

471094

實用大地測量學

尹鍾奇著

大學圖書供應社

實用大地測量學

尹鍾奇著

翻
印
必
究



版
權
所
有

內政部著作權執照台內著字第7671號

實用大地測量學

定價：新臺幣 160 元

著 者 尹 鍾 奇

發 行 者 尹 志 華

經 銷 處 大 學 圖 書 供 應 社

地 址：臺灣臺中西屯文華路 73 號

郵 政 劃 撥 2 3 1 2 3 號 帳 戶

印 刷 者 珠 美 打 字 印 刷 行

地 址：臺中市進化路 199 之 3 號 號

電 話：(0 4 2) 3 2 2 4 2 2

行政院新聞局出版登記證局版臺業字第 0502 號

中華民國六十八年九月六版

例 言

太空奧秘之探測，地球形狀之推求，地圖之測繪及道路、水壩工程之計劃、施工以至校驗等，在在需要測量，是故測量學為地球科學、地球物理、測量、土木、水利、建築、農業工程等科系所必修之課程。

測量以區域之大小可分為平面測量及大地測量兩類。平面測量上所述之方法，以小區域內施測地形圖、斷面圖、地籍圖等為對象。大地測量則在大面積內施測地面控制點，以供工程設施、地圖測製之依據，其結果進一步可供地球形狀之推算。本書專述大地測量上測定各種控制點之方法、應用之儀器及如何計算測量結果以求控制點之位置為目標。大地測量之方法乃屬精密測量，亦可應用於精度須甚高之局部性測量。在工程上言如隧道測量，水壩完工後之校驗測量，必須以大地測量方法施測之，本書兼述此方面之應用，以供學者之參考。

中華民國五十九年，著者撰寫實用測量學一部，計分上下兩冊，上冊述平面測量，下冊述大地測量，是書出版後，現已無存。且上、下兩冊斟酌之處尚多，遂着手改訂，增加新資料，修改內容。再學者未必上、下兩冊同時使用，故於改訂後分別命名，實則本書乃實用測量學下冊之改訂版。仍與實用平面測量學（實用測量學上冊之改訂版）相互連繫。

本書所介紹之儀器為國內各測量機構所習用者，在撰寫期間蒙下列各儀器廠先後賜贈資料圖片，謹此表示謝忱：

1. 美國惠普 (Hewlett Packard, Inc.) 公司，
2. 美國王安 (Wang Laboratories) 公司，
3. 瑞士威特 (H. Wild) 廠，
4. 瑞士凱恩 (Kern) 廠，
5. 瑞士依保區 (Ebauches, SA) 廠，
6. 德國蔡司 (Carl Zeiss) 廠，
7. 瑞典 AGA 廠，
8. 英國微波測距儀公司 (Tellurometer (U.K.) Limited)。

尹鐘奇

中華民國六十一年五月於臺灣臺中

三 版 例 言

功欲善其事，必須利其器，測量儀器對於測量工作之實施及精度要求，殊屬重要，世界各國之儀器廠商，莫不精益求精，對其所出儀器時在改進中，使操作簡化，重量減輕，精度增加，為其求精之最大目標。本書再版方印刷完成，如威特（H. Wild）各型經緯儀及水準儀，均一改新貌，設精密之自動水平裝置，以利垂直角讀數，且可得精確之值。

電子測距儀器為近代測量工作上之利器，近年來新型電子測距儀層出不窮，而如 AGA 及微波測距儀廠等首創之光電測距儀及微波測距儀，亦經不斷改進，AGA廠去年出品光電測距儀 12 型及 710 型，微波測距儀廠出品 CD-6 及 MRA 5 型等，均使用便利，精度增加，對各種工程上應用，殊為有利，故本版樂為介紹。又凱恩（Kern）廠之 ME3000 為目前最精密之電子測距儀，可達精細工程上測距之要求，故本版亦詳為介紹之。

本書改版前，蒙上述威特、凱恩、AGA 及微波測距儀廠等，賜贈最新資料及圖片，本版得能應用之，謹此致謝。

中華民國六十四年九月於臺灣臺中

尹 鍾 奇

四 版 例 言

近年來因電子計算機發展迅速，測量上之計算，均可應用真數計算之，如英國出版之陸地測量用星曆表內，有關太陽之視位置，自 1977 年起加列多項級數係數，使配合程式計算機之計算，以得迅速確實之結果。本版為適應時代之趨勢，將書內之計算，均改用真數計算之。

