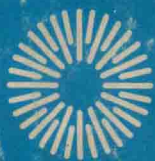


大專用書

空中三角測量學

Sanjib K. Ghosh 原著

曾清涼 譯著



國立編譯館出版

大專用書

空中三角測量學

Sanjib K. Ghosh 原著

曾清涼 譯著

國立編譯館出版

中華民國七十一年十一月一日台初版

空中三角測量學

版權所有
翻印必究

定價：精裝新台幣壹佰陸拾元
平裝新台幣壹佰叁拾元

譯著者：曾 清 涼

出版者：國立編譯館

印行者：國立編譯館

館址：台北市舟山路二四七號

電話：三二一六一七一

序 言

空中三角測量學或立體三角測量學，是在重疊的像片上，量測座標、角度或距離，以提供與擴充控制資料，且以透視原理，使之與空間的物體建立關係之方法。概言之，它包括空中像片與空中三角測量之使用。

作為一位航空攝影測量學教師，在教授像片空中三角測量時，經常會感覺到需要一種教本——它須考慮到專門學科之事實和觀念的連貫性；唯若沒有深刻的研究是不可能實現的。值得作者安慰的是本書不僅收集多位學者的論點。

在授業的過程中，往往著重理論之探求，導致學生吸收諸多但相異的觀念，而航空攝影測量學為一門應用科學——實際操作是不容忽視的。故本書作者嘗試使理論和應用兩者，處於同等的地位。

本書之目的，在於嚴謹的使像片空中三角測量，自成一有內涵之科目描述它的經驗背景和多方面的應用，並特別提示各種一般性的觀念，以增加它在不同機構與國家內之適用性。

經多次試驗，已使目前諸家方法，合併為統一型態。專家們可自書中，見到甚多現有證法之簡化及新成果。因而數個先前發展的方法中，所述之難題，得以迎刃而解。

相關的參考資料及其來源，均列於參考書目錄內。它們在本文中，是以括弧內之數字為索引。有興趣的讀者可自此資料來源，獲得較本書更完整的資料。大多數章節之內容，是可正確的應用於特定的工作。唯觀念之加強，須有賴比較性的研究（例如不同的攝影機、儀器、計算機和數學模式），但此類片斷性的研究，依然十分缺乏。換言

之，作者強調若僅閱讀本書是不可能在一夜間成為像片空中三角測量專家，鼓勵學生須貢獻更多的時間，在實際應用方面，努力學習。

閱讀本書之先決條件，是須具備大學基礎數學的水準：線性、矩陣及向量代數，三角學和投影幾何學；此外，最好瞭解最小自乘法原理，變方傳播與目前在機械、測量和製圖領域中，通用的符號。

若採用本書作為像片空中三角測量學的教本，則學生須先學過大學程度的數學，普通物理（光學），航空攝影測量學，立體攝影測量學與平差計算。

本書計有十三章，再分為節，以小數系統來區別。圖與方程式，亦同時按順序編號。第一章簡述像片空中三角測量學發展歷程和基本觀念。第二章敘述單一模型法，利用高空攝影達到大比例尺模型控制之目的。第三章討論航帶空中三角測量之空中導線法，其為目前用途最廣的方法，讀者須確實瞭解它的理論，因其他方法（空中水準測量，獨立模型，逐次計算法，獨立地面控制法）均屬空中導線法基本觀念的推廣。基於上述理由，誤差來源（第四章）和誤差型態（第五章）的討論，皆以空中導線法為參考。第六章航帶平差，亦受空中導線法的直接影響。其他方法之平差觀念與構造，將分述於以下諸章。又因輔助資料的使用日漸增加，若未對輔助儀器略加介紹，則本書必然顯得不夠完整。所以，第十一章敘述輔助資料。

精確度和經濟效益在第十三章有廣泛的討論，強調它們對於空中三角測量的工作計劃和擇取適合工作的裝備與方法的重要性。書中論述仍未達理想，但本書非僅適用於計劃人員或工作執行人員。他們須對此方面深入研究，以免落入依據個人經驗與陋規做為擬定計劃的途徑。

為了充實學生、研究員與操作員有關航空攝影測量知識的領域，特決定在附錄中，增列相關的發展與說明一在共面條件下，以矩陣形

成直接運用於獨立模型或逐次法空中三角測量（附錄A），聯解全區平差計算機程式（附錄B），與獨立模型全區平差計算機程式（附錄C）。

本書論述的某些觀點，或許可從實際情況做成的複雜範例，得以稍加澄清。此為未來工作的重點，唯在時間限制情況下，並不允許如此，另一方面，較多的範例對於閱讀的流暢性可能會有干擾。

