

平面測量學

—理論與實務—

焦人希 編著

平面測量學之理論及實務

焦人希著

內政部著作權執照內著字第 11392 號

翻
印
必
究



版
權
所
有

平面測量學之理論及實務

定價：精裝 ~~750~~ 元
300

編著者 焦人希

郵 撥 119663 號

發行人 焦人希

印刷者 知音印刷出版公司

地 址 羅斯福路三段 239 號二樓 (393-3505)

中華民國六十九年三月二版

序

在純理論的學術中，吾人是以數學或邏輯的方法建立一嚴密的函數式，敘述或研討介質在空間坐標點間的相關運動關係，以及其隨時間之變異等。同理，在工程的學術中，人們必須決定工程與地面各點之相互位置關係。工程數學中之測量學，即是講授此一重要技術與測量作業儀器之學問。

、工程上，除了必須涉及地球表面曲度，如區域廣闊等之大地測量（Geodetic Surveying）外，一般小區域，其範圍大小與地球半徑相較甚小之測量，可視之為一平面測量作業，稱為平面測量學（Plane Surveying）。因而，不論土木、建築工程、及地理、地質、森林之測量，乃至土地劃分，及一定範圍內之地形測繪等，皆須運用平面測量學。

焦人希教授，專究測量學數十年，並有豐富之實地作業經驗，今就其授課教材參考重要文獻，撰成本書，對平面測量之學理、控制、測量儀器構造及修護、距離測量、角度觀測、導線測量、高程差測量、三角測量、平板測量等，分章詳述，內容精要，文筆流暢，誠為大專有關科系學生之良好讀本。著者更就其多年作業經驗，加述工程測量上之特殊問題及誤差之處理與平差方法等，對於測量內外作業人員在實地作業甚具參考價值。謹書介紹，並表敬佩之忱。

中原理工學院土木工程學系

苟淵博

再版序

在測量上言，凡來自測量之值，恒非真值，而係夾附有一狹小域值誤差之或是值，推而廣之，可知凡人所想出或推導得來之解決方法，也非絕對與唯一，而是相對與允可而已。本書在尚未定稿之前，即是抱此態度，以冀學者能有更多指問，更多發現與更見乎實用。但在付印之後講授時，於鼓勵學者們之多問而再發現尚有甚多之實際問題未加羅致，而此類問題正是需面對者，例如：三角測量中集合圖形於平差時主輔圖形之裁決，一些平差條件不足時之平差計算法及工程測量上如拱壩之變形測量……等，一般認為乃專家或專業中事，而不見介紹，但如作一二重點之介紹，則將來遇之便不會一籌莫展，甚至坐對苦城。次如一般道路曲線與高速公路所用之克羅梭曲線之測設，以及攝影測量中像片控制點之佈置，均乃經濟建設成長中所必遇見。至測量實習之增補，則循教學上之慣例。但三邊測量之補遺，則為迎合現代電子測距上之需求，以明其究竟要訣。總之，盼望將平面測量學作最合理完整有系統之介紹，期能足供實用，而不流入虛談，而爭求實求是以底應用之旨。

焦人希 謹誌 於民國 69 年 3 月

自序

因古埃及尼羅河之泛濫成災，造成兩岸耕地界址之湮沒而難以辨認，乃開創以測角量邊之法，以推定田畝之原有地界，而有“測量學”之雛型。嗣經研究發展，應各別之需求，而有大地測量學、海道測量學及航空攝影測量學……等之設立。而物質文明，工商發達，各方建設要求更殷。且一般要求建設之地區，類多偏仄，其受地球曲度影響之程度，實在微不足道，而逕可以平面視之，故曰：平面測量學。

平面測量學，為一門獨立之應用科學，既為獨立，自應有其目標定義，尺度界範及充要條件，方符獨立之要旨。且應用科學之取捨，以重實用而捨理論上之過份強調，從實驗上之可及與安全，而去其高度之理論化。本書即遵循此一方向與途徑，採用“該保留者，則保留，當改進者，則改進，應補足者，則補足”之原則，以品質（Q.C.）法為經，用調頻（F.M.）法為緯，重加修訂及補足，使理論與實務脈絡一貫。而在目前大專土木水利等科系之可授時數及需要之知識裏，必須要之知識，如儀器之一般檢修與保養，誤差發生之機遇特性及一般計算上之錯認，平差上最小自乘法與比例分配法甚至平均分配法間之實際績效上之認識，以及工程等實務中測量可應變之法……等，一併給以具體之概念與認識，庶免以訛傳訛，無所取捨。

