

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

學 量 測

下 卷 第一分冊

A. C. ЧЕБОТАРЕВ 著
清華大學土木系測量教研組譯



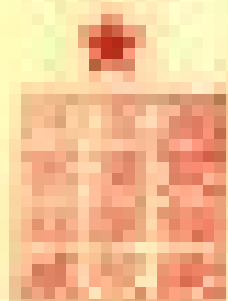
商 務 印 書 館

中國人民政治協商會議全國委員會
宣傳部 中國青年報 中國青年

期星學

第一卷 第一期

人民日報社青年部主辦
中國青年報社代印



中國青年報社

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



學 量 測

下 卷 第一分冊

A. C. 契巴塔廖夫 著
清華大學土木系測量教研組譯

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯測量製圖書籍出版社(Издательство геодезической и картографической литературы)出版的著名科學技術工作者、技術科學博士契巴塔廖夫(А. С. Чеботарев)教授所著“測量學”(Геодезия, ч. II)下卷1949年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為測量製圖學院的教科書。

本書下卷分二冊出版。第一分冊內容為III等水準測量及IV等導線測量。IV導線測量部分論述IV等導線測量外業，直綫丈量，角度觀測，導線的連結工作，外業成果的整理，平差計算以及視距導線等等。第二分冊內容為小比例尺的國家地形測量及氣壓測高法等等。

本書係清華大學土木系測量教研組集體翻譯而成。參加本書翻譯和校訂工作的有李慶海、儲鍾瑞、崔炳光、孫護、劉翰生、王雄風、毛世民諸同志。

測 量 學

下 卷 第一分冊

清華大學土木系測量教研組譯

★版權所有★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 北 京 廠 印 刷

(53673B1)

1954年3月初版 版面字數341,000

印數1—6,000 定價¥21,000

序

這本書是測量高等工業學校教科書“測量學”的下卷。這是上卷的續編並且與學生第二年的學習計劃相符合。

編寫這本書的基本原則在上卷的序言中已經講過了。

按照教學大綱的規定，本書完全是講述關於進行國家地形測量的問題，其中包括 IV 等導綫測量和 III 等水準測量。

地形測量本身是按照其現代的情況來研討的，也就是在研討時假設它應用航空測量的方法。

在測量高等工業學校裏，攝影測量學於第三學年開始學習，當佈置測量學的學習時需要注意到這個情況。這會使得在講解有關攝影測量的問題時發生困難。

因為測量高等工業學校的學生們在第二學年，特別是第二年的末尾，已經有了牢固的高等數學的知識，並且因為在第二學年可以讀完最小二乘法，所以我們可以將第二學年的測量學的教學建立在良好的數學基礎上，並且可以對於計算這個問題更有根據而作認真的研討，這些對於作為測量工程師來講是十分必要的。著者於編寫本書時已把這種情況考慮到了。

應該提到，這本書中所有的章節都是按照國家的需要以及我國地形測量工作的組織而寫成的，並且在講述測量學的理論與實踐時以我國的成就為基礎，根據這些成就可以認為，我國在測量學方面用自已的方法前進着，現今並已居最先進的地位。

當編寫本書地形測量各編時，考慮到各種工作的性質特殊，特別是當比例尺小時，著者曾抱定目的，利用選擇和解說適當的插圖方法，儘可能比較完全地說明個別困難的部份，特別是在描寫地形的問題上。這時並且需要指出，地物和地形的描繪，一方面和該地區的自然地理

方面的情况有關係，另一方面又與測量的比例尺有關係。

在插圖方面著者認為蘇聯的地形圖是最適當的，這樣可以使學生們研究插圖時，同時可以認識到我國各種地形的特點。

著者認為，這裏所引用的插圖可以幫助學生們更好地瞭解所研究的對象，並且使他們日後成為工程師時，能自覺地促使我國測量工作的改進。

當編寫這本書時，測量教研組中各位助教：M. A. 基爾什別爾格，B. Г. 雪立汗諾維奇和 Ф. М. 雅伍晒夫，曾在例題的計算上多方幫助，著者很應該對他們表示感謝。