目 錄

圖目錄

表目錄

序 言

第一章 緒言	1
1-1 發展歷程	2
1-2 空中三角之分類法	3
1-3 儀器	4
1-4 作業形態	5
第二章 單模型法	9
2-1 準備及觀測	9
2-2 計算及平差	9
2-3 單模型空中三角例題	14
2-4 試驗成果	21
第三章 空中導線法	25
3-1 準備	26
3-2 儀器量測（數據蒐集）	30
3-3 概算與精算（數據處理）	34
3-4 座標平差	35

2 目 錄

第四章 誤差來源	37
4-1 底片材料	37
4-2 攝影機	40
4-3 儀器誤差	43
4-4 操作員(觀測者)之誤差	44
4-5 地球曲率	44
4-6 大氣折光差	53
4-7 大地—製圖座標系統	56
第五章 誤差傳播	59
5-1 系統誤差	59
5-2 不規則誤差	72
5-3 所有誤差總效應	77
第六章 平差法	81
6-1 圖解(航帶)平差	82
6-2 解析(數值)航帶平差	85
6-3 器械法平差	86
6-4 整體平差法	86
第七章 空中水準測量	89
第八章 獨立模型法	95
8-1 基本理論	95
8-2 投影中心	105

8-3 以 AFFINE 轉換改進獨立模型法	108
8-4 儀器之安置	110
8-5 最後平差	111
第九章 計算法空中三角	113
9-1 逐次法空中三角	115
9-2 聯解法空中三角	142
第十章 獨立地面控制法	159
10-1 航帶空中三角	163
10-2 全區空中三角	167
第十一章 輔助資料之使用	171
11-1 太陽儀	174
11-2 地平攝影	175
第十二章 全區空中三角測量及平差	183
12-1 逐次航帶法	185
12-2 逐次模型法	192
第十三章 精度與經濟上的衡量	205
13-1 效率	205
13-2 效率比較	212
13-3 精度改善	215

4 目 錄

附錄B 計算機程式—聯解法區域平差

附錄C 計算機程式—獨立模型法區域平差

參考書目

索引

作者簡歷

圖目錄

- 1-1 基內
- 1-2 基外
- 2-1 點位平面座標之線性轉換
- 2-2 Y方向改正量等值曲線(間隔 10 公分)
- 2-3 控制點與模型之位置略圖
- 2-4 座標系統
- 2-5 改正曲線圖
- 3-1 模型間的轉點位置
- 3-2 起始旋角 K 之確定
- 4-1 不同種類攝影機之畸變差
- 4-2 物鏡畸變差
- 4-3 輻射畸變差之分量
- 4-4 地球曲率對像點之影響
- 4-5 地球曲率對高程之影響
- 4-6 地球曲率對平面距離之影響
- 4-7 將儀器上之距離化算至海平面上
- 4-8 沿轉點(像底點)方向之航線剖面
- 4-9 F 之說明圖
- 4-10 大氣折光之影響
- 4-11 光線之折射
- 5-1 座標系統與旋轉量
- 5-2 第一模型對尺度誤差之影響

6 目 錄

5-3	平移誤差 dX_0 之影響	
5-4	平移誤差 dY_0 之影響	
5-5	平移誤差 dZ_0 之影響	
5-6	X方向傾斜誤差 $d\Omega_0$ 之影響	
5-7	Y方向傾斜誤差 $d\Phi_0$ 之影響	內差 1-1
5-8	旋轉誤差 dK_0 之影響	外差 1-1
5-9	系統性誤差 $dbys$ 之影響	1-2
5-10	系統性誤差 dbz 之影響	1-2
5-11	系統性X方向傾斜誤差 $d\omega_x$ 之影響	1-2
5-12	系統性Y方向傾斜誤差 $d\phi_y$ 之影響	1-2
5-13	系統性施角誤差 dde 之影響	1-2
5-14	準系統性X方向誤差	1-2
5-15	航帶空中三角測量誤差傳播範例	1-2
6-1	強制之控制點與剖面之相關位置	1-3
6-2	航帶中，Y方向誤差之誤差曲面	1-3
6-3	誤差曲面之橫剖面例	1-3
6-4	以X座標說明縱向誤差剖面	1-3
7-1	高差儀原理	1-4
7-2	等壓曲面圖	1-4
7-3	空中水準法原理	1-4
8-1	獨立模型法圖解	1-4
8-2	模型銜接	1-4
8-3	定投影中心	1-4
9-1	共面觀念	1-4
9-2	共面條件之不相交情形	1-4
9-3	尺度因素之說明圖	1-4