感謝神，使我在這工作上有份，但深知——人常在錯誤之光景裏，雖工作，研究及講授於斯多年，而忙中捉筆，舛誤定必不免，懇海內碩彥不吝指正。

感謝中原理工學院土木系主任苟淵博教授於百忙中賜序，十分可佩。而編輯期，家兄焦龍華教授之多方鼓勵，及內子張建華女士之獨持家務，不使分心，而可在晨昏捉筆，功不可殁，併此誌謝。編撰

期間，諸前輩及友好惠我以資料，以供參考改正，至感至佩。

焦人希誌於台北寓次

中華民國 67 年 9 月

參考資料及引用文獻：

1. 水準測量及導線測量 朱子緯
2. 平板測量 李逢志
3. 測量學 王潤璞
4. 測量儀器之修護 譚吉謙
5. 誤差論 Yardley Beer 著陳淳譯
6. 測量平差法 夏堅白，王之卓合著
7. Practical Quality Control David A. Simmons
8. Geodesy George L. Hosmer 3th Ed.
9. Surveying Davis and Foote 5th Ed.
10. Surveying Vol.1,2 Breed and Hosmer 8th Ed.
11. Surveying Moffitt and Bouchard 6th Ed.
12. Plane Table Mapping Harper and Row 1952
13. 習用三角測量圖形之強度效力分析與比較研究
測量技術通報 民 49.5 焦人希
14. 現用四邊形平差法之改進及其比較
台電工程月刊 民 56.11 焦人希
15. 三角測量平差法採用完全強制條件時之效力及其比較
台電工程月刊 民 57.3 焦人希
16. 誤差及在工程品質控制上之應用
台電工程月刊 民 60.9 焦人希
17. 一般三角測量上圖形之裁決及其平差抉擇之研究

VI 平面測量學之理論及實務

- | | | | |
|----|------------------------------|---------|-------------|
| | 土木工程 | 民 62.5 | 焦人希 |
| 18 | 採用強制配賦作為圖形平差之比較研究 | | |
| | 工程 | 民 63.4 | 焦人希 |
| 19 | 變形計量法在地下結構物開挖上之應用 | | |
| | 土木水利 | 民 63.5 | 焦人希 |
| 20 | 從結構學觀點來衡量單向四邊形鎖之平差 | | |
| | 測量技術通報 | 民 63.10 | 焦人希 |
| 21 | 四邊形鎖平差路徑之比較研究 | | |
| | 台電工程月刊 | 民 64.4 | 焦人希 |
| 22 | 為“平面測量學”之正名請命 | 工程 | 民 67.3 焦人希 |
| 23 | 平面測量學之修正及釐訂 | 土木水利 | 民 67.4 焦人希 |
| 24 | 高速公路施工測量 | | 周茂森 編 |
| 25 | 中國工程師手冊 | | |
| 26 | 美國工兵建築測量 | | |
| 27 | 航空攝影測量學(上冊) | | 張汝珍編著 |
| 28 | 談攝影測量上像片製圖經緯 | 台電工程 | 民 59.4 焦人希 |
| 29 | 陸地攝影測量之理論及其應用 | | |
| | 台電工程 | 民 60.1 | 焦人希 |
| 30 | 地面攝影測量實務縱橫談 | 台電工程 | 民 62.10 焦人希 |
| 31 | Manual of Photogrammetry | | |
| | 3rd Ed. | 1965 | |
| 32 | Photogrammetry Berth Hallert | 1966 | |

平面測量學之理論及實務

目 錄

第一章 緒 論	1
1.1 測量學之發軔及平面測量學.....	1
1.2 平面測量學之定義及界範.....	1
1.3 我國測量製圖學術之興衰史實...	2
1.4 測量上之三要訣.....	3
1.5 測量之原理.....	4
1.6 平面測量學上現存之缺陷.....	5
1.7 平面測量上之控制.....	5
1.8 平面測量學之分類.....	7
1.9 測量精度之取捨.....	7
1.10 測量理論與實務之協調及經濟...	8
1.11 平面測量學之體系.....	10
1.12 測量工作之實施.....	12
1.13 測量上之標準抉擇.....	13
1.14 測量品質控制要旨.....	14
1.15 習 題.....	16
第二章 平面測量儀器之構造及修護	17
2.1 一般平面測量中所使用之儀器...	17
2.2 望遠鏡.....	17

VIII 平面測量學之理論及實務

2.3	十字絲	20
2.4	水準器	20
2.5	定平基座	22
2.6	水準器之靈敏度	23
2.7	遊標	24
2.8	固定及微動螺旋	27
2.9	儀器之配件	29
2.10	平面測量儀器之選用	31
2.11	平面測量儀器精度上之品質控制	32
2.12	測量儀器光學鏡件缺點之成因	34
3.13	測量儀器光學鏡件之保養	35
2.14	測量儀器金屬部份之保養	39
2.15	測量儀器之貯存及運輸	41
2.16	習題	41