著者認為必須說明本書評閱者所給予的幫助：別洛露西亞蘇維埃社會主義共和國（БССР）科學院通訊院士、工程科學博士 B. B. 波波夫教授和工程科學博士 H. A. 巴甫洛夫教授，他們提出了許多寶貴的意見。下述各位評閱者的意見對於著者也是同樣地寶貴的：工程科學博士 B. A. 巴利諾夫教授，工程科學博士 И. И. 希洛夫教授和 K. H. 斯米爾諾夫教授。

所有上述的評閱者，他們把勞力放在改善這本書的質量上，著者深為感謝。

現代的地形測量具有很複雜的性質。地形測量作業不但需要測量學的知識，並且需要攝影測量學和地貌學的知識。因為這個緣故著者認為徵詢各有關的專家們對於這本書的意見是很必要的

在攝影測量方面，曾經請莫斯科土地整理工程師學院攝影測量教研組主任 B. Ф. 傑涅考副教授審閱過本書的稿子；在地貌學方面，這稿曾經送請莫斯科測量航空測量製圖工程師學院地貌學教研組審閱過，是由副教授 B. B. 比奧特洛夫斯基及年長教師 B. H. 傑母雅諾夫副教授在該教研組主任地理科學博士 Г. Д. 利赫契爾教授領導之下審閱的。對於這些人的寶貴意見和指示著者同樣地應該表示感謝。

A. C. 契巴塔廖夫教授

第一分冊目錄

第一編 III 等水準測量

第一章 引言	1
§ 1. 全國性水準網系統	1
§ 2. 水準網的密度和精度	3
§ 3. 生產機關對於水準網的要求	5
第二章 構造複雜的水準儀	6
§ 4. 具有符合水準管的水準儀	6
§ 5. 水準儀的望遠鏡	8
§ 6. 內對光望遠鏡與克普勒望遠鏡的比較	9
§ 7. 水準管	14
§ 8. 具有符合水準管的水準儀之檢驗和校正	15
§ 9. 在望遠鏡內有氣泡像的水準儀	18
第三章 III等水準測量(外業部份)	21
§ 10. III等水準測量所用的儀器	21
§ 11. 水準儀的檢驗和研究	24
§ 12. 水準管的檢定	25
§ 13. 目鏡筒運動的研究	28
§ 14. 水準尺的檢驗和研究	33
§ 15. 水準測量作業	37
§ 16. 水準測量的誤差	42
§ 17. 生產機關建立控制水準網的工作	49
第四章 水準測量成果的整理	51
§ 18. 準備工作	51

§ 19. 單獨水準綫的平差	54
§ 20. 具有一個結點的水準網的平差	58
§ 21. 等權代替法	60
§ 22. 結點法	68
§ 23. 閉合差比較法和多邊形法	73
§ 24. 水準測量精度的判定	78

第二編 導綫測量

第一章 關於控制網的一般知識

§ 25. 控制網的用途及其種類	87
§ 26. 全國性三角測量概論	88
§ 27. 導綫測量的要點	90
§ 28. 導綫測量的等級及形式	94

第二章 IV等導綫測量 外業(概論部份)

§ 29. 一般的知識	95
§ 30. 基本的計算公式	96
§ 31. 如何減低角度誤差的影響	103
§ 32. 旁點	104
§ 33. 導綫網	105
§ 34. 製定計劃	106
§ 35. 踏勘、標誌的佈置	108
§ 36. 城市導綫測量的特點	110

第三章 直綫丈量

§ 37. 丈量直綫時應用的工具	112
§ 38. 豎直投影器	118
§ 39. 直綫丈量	121
§ 40. 沿着地面和用懸空尺丈量直綫時的誤差來源	124
§ 41. 沿着地面丈量時各種誤差的容許值	126