- 9-4 尺度約制條件
- 9-5 糾正後之像片
- 9-6 三片之排列
- 9-7 座標轉換觀念
- 9-8 像面與地面之關係圖(共線條件)
- 10-1 航帶空中三角測量之尺度及方位誤差例題
- 10-2a 具有縱橫基線之航帶
- 10-2b 縱橫基線略圖
- 10-3 全區空中三角之航帶構架
- 11-1 地平攝影機原理
- 11-2 地平攝影機(Wild HC-1)之記錄圖示
- 11-3 地平像片結構圖
- 11-4 地平像片之立體模型
- 11-5 空中導線法地平資料之改正例題
- 12-1 全區中之各航帶
- 12-2 全區共同點之分佈圖
- 12-3 不符值表示法
- 12-4 縱方向航帶之改正圖例
- 12-5 由規則航帶構成小區域內之虛擬航帶(實線)
- 12-6 50%以上側向重疊之基本全區模式
- 12-7a 側向重疊少於50%時，L式全區之組成
- 12-7b 側向重疊大於50%時，L式全區之組成
- 13-1 精度與成本之關係
- 13-2a 航帶平差後剩餘平面誤差之標準誤差圖
- 13-2b 航帶平差後剩餘高程誤差之標準誤差圖
- 13-3 聯組式航帶推展之座標標準誤差傳播型態

13-4	橋式航帶推展之座標標準誤差傳播型態
B-1	區域（聯解）平差之一般結構
C-1	航帶平差之一般結構
C-2	使用航帶組成“L”型之區域平差之一般結構
C-3	全區型式之一般結構

表目錄

- 2-1 地面及觀測數據
- 2-2 A7 讀數之歸化值
- 2-3 座標之平差
- 3-1 儀器數據
- 3-2 儀器座標及高程之原始讀數
- 3-3 最後之模型銜接
- 3-4 儀器座標之平均值
- 4-1 由地球曲率造成的輻射畸變差影響
- 12-1 在 $X = \text{常數}$ 之剖面下，全區補償之範例
- 13-1 航帶空中三角成果比較

第一章 緒言

當今世界上，約有百分之九十的新地形圖，是以航空攝影測量技術編繪而成的。而此編繪作業之控制測量部分，乃一相當龐大之工作，目前幾乎各地，均使用空中三角測量技術來補充現有的地面基本控制點，與純粹的大地控制測量方法（如，三角測量，三邊測量，導線等等）相較，空中三角測量似乎不僅較經濟，作業較迅速，而最後之成果亦甚符所需。

由空中三角測量所獲得之資料（數據），可分為兩部份；其首要者為控制點的座標，這在編繪地圖安置立體模型時必須使用，其次為安置模型時之旋轉元素，這些數值可簡化安置模型之作業。含有該兩部份之完整資料的空中三角測量作業，稱為“整體”的（Total or Global）（見第六章），在絕大多數之情況下，不論是“整體”的（ (X, Y, Z) 三相座標），或是“部分的”（（平面或高程）單相或雙相之座標）空中三角測量均包含控制點之座標。部分的空中三角之作業例有：

1. 輻射法，像主點三角測量。

2. 等比中心三角（Isocenter triangulation）測量。

3. 像底點三角測量。

4. 立體模片三角（Stereo-templet triangulation）測量。

這些部分的空中三角方法在本書中不予以討論，可參閱攝影測量手冊〔5〕。

1-1 發展歷程

瑞典之 J.H. Lambert，可稱之為空間後方交會法之始祖，此為空中三角之基礎。在 1759 年，他探討中心投影之幾何性質及尋求像片攝影時空間位置之方法。R. Sturm 及 G. Hauck 兩位均為德國人，在 1833 年建立了投影幾何與攝影間之關係。

但空中三角測量真正奠基及可觀之進展，却都是在二十世紀中的事。立體測圖儀及座標量測儀在各歐洲國家的發展，推進了這個領域。由於各種必需的儀器設備已製成標準精度的需求及其他的一些因素導致各種空中三角方法競相發展，但大多數是經驗法，而其平差，乃以圖解或半計算法進行，在 1920 年代及其以後，O.Von Gruber 及許多追隨者，更進一步推展了這種技術，而由 1950 年代起，因可處理複雜運算之電子計算機的出現，計算法受到更大的鼓舞，美國之 E. Church 及其他一些仿效的科學家們，發展出了計算法（解析法）空中三角測量，同時，在這方面美國海岸大地測量局及加拿大國家研究院的貢獻與成果，亦極為卓著。

由於作業中必須顧及經費問題，因此，解析法對一些私人公司來說不大適用。更基於其他一些因素導至近期（1960 年代）半解析法（第八章）及類比立體儀器法的發展。

國際攝影測量學會（尤其是第三章）的努力，及歐洲攝影測量研究組織（OEEPE）及許多國家的學會（特別是美國攝影測量學會）的大力贊助，對這門科學，能達到今天的境界，均功不可沒。