第三章 距離測量 43

3.1	概述	43
3.2	量距上之先決條件	46
3.3	距離測量上之分類	49
3.4	距離測量上之趨勢	49
3.5	測距之器材	49
3.6	直接量距上對平地及傾斜地之測法	53
3.7	直接量距上之誤差及改正上之取捨	58
3.8	直接量距上之計算實例	59
3.9	直接量距上應注意事項	62
3.10	直接量距上之精度	63
3.11	支距測量及簡易垂綫決定法	64
3.12	陰蔽地區之直綫簡易推定法	65

3.13	定視距絲測距之原理及其測 定儀·····	65
3.14	視距測量與視角測量·····	69
3.15	定視距絲測距儀之測距實務··	70
3.16	定視距絲常數之測定·····	74
3.17	視距表·····	75
3.18	貝門弧·····	76
3.19	視距橫桿·····	81
3.20	定視距絲測量之誤差及精度··	85
3.21	變視距絲之測距原理及設計··	87
3.22	變視距絲之測距儀及其測讀法	91
3.23	雙像自動測距之原理·····	94
3.24	雙像自動測距儀及其使用法··	96
3.25	電子測距之原理·····	103
3.26	平面測距中之電子測距儀····	104
3.27	習 題·····	116
第 四 章	角度之觀測·····	119
4.1	概 述·····	119
4.2	角度測量之儀器·····	119
4.3	經緯儀之構造及類別·····	122
4.4	威特經緯儀·····	131
4.5	度盤讀定之構造及讀定範例··	137
4.6	經緯儀誤差之檢定及校正····	145
4.7	經緯儀之誤差及其影響·····	148
4.8	經緯儀之整置·····	152
4.9	水平角之種類及其觀測法····	154
4.10	直線之測定及延伸法·····	161
4.11	垂直角之觀測·····	163
4.12	垂直角及指標差計算·····	165
4.13	指標差之改正·····	169

4.14	羅盤經緯儀及其應用	170
4.15	羅盤儀及其應用	171
4.16	習題	177
第五 章	導線測量	179
5.1	概 述	179
5.2	導線之選測	182
5.3	導線測量之座標決定法	183
5.4	導線點角度之觀測法	184
5.5	導線測量中應注意之事項	187
5.6	導線測量中之誤差	188
5.7	導線測量誤差之檢查	192
5.8	導線測量作業之項目及順序	194
5.9	導線測量之計算程序	195
5.10	導線測量之角度平差法則	196
5.11	方位角之推算及角度閉合差 之調整	196
5.12	縱、橫線距之計算及平差法	200
5.13	縱、橫線距之校核法	206
5.14	計算機之應用	209
5.15	平面座標上斜率之應用	210
5.16	座標反算距離及方位角之應 用	212
5.17	橫線之計算	216
5.18	視距導線及其應用	218
5.19	前方交會法	222
5.20	測量方法之聯合應用問題	225
5.21	導線測量之精度及品管	226
5.22	羅盤儀導線	227
5.23	導線點之展繪	229
5.24	導線閉合差之圖解改正法	230

5.25	習 題	231
第 六 章 高 程 差 測 量 245		
6.1	概 述	245
6.2	直接水準測量	246
6.3	水準儀	247
6.4	水準器之符合讀法	248
6.5	傾斜螺旋	249
6.6	定鏡水準儀	253
6.7	轉鏡水準儀	255
6.8	Zeiss 自動水準儀	256
6.9	水準標尺	257
6.10	水準測量之程序	258
6.11	水準測量之精度及其改進法	260
6.12	水準測量之形式	260
6.13	水準測量之誤差及其防範	261
6.14	水準測量閉合差之平差及其 裁決	263
4.15	水準測量之記簿及計核	267
6.16	水準測量之等級	268
6.17	定鏡水準儀之校正	269
6.18	轉鏡水準儀之校正	275
6.19	手水準儀	276
6.20	縱、橫斷面測量	278
6.21	間接高程測量	279
6.22	間接高程之測定儀及測定法	281
6.23	地球曲度差及大氣折光差	285
6.24	球差及氣差在高程差測定上 之影響	288
6.25	間接高程測量之誤差	290
6.26	氣壓高程測量及氣壓計	290