§ 42. 檢定 在方向綫內尺子的放置	129
§ 43. 反曲、垂曲和曲折	132
§ 44. 地勢傾斜	133
§ 45. 溫度	136
§ 46. 拉力、土壤摩擦	138
§ 47. 丈量本身的誤差	139
§ 48. 懸空的尺子	140
§ 49. 直綫丈量的校核和精度的判定	141

第四章 角度觀測 145

§ 50. 十秒的萬能經緯儀	145
§ 51. 玻璃度盤的經緯儀	149
§ 52. 構造更複雜的光學經緯儀	151
§ 53. 十秒萬能經緯儀的檢驗和研究	158
§ 54. 玻璃度盤經緯儀的檢驗和研究	163
§ 55. 角度觀測的誤差來源	165
§ 56. 目標偏心	168
§ 57. 儀器的對中	171
§ 58. 瞄準設備 三聯腳架辦法	174
§ 59. 儀器誤差	178
§ 60. 望遠鏡的視準誤差 望遠鏡旋轉軸的傾斜	185
§ 61. 儀器的穩定性	187
§ 62. 角度觀測本身的誤差	188
§ 63. 全圓測回法	189
§ 64. 複測法	198
§ 65. 角度觀測的精度	196

第五章 視距導綫測量 198

§ 66. 普通裝絲視距儀的缺點	198
§ 67. 他種形式的視距儀	201
§ 68. 視距常數的測定	217

§ 69. 視距儀誤差來源的分析	221
§ 70. 視距儀實驗研究的結果	236
§ 71. 視差導綫測量的要點	245
§ 72. 測距基綫導綫測量	248
§ 73. 視距基綫導綫測量工作的校核	251
第六章 導綫測量的連結工作	253
§ 74. 連結的意義及其類別	253
§ 75. 從三角點將坐標傳遞到地面上	254
§ 76. 有關於儀器對中誤差和目標偏心的計算	258
§ 77. 連結於遠處三角點的工作	260
§ 78. 二點問題	265
§ 79. 方向角的微分公式	266
§ 80. 多次前方交會	269
§ 81. 多次後方交會	278
§ 82. 前方交會的精度	287
§ 83. 後方交會的精度	289
§ 84. 導綫點高程的遞算	295
§ 85. 導綫測量工作的進展 所達到的精度	297
第七章 導綫連結到永久性的地物上與標石的尋找	298
§ 86. 連結於鄰近的物體上和遠處的物體上	298
§ 87. 導綫點的尋找	301
第八章 外業成果的整理 精度估算	303
§ 88. 野外手簿的檢查和整理	306
§ 89. 水平長度的計算	308
§ 90. 角度觀測成果的整理	311
§ 91. 簡單導綫條件方程式的推演	313
§ 92. 根據尚未改正的角度所計算的坐標增量的條件方程式	319
§ 93. 在角度預先改正過的情形下坐標增量的條件方程式	321

§ 94. 方向角、坐標增量和工作坐標的計算、繪製草圖	323
§ 95. 支導綫各測站位置的精度估算	325
§ 96. 當角度已預先調整時導綫終點位置的精度估算	334
§ 97. 導綫的縱向和橫向閉合差	339
§ 98. 縱向和橫向閉合差的平均值	341
§ 99. 曲折導綫的縱向和橫向閉合差	342
§ 100. 導綫曲折程度的標準	343
§ 101. 當有中間堅強方位角時的情形	347
§ 102. 根據各種閉合差來估算野外測量結果的精度	354
第九章 平差計算	358
§ 103. 概論 尋常的簡略平差方法的缺點	358
§ 104. 單個導綫的嚴格平差法	361
§ 105. 直伸導綫的嚴格平差法	371
§ 106. 應用現成的表來作直伸導綫的平差	377
§ 107. 長距離導綫的平差	381
§ 108. 計算出的各元素的精度之估算	383
§ 109. 導綫網	389
§ 110. 導綫網平差	393
§ 111. 用等權代替法作導綫網平差的例題	396
§ 112. 用逐漸趨近法作導綫網平差的例題	400
§ 113. 高程網的平差	403
§ 114. 視距導綫的平差	407
§ 115. 最後的工作	408