電子測距儀仍在不斷改進中，使一架輕巧簡便之儀器上，能同時測角、測距，並即時化為水平距離，求出其高程差。本版改版期間，美國 H.P. 3810A 電子測距儀問世，於儀器上裝設可測水平及垂直角裝置，能同時測角、測距，不必如其他電子測距儀之架設於經緯儀上，以測距儀測距，經緯儀測角，故樂為介紹。

中華民國六十五年六月於臺灣臺中

尹 鍾 奇

實用大地測量學

目 錄

第一章 概 論

- 1. 1 大地測量..... 1
- 1. 2 大地測量作業步驟、精度需求及其應用..... 1
- 1. 3 地球形狀..... 6

第二章 大地經緯儀

- 2. 1 大地經緯儀..... 9
- 2. 2 大地經緯儀之望遠鏡..... 9
- 2. 3 大地經緯儀之水準器..... 12
- 2. 4 大地經緯儀之度盤及其讀定裝置..... 15
- 2. 5 各種大地經緯儀概說..... 19
- 2. 6 大地經緯儀之改正..... 26
- 2. 7 經緯儀製造上之誤差..... 27
- 2. 8 經緯儀改正不完善之影響..... 32
- 2. 9 經緯儀儀器誤差及改正不完善誤差之消除方法..... 35

第三章 三角測量

- 3. 1 概說..... 38
- 3. 2 基線尺及長度檢定..... 38
- 3. 3 基線選定及端點設置..... 41
- 3. 4 基線網..... 43

3. 5	線狀基線尺測量	43
3. 6	基線長度應加之改正	47
3. 7	三角點之選定	53
3. 8	三角點標石及觇標	58
3. 9	廻照器與廻器燈	60
3. 10	水平角觀測及其誤差之檢查	62
3. 11	水平角之離心觀測	66
3. 12	垂直角觀測	66

第四章 高程測量

4. 1	概說	68
4. 2	靜力水準測量	68
4. 3	精密水準測量	70
4. 4	精密水準測量高程起算基準面	70
4. 5	精密水準儀	71
4. 6	精密水準標尺	80
4. 7	水準點	82
4. 8	精密水準儀之改正	83
4. 9	水準測量之誤差	83
4. 10	精密水準測量之觀測方法	86
4. 11	渡河水準測量	87
4. 12	正高與力高	89
4. 13	觀測高程之改正	93
4. 14	三角高程測量	95

第五章 精密導線測量

5. 1	概說	99
5. 2	導線之選定	99
5. 3	量距	100
5. 4	折角觀測	108

5. 5	方位角觀測	108
5. 6	導線測量之誤差	109

第六章 天文觀測

6. 1	概說	114
6. 2	天文座標系	114
6. 3	天文觀測應用之儀器	120
6. 4	星表及天文年曆	131
6. 5	時間	132
6. 6	無線電時號及收錄	136
6. 7	觀測之改正	138
6. 8	時間及經度觀測	142
6. 9	緯度觀測	147
6. 10	方位角觀測	153
6. 11	等高觀測	163
6. 12	精密經緯度觀測	167

第七章 電子測距

7. 1	概說	180
7. 2	電磁波之形式	181
7. 3	電磁波及光波性質與單位	183
7. 4	調制	185
7. 5	極化	187
7. 6	電子測距系統	189
7. 7	相位比較原理	189
7. 8	光電測距儀	191
7. 9	光電測距儀距離測定及計算	197
7. 10	光電測距儀測距之範圍及誤差	200
7. 11	8型光電測距儀	201
7. 12	其他光電測距系統儀器	202

7. 13	短距離電子測距儀器	203
7. 14	微波測距儀	215
7. 15	微波測距儀之測距範圍及精度	222
7. 16	雪爾測距儀	222
7. 17	其他微波測距儀器	224
7. 18	大氣折射對於電子測距之影響	225
7. 19	電子測距之幾何改正	232
7. 20	電子測距各種改正彙集	235

第八章 旋轉橢圓體及地圖投影

8. 1	概說	237
8. 2	天文位置及大地位置	238
8. 3	橢圓體之曲率半徑	240
8. 4	橢圓體之主曲率半徑 R 及 N	241
8. 5	任意截面之曲率半徑 R_x 及平均曲率半徑 ρ	243
8. 6	子午圈及平行圈弧長	244
8. 7	地圖投影概論	246
8. 8	球面直角座標 (略西尼投影座標)	246
8. 9	球面直角座標之方向及距離改正	250
8. 10	平面直角座標之誤差	252
8. 11	由球面直角座標以計算平面方位角及距離	253
8. 12	橫梅氏投影 (高斯—克魯格投影)	242
8. 13	UTM 座標系統	260
8. 14	蘭亭氏投影	267

