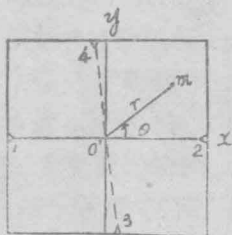


圖 12—6

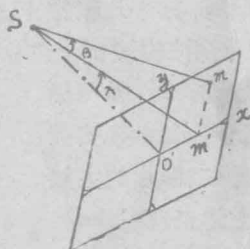


圖 12—7

分別通過像片的 x 和 y 軸。設任意像點 m 的方向綫 Sm 在 $So'x$ 平面上的投影為 Sm' ，則其方向極坐標為 $\lambda = \angle o' Sm'$ 和 $\beta = \angle m' Sm$ 。

* 圖12—5左圖和12—6內表示框標3—4的聯綫和框標1—2的聯綫不嚴格地成垂直，通常是以1—2框標的聯綫（ x 軸）為準，再按垂直於1—2直綫的方向確定 y 軸。

像點的外坐標可用空間直角坐標或空間方向極坐標來表示。前者以投影中心 S 為原點，各坐標軸平行於地面點坐標系的相應軸（圖12—8），像點 m 在這種坐標系中用 $x'_0 = Sm'$ 、 $y'_0 = m'm_0$ 及 $z'_0 = m_0m$ 來確定；至於空間方向極坐標亦以 S 為原點，以平行於地面坐標面的平面為基準面，用 $\lambda' = \angle m'Sm_0$ 及 $\beta' = \angle m_0Sm$ 來確定像點的方向（圖12—8）， λ' 及 β' 即表示 Sm 方向綫在地面坐標系內的水平角及垂直角。方向極坐標 λ' 、 β' 和上面所講的 λ 、 β 通常也叫做射綫角。

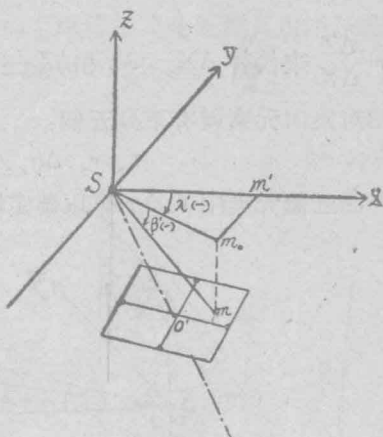


圖 12—8

§12.3 像對的相對定向及絕對定向的元素

【一】相對定向的元素

相對定向元素是用來確定像對及其投影中心在攝影時的相關位置，此時不考慮像片對地面的絕對方位以及攝影站之間的距離（即基綫長）。相對定向元素的系統有下列兩種：

（1）連續像對的系統是假定：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 軸與該光束的主光綫一致， X 和 Y 軸分別平行於第一張像片的 x 和 y 軸（圖12—9）。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 、 ΔY 、 ΔZ 和像片的相對傾斜角 $\Delta\alpha_x$ 、 $\Delta\alpha_y$ （第二片對第一片 x 或 y 傾斜角的差）以及第二像片對第一像片的旋角差 $\Delta\kappa$ 來確定。由於相對定向時不考慮模型的比例尺，亦即不考慮基

綫的長度，因此只要考慮基綫的方向，亦即可用 $\tan \tau = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$ 和 $\tan \nu = \frac{\Delta Z}{\Delta X}$ 來代替 ΔX ， ΔY 和 ΔZ 三個元素所表示的基綫方向。這樣，相對定向元素就有下列五個：

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

上面五個元素中 τ 及 ν 可以確定攝影基綫 S_1S_2 在 S_1XYZ 坐標系中

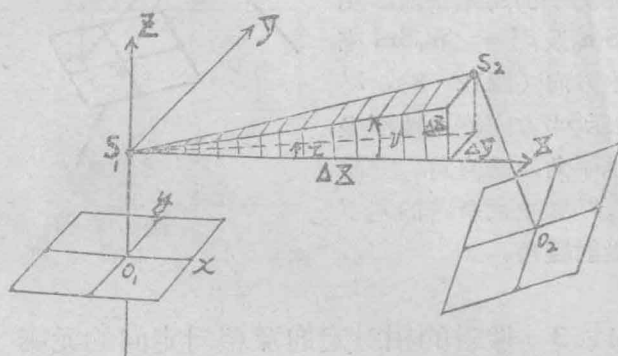


圖 12—9

的方向， $\Delta\alpha_x$ 及 $\Delta\alpha_y$ 可以確定第二光束的主光綫 S_2o_2 對第一光束的相對方位， $\Delta\kappa$ 則可確定第二像片在自己像平面上的位置，根據這五個元素就能確定第二像片對第一像片的相關位置。

(2) 單獨像對的系統是兩個光束都動並採用攝影基綫和像片的主核面作為起算的根據，此時確定像對相對定向的五個元素如下（採用基綫坐標系，參看圖12—10）：

$\Delta\alpha_y$ 為像對的第二片對第一片 y 傾斜角的差；

$\alpha_{x.1}$ 為第一張像片的主核面上主光綫方向和攝影基綫的垂綫之間的夾角；

$\alpha_{x.2}$ 為第二片的主光綫在第一張像片的主核面上的投影與該主核面上攝影基綫的垂綫之間的夾角；