附錄 測量名詞對照表

測 量 學

第一編 III 等水準測量

第一章 引言

§ 1. 全國性水準網系統

在本書上卷 (§ 201) 內已經述說過水準測量的要義。在那裏指出了水準測量的應用是爲了詳細地研究地形，或者是爲了傳遞高程。關於高程的傳遞在研究 IV 等水準測量時已解釋過。

但是 IV 等水準測量路線被容許的長度不能大於 100 公里。

另一方面，爲着實際應用和科學的研究，在全國地域內必須要有全國性的控制網。這些網上各點的高程是由某個起點以足夠的精度來測定的。這樣的控制點必須用水準基點和水準標點標誌在地面上。

在蘇聯高度的計算是以科朗西他得驗潮儀的零點開始，而這個零點的位置是以波羅的海的平均海面爲依據的。

這裏將發生關於水準基點和水準標點密度的問題，關於求得水準高程的精度問題，以及關於由起始點傳遞高程進行次序的問題。

在像蘇聯這樣幅員廣闊的國家內，要合理地解決這些問題將有很大的困難。

1939年出版的“蘇聯全國性測量控制網基本規範”上規定了全國性 I, II, III, 和 IV 等水準網^①的作法。

① 現時在我國由於對全國性水準網的精度要求一直在提高；“基本規範”這個問題將需要作重大的修改。

I 等水準網一方面要以解決科學上一些精細的問題為目的，如確定各處海洋水面之間的高差，陸地歷年來的上昇和下降，和當地震時或在其他情況下地殼在豎直方向上的變化。另一方面 I 等水準網是作為其他各等水準網的基礎。

II 等水準綫要敷設成閉合多邊形網的形式，每個多邊形周圍 500—600 公里，多半是沿着鐵路綫、公路綫和其他已改善的交通綫，以及沿着較大河流而敷設的。II 等水準網是作為 III 等及 IV 等水準網的基礎，以及作為各種複雜的工程勘測設計和修建的基礎。當作水利工程的勘測時水準網有特殊的重要意義。

在 II 等水準多邊形內要敷設 III 等水準綫，把每個 II 等水準多邊形分成 6—9 部份。圖 1 介紹了這種水準綫的分佈情形，這是很多可能中間的二個分佈辦法。

繼續加密水準網是用敷設 IV 等水準綫的辦法來完成的。

III 等水準綫的容許長度可達 200 公里^①。

在難以通行的地區，那裏一般只是計劃作比例尺 1:100000 或更小的地形測量，可以不採用 II 等水準測量，而只敷設 III 等和 IV 等水準綫作為高程的控制，並且在這種情況下，出乎規範上的規定來延長水準綫的長度，是可以被允許的。

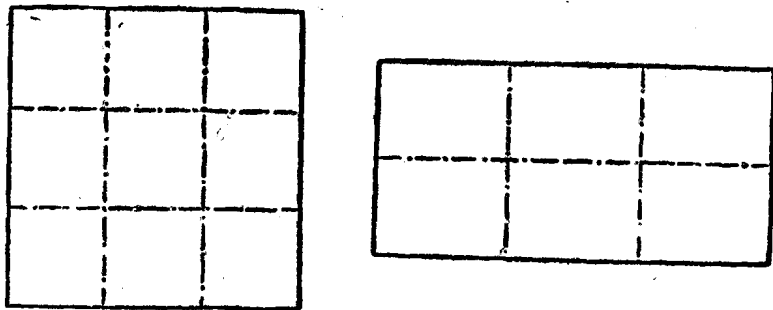


圖 1. 在 II 等水準綫內 III 等水準綫敷設略圖。

① 這裏所說的水準綫長度是指在此等水準標點或水準基點之間順着路綫的距離。

§ 2. 水準網的密度和精度

水準網的密度當然是應該依照全國性地形測量的需要來決定的。

按照“III 等和 IV 等水準測量及經緯儀高程導綫規範”(1946年測量出版局第二版),敷設 IV 等水準綫,在比例尺為 1:100000, 1:50000 和 1:25000 時,要使得在每一個梯形圖幅內至少有一個三角點的高程是用水準測量來確定的,而當比例尺為 1:10000 時,所有的三角點的高程都應該作水準測量來求得。