第九章 平差理論

9. 1	概說	273
9. 2	誤差定律、誤差曲線	274
9. 3	最小自乘法理論	276
9. 4	觀測精度之表示法	277

9. 5	權與誤差之關係	280
9. 6	誤差之傳播	280
9. 7	平差問題之種類	282
9. 8	直接觀測平差	283
9. 9	間接觀測平差	286
9. 10	條件觀測平差	296
9. 11	間接觀測與條件觀測平差之比較	298
9. 12	應用電子計算機平差	299
第十章 測量成果之計算		
10. 1	概說	300
10. 2	基線計算	301
10. 3	三角形計算	302
10. 4	觀測水平角之改正	305
10. 5	三角系之條件平差	305
10. 6	三角系之間接觀測平差—座標平差	317
10. 7	三邊系之平差	321
10. 8	三角系之座標移轉平差	325
10. 9	大地位置計算	327
10. 10	大地位置反算	332
10. 11	三角系精度統計	333
10. 12	三角點成果表	334
10. 13	高程測量之計算	334
10. 14	導線網之計算	337
10. 15	大地測量計算應用之計算機	343
第十一章 大地測量之應用		
11. 1	概說	347
11. 2	勘界	347
11. 3	隧道測量	349

11.4 微變測量	359
-----------	-----

附 錄

一 數學公式	367
二 天文三角形公式	371
三 北極附近之恆星	373
四 常數	374
五 球面直角座標各種計算公式	376
六 方位儀	383
七 經緯度平差電腦計算程式	395

附 表

一 圖形強弱係數表	397
二 地球彎曲差及折光差改正表	398
三 三角高程計算用表	399
四 平時間段換算爲恆星時間段表	402
五 恆星時間段換算爲平時間段表	403
六 濛氣差表	404
七 R, N 表	406
八 美國天文年曆之“世界時與恆星時表”樣張	416
九 1977年之太陽表	417

參考書籍	415
------	-----

名詞索引

漢英對照	420
英漢對照	427

第一章 概 論

1.1 大地測量

測量作業乃在於地球表面上實施，則區域擴展或在廣大面積上測量，不能不顧及地球之曲度。大地測量工作常擴及一省至全國，是故一切計算必須計及地球曲度。

大地測量所論者，乃為地球表面上設置控制點—平面方向與高程方向之各種作業理論及實施方法，並述及在於地球表面上點位之測定。此外因測量次數常較需要次數為多，故尚論述如何將矛盾現象消除之平差計算。

一國內為國防上、經濟建設上及地籍清理、土地劃分上之應用，不能無全國性之地圖，測繪此等地圖必先建立大地控制系統，以此為基礎，推測至小而積區域內之控制，以為地形測量之根據。是故每一國家必有主持全國大地測量之機構，如美國之海岸大地測量局等是。我國自清末迄今，向由全國軍事測量單位，主持其事。

1.2 大地測量作業步驟，精度需求及其應用

大地測量之成果，一方面可作為測圖之控制，另一方面亦可用以計算地球形狀及大小，為講述方便計，大地測量又劃分為物理大地測量 (Physical Geodesy) 及數學大地測量 (Mathematical Geodesy)：

物理大地測量 乃講述應用大地測量之成果，以計算地球形狀及大小，甚至推述地球之內部構造之學理以及有關此種問題之測量作業。

數學大地測量 乃將地球視為有規則之數學體—旋轉橢圓體 (Spheroid) (見 § 1.3)。在地球表面上作控制測量時，如何將其推算為旋轉橢圓體上之位置，以及如何實施此等控制測量，是為數學大地測量所論述者。

大地測量之主要測量工作包含：

三角測量 (含基線測量) 或三邊測量、導線測量 為測算視地球為數學體表面上各級控制點位置之作業。

水準測量 為測算地面上高程位置之作業。

天文觀測 (Astronomic observation) 為測算地球實際表面上之位置
(天文位置 Astronomic position) 一經緯度及方位角之作業。

重力測量 (Gravity measurement) 為測算地球表面上測點之重力強度值之作業。

磁力測量 (Magnetic observation) 為測算地球表面測點之磁偏角 (Magnetic declination)、磁力強度 (Magnetic intensity) 及磁傾角 (Magnetic dip) 之作業。