XII 平面測量學之理論及實務

6.27	氣壓高程之測量	292
6.28	交互水準測量	296
6.29	習題	298
6.30	附表	299
第七章	三角測量	303
7.1	概述	303
7.2	三角測量之圖形	305
7.3	三角測量上應有之認識	307
7.4	子午線之測定	308
7.5	基線及基線網	319
7.6	水平角之觀測	324
7.7	歸心觀測之計算	327
7.8	三角測量之平差(焦氏)法	332
	(一)基綫網(二)四邊形(三)單三角 形長鎖(四)特種單三角形 長鎖(五)四邊形長鎖(六)特種 三角網(七)強制幅合法之各 種平差範例(八)強合法之精 度	
7.9	三角測量平差與電子計算機	356
7.10	前方交會法	359
7.11	後方交會法	360
7.12	兩點法	362
7.13	三角鎖網在平差後之邊長計 算	365
7.14	方位角及座標計算	365
7.15	三角測量中之校核及問題之 補救法	366
7.16	三角點之高程測定	369
7.17	平面測量與大地測量之貫連	369

7.18	三角測量之作業計劃	370
7.19	習 題	372
7.20	附 表——平差範例	374
第 八 章	平板測量	391
8.1	概 述	391
8.2	平板儀	392
8.3	大平板儀之檢定校正	402
8.4	小平板儀之構造、應用及校正	406
8.5	控制點之展繪	413
8.6	平板儀測量	415
8.7	圖解導線測量及其平差法	418
8.8	圖解三角測量	421
8.9	平板測量中之平板定位	422
8.10	平版之定位法	423
8.11	比例尺	429
8.12	平板測圖之方法	430
8.13	地貌之表示法及等高線	432
8.14	平板圖測圖工天之計算	440
8.15	測量全盤計劃之擬訂及策劃	442
8.16	圖幅之計劃與編號	443
8.17	地形圖之圖式	444
8.18	習 題	445
第 九 章	工程測量上之特殊問題解法	449
9.1	概 述	449
9.2	開壩之定位問題	449
9.3	壩體之變形測量	452
9.4	隧道之控制測量	453
9.5	特殊斷面間體積之焦氏變形 計量法	454

9.6	特種土石方之計量法	459
9.7	座標之面積計算法	464
9.8	圖紙伸縮之影響	467
9.9	柯英氏之拱堤變形測量法	470
9.10	攝影測量之應用	474
9.11	習題	475

第十章 測量誤差及平面測量上應有

	之平差	485
10.1	概述	485
10.2	測量誤差之考慮及取舍	486
10.3	誤差之界範	486
10.4	誤差之傳播及變異性	487
10.5	確實精度與顯示精度之分野	490
10.6	平面測量上應採用之平差法	491
10.7	強制分配(焦氏)法之效力 及其比較	494
10.8	平差主輔圖形之裁決	497
10.9	習題	499

第十一章 道路曲線之測設

11.1	概述	503
11.2	豎曲線	503
11.3	單曲線	508
11.4	複曲線及反曲線	513
11.5	緩和曲線(克羅梭曲線)	515
11.6	曲線之超高與加寬	541
	附：超高與加寬表	543
	道路測量中各種障礙之解決法範例	
	附錄：測量實習	549
	三邊測量	562

平面測量學之理論及實務

第一章 緒 論

1.1 測量學之發軔及平面測量學

因古埃及尼羅河 (Nile River) 之逐年泛濫成災，造成兩岸界址之湮沒而難以辨認，以致糾紛叢生，故開創以測角量邊之法，以達恢復舊有業主之地積。以其採用測角量邊，故曰測量 (Survey)，成為日後發展為測量學 (Surveying) 之濫觴。迨西元前 274-173 年，先後經 Eratostheres 及 Gauss 與 Bassel 諸氏之研究，乃完成大地測量學 (Geodesy)。1858 年法人 Laussadat 氏之創用空中攝影測量理想，再經 Pulfrich 氏研究以浮遊測標之採用，於焉發展成為攝影測量學 (Photogrammetry)，及後應工商業之發達，一般建設實務之需求，將誤差之容許度放寬，且視測區為一平面之平面測量學 (Plane Surveying) ……等，分門別類，各以其特性之需求，建立不同之學門，而用之最多且最廣者，亦為平面測量學。

1.2 平面測量學之定義及界範

平面測量學，乃平面測量之本體，即視測區範圍為一平面所為之測量，因地球面上 20Km 之邊長時之球面角超 (Spherical Excess) 才有 1"，且此值對短於 20Km 邊長時之變化，並不呈線性關係，乃是急速減小。而一般測量實務中之三角控制點間之距離，多在 10Km 以下，故以平面視之，決不致發生影響也，且採用之邊長實際又多在 300-2,000 公尺之間，更是微不足道，可足徵信。故其目標觀念上之定義十分清楚。其應用之尺度界範，並不如大地測量學之斤斤計較