根據這個規範,III 等和 IV 等水準綫要用永久標誌固定在地面上,彼此間的距離不得多於 6 公里,而在人烟稀少的地區不得多於 10 公里。

至於說到水準路綫的精度,在《基本規範》上規定了每 1 公里內精度指數(以公厘計)為:

精 度 指 數	水 準 測 量 等 級			
	I	II	III	IV
均 方 誤 差	± 1.0	± 2.0	± 4.0	± 10.0
平均的系統誤差	± 0.2	± 0.4	± 0.8	± 2.0

假定容許的偶然誤差等於均方誤差的兩倍^①。

在這種情形下,對於二個相鄰的 IV 等水準基點,當其間距離為 R 時,則高程方面的容許誤差等於 $\pm 20\text{mm} \sqrt{R}$, 當式中 $R=10$ 公里時,則得 ± 6.3 公分。另一方面,當地形測量的比例尺為 1:10000 時,地圖上任何一點的高程誤差,對於最近的水準點而言,在平坦地區不應當超過等高綫間隔的 $\frac{1}{4}$, 亦即不應超過 0.5 公尺。

① 雖然理論上 $\Delta_{容} = 3m$, 但在現今蘇聯規範上,一般是將 $\Delta_{容} = 2m$ 當作法定的公式看待。

與理論不完全相符合是由於近於容許誤差的誤差是不常發生的。理論上量度時大於 $2m$ 的誤差,其發生的或然率大約是 $\frac{1}{20}$ 。

由此很明顯的，從全國地形測量的觀點來看，對於用水準測量建立地形測量水準點而使每個梯形圖幅內任何地方的相對高程具有規範所要求的精度，《基本規範》上所規定的水準測量的精度是完全够用的。

至於絕對高程精度，則稍有不同。位於起始點附近的水準點的高程有較高的精度，而位於遠離起始點的水準點的高程相反地將有較低的精度。

我們想像一條 I 等水準綫，由海參威大約沿着緯綫進行在經度 96° 處。設這條綫路的長度 L 大約是 4000 公里，則應用公式

$$\Delta h_{\text{容}} = \pm \sqrt{4L + 0.04L^2} \text{ 公厘,}$$

在這種情況下，求得： $\Delta h_{\text{容}} = \pm 0.81$ 公尺。

由此可見，用這種最精確的水準測量進行工作，由於累積，在最後的結果中：誤差可能在 1 公尺左右。誠然，爲了提高工作的精度，也爲了得到校核和消除在工作中可能發生的錯誤起見，我們不是敷設一條水準綫而是敷設互相連接的閉合多邊形所形成的網。但是一般的結論仍然是相同的^①。在求出大陸內部的水準點高程數值上，我們不可能保證精確到公分，而是在很多情況下到公分。

從地形圖精度的觀點來看，高程控制網內有這樣大小的誤差是不很重要的，而且對於這一類的形圖，例如比例尺爲 1:100000 的地形圖，這樣大小的誤差簡直是不能覺察出來。在一幅或幾幅地形圖的地區內，控制點的相對高程應具有較高的精度，這是很重要的，但是，假如按照《基本規範》上所擬定的水準網圖形和適當的工作方法來作時，這精度是可以保證達到的。