以上五種測量，其前三者之成果，以數學大地測量上應用為多，後二者於物理大地測量上用之。

測製大比例尺地圖，土木工程、水利工程及農業工程等之應用，所涉及之大地測量，大部份為數學大地測量。

本書講述以數學大地測量為主，亦即本書所述者為三角測量、水準測量、天文觀測等作業所應用之儀器、測量方法以及成果計算之理論與實施方面者。

地面控制點之測量原理與方法，與平面測量學* 中所述者相似，惟大地測量中該項測量係屬一、二等主系，其作業應自基本着手，茲分述其內容概要如次：

三角測量 應先測定地面上一段距離之長度，即基線測量，以所得基線長度為準，組成三角形，測定其內角，以計算其他各點間之邊長，並藉天文觀測，測定其中一點之經緯度及方位角為基準點，應用旋轉橢圓體上之數學公式，以求各三角點之位置—大地經度 (Geodetic longitude)、大地緯度 (Geodetic latitude) 及大地方位角 (Geodetic azimuth)，並為便於實地作地形測量之應用，計算三角點於地圖投影 (Map projection) 面上之平面座標之作業，是為大地測量中之三角測量。測量所得之成果，應包含三角點之地面位置及投影面上之位置，是故完成三角測量之作業步驟，順序為：

- ① 基線測量 地面上已知邊之測定工作。
- ② 選點 在地面上選定三角點，構成三角形、四邊形或多邊形之作業。

* 此處及以後所述參考之平面測量學係指尹鍾奇著實用平面測量學。

- ③ 埋石、造標 表示地上永久性位置之三角點標石之埋設，以及為測量時使用之標的建造之作業。
- ④ 觀測 各三角形頂角之觀測及三角點垂直角觀測之作業。
- ⑤ 計算 推求三角系中各三角點位置之各種必要之計算。

應用長距離電子測距儀器可測定長達三、四十公里之距離（見第七章），是故測定三角形邊長之三邊測量 (Trilateration) 方法，在大地測量中廣泛應用之。如三角形中觀測角度並量各點間之邊長者，名之為**三角三邊測量** (Triangulation) 在大地測量中亦應用之。

導線測量 平面測量學中已述及導線測量原理。此種測量亦為測定地面控制點之一種測量工作，其不同於三角測量者，三角測量為面的控制，導線測量則為線的控制。在平面測量上應用較廣，大地測量中則於全國性控制系統，遇地形限制不能實施三角測量時，如我國甘肅、寧夏邊區、新疆沙漠地區，則可應用之。

大地測量中之導線測量對方向之控制較嚴密，是故尚須於導線端點及中間點施測天文方位角。其作業步驟含：

- ① 導線點之選定及埋設。
- ② 距離測量。
- ③ 角度測量—方位角及折角觀測。
- ④ 計算—導線網平差及導線點位置之計算。

水準測量 大地水準測量僅應用直接水準及間接三角高程測量兩種，其原理與平面測量學上所述者相同。直接水準測量類別為精密水準測量。但因為工作須細密，作業步驟含：

- ① 選點。
- ② 埋石。
- ③ 觀測。
- ④ 計算。

三角高程測量常併於三角測量中進行，於水平角觀測之空隙時間，實施垂直角觀測，以便求兩點間之高程差。

天文觀測 大地測量上實施之天文觀測，除特殊目的外，常在三角點上或三

角點附近施測之，其用意乃控制三角系之方位及測算垂線偏差 (Deflection of the vertical) 研究地球形狀之用。其作業以如何應用天文觀測儀器，選定何種恆星觀測之，以得測點之天文經緯度及方位角為主。

本冊所述上述各種測量，以達一、二等精度為主，茲將其規範，列如表 1.1:

表 1.1a 三角測量規範

	一 等	二 等
平均邊長	15公里以上	10 公里以上
圖形強弱:基線間	不超過 20~25	不超過 60~80
每一圖形 R_{min}	不超過 5~10	不超過 10~30
R_{max}	不超過 10~15	不超過 25~60
基線測量標準誤差	1:1000000	1:900000
使用之經緯儀	可讀 0.''2	可讀 0.''2
觀測對回數	16	16
各次觀測與平均值之差	不超過 4''	不超過 4''
三角形閉合差	不超過 3''	不超過 3''
全系中三角形閉合差平均值	不超過 1''	不超過 1.''2
邊長檢核	不超過 0.''3	不超過 0.''4
方位角之觀測標準誤差	0.''45	0.''45
方位角閉合間之圖形數	6~8	6~10
方位角閉合差	$2''\sqrt{N}$	$3''\sqrt{N}$
長度及位置經圖形條件適合後之閉合誤差	1:100000	1:50000

表 1.1b 三邊測量規範

	一 等	二 等
邊長長度	10 公里以上	10公里以上
組成三角形之角度大小	不小於 25°	不小於 25°
邊長測量標準誤差	1:1000000	1:750000
方位角標準誤差	0.''45	0.''45
方位角閉合間之圖形數	6~8	6~10
方位角閉合差	$2''\sqrt{N}$	$3''\sqrt{N}$
位置經圖形條件適合後之閉合誤差	1:100000	1:50000

表 1.1c 導線測量規範

	一 等	二 等
邊 長 長 度	10~15公里	4 公里以上
邊長測量標準誤差	1:600000	1:300000
折角觀測應用之經緯儀	可讀至 0."2	可讀至 0."2
角度觀測對回數	16	8
各次觀測與平均值之差	不超過 4"	不超過 4"
方位角之觀測標準誤差	0."45	0."45
方位角閉合間之測站數	5~6	10~12
方 位 角 閉 合 差	$2''\sqrt{N}$	$3''\sqrt{N}$
位置經方位角平差後之閉合誤差	1:100000	1:50000

表 1.1a 至表 1.1c 中之 N 表所經圖形或測站數。

邊長檢核之計算詳 §3.10。

表 1.1d 水準測量規範

	一 等	二 等
每一測段往回閉合誤差	$3\text{mm}\sqrt{K}$	$6\text{mm}\sqrt{K}$
每公里之標準偶然誤差	1.5mm	3.7mm
每公里之標準系統誤差	0.3mm	0.7mm

K 為以公里為單位之測段距離。

表 1.1e 天文觀測規範

	一 等	二 等
經度觀測結果標準誤差	0."02	0."07
緯度觀測結果標準誤差	0."1	0."4
方位角結果標準誤差	0."3	1."0

大地測量上所述之方法，其主要目的固為全國性測圖及地籍測量之依據，但常為局部工程上所採用，茲列舉三例說明之：

① **水位控制** 控制水位，建設水壩，必先作精密位置測量，以供設計，而後且使圖上位置，測設於實地，均須應用大地測量之規程以定之。

如我國之長江、黃河，上流之水量超過何種水位，將發生氾濫，造成水災，事前如沿線施測精密水準測量，則高度可歸算至同一基準面，而能預測，可防止災害之發生。

② **水力發電系統工程** 依水力發電系統，可先歸劃如何輸送水力，以供發電，則地勢高低，輸水設施敷設，甚至挖設坑道等，必先應用大地測量之各種方法以得之。

③ **都市計劃** 都市計劃中街道、房屋、公園、輸電系統、下水道等設施，必先施測大比例尺都市圖，以及必須之控制點，作為計劃以及細部測量時之依據。惟因都市地價昂貴，所測成果不能有絲毫差異，故控制點之精度，以能達一、二等規範所規定者為宜。

此外如大型橋樑之架設、機場雷達站之定位、砲兵觀測等，均須大地測量中水準、天文或三角測量之資料。

1.3 地球形狀

大地測量既須顧及地球表面之曲度，地球形狀為何必先知之。地球之數學表面乃以地球自轉軸為軸所成之旋轉橢圓體，地球自轉軸為過南極、北極之連線，過南北極及觀測點在於地球表面上之截面稱為子午圈 (Meridian)，為一橢圓，故旋轉橢圓體乃橢圓繞地球自轉軸所成之體 (見圖 1.1)。由是可知以南北極為極之大圓名為赤道 (Equator) 者為一圓，平行於赤道之小圓名為平行圈 (Parallel) 者，亦為圓是也。

大地測量之計算及地圖投影面上之平面座標計算，必須視地球為旋轉橢圓體，亦即須知子午橢圓之長半徑 a ，短半徑 b ，此長短半徑數值，可定出旋轉

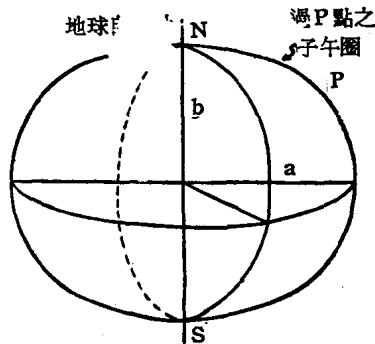


圖 1.1