另外一件事情是解決像這樣的問題，例如關於諸海面之間高差的問題，關於大陸的上升或下降的問題，以及其他諸問題。假如在幾十年

① 假如在很長的綫路上系統誤差在整個綫路距離上不保持永遠相同分正負號，則 $\Delta h_{\text{容}}$ 的數值可以適當地減少。

中所進行的反覆水準測量成果中，鄂木斯克水準點的絕對高程變大了 2 公寸，我們也沒有充分的理由說這個地區內大陸的上昇引起了這個變化。

但是在本例的情況下，將由反覆水準測量所求得的許多點子間的高程變化，綜合地加以研究，就可能指示出若干方向來說明這些變化的根本原因。

在這件事情上，提高地面點相對高程的精度是有助於我們的。

§ 3. 生產機關對於水準網的要求

對於水準網精度的要求，不同的生產機關是很不相同的。在大多數的情況下，全國性四個等級的水準網是完全能夠滿足國民經濟和國防的要求的。但是有些問題對於高程的要求將特別仔細。屬於這種情況的首先是與水要關的勘測和修建。例如，當設計和修建伏爾豪夫河上攔河壩時必須要顧及到依爾綿湖湖岸是平坦的特性，因為當湖水升高 1 公分時將會引起淹沒若干平方公里的面積。

在這種情況下，為着確定各點相對高程的水準測量，進行時應當特別細心。為着解決這種有特殊重要意義的問題，IV 等甚至 III 等水準測量的精度也都是不夠的。

大比例尺測量，特別是在城市和工業地區內，對於水準網是提出了特別的要求。在這種情況下，也同樣規定了是要應用四個等級的水準網，並且進行工作的規範也是相同的，但是所規定的水準綫路的長度却完全不同。所以在城市內，在 I 等水準標點之間的 II 等水準綫路的長度超過 25 公里^①是不允許的。

在已建築的地區內，III 等水準綫路的長度不應該大於 2 公里，在未建築的地區內不應大於 3 公里。作其他地區的大比例尺測量時，III 等水準綫路的長度不應大於 10 公里，而 IV 等水準綫路不應大於 6 公

① 大比例尺 1:5000; 1:2000; 1:1000 測量規範，1938 年出版。

里。

在水準點高程的精度方面，用這種方法可以使水準點系統達到比較相當大的一致性。爲了設計和修建複雜的和很重要的建築物，而這些建築物完全要照顧到整個建築物地域時，這種一致性乃是非常重要的。下述的一些工程是屬於這一類的：下水道、自來水管、排水溝源、刮平地面的工作等等。

第二章 構造複雜的水準儀

§4. 具有符合水準管的水準儀

在 1909 年出現了構造特殊的水準儀，引起了專家們的特別注意。現今這種型式的水準儀已有很多改進，在各國均有製造。在蘇聯已經很好地掌握了製造具有符合水準管的精密水準儀。

我們來研究圖 2 所介紹的水準儀。圖 3 是表示這種儀器的剖面圖。

軸套可以在圓柱形豎軸上自由旋轉，與軸套固連在一起的儀器也同時旋轉。螺旋 P 可以防止儀器上部從軸上取下來。望遠鏡是被嵌在中空的圓柱筒內，可以繞圓

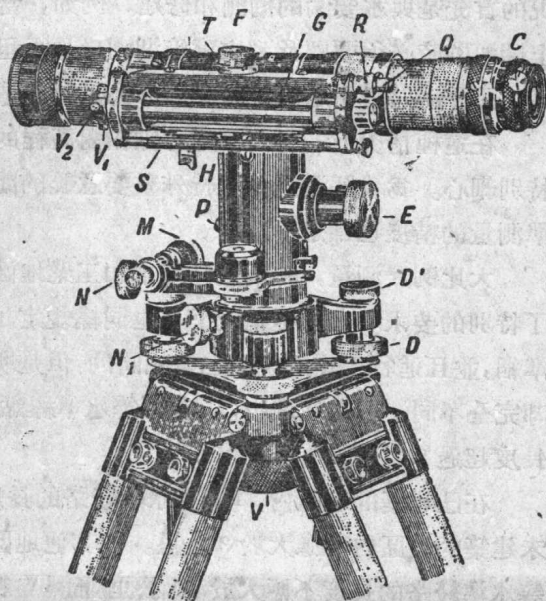


圖 2 具有符合水準管的水準儀。