

地形測量学

練天章 陈 鏡 譚树标 編
楊永元 楊君仁 陈联通

測繪出版社

地 形 測 量 学

練天章 陈 鏡 譚樹标 編
楊永元 楊君仁 陈联通

測 繪 出 版 社

1958 · 北 京

地 形 測 量 學

地 形 測 量 學

編 者 練天章 陈 鏡 譚树标

楊永元 楊若仁 陈联通

出版者 測 繪 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可證出字第081号

发 行 者 新 華 書 店

印刷者 輕工业出版社印刷厂

印數4301—6800冊

1958年5月北京第1版

開本31"×43"1/2

1959年7月第2次印刷

字數250,000

印張11 7/25 插頁5

定价(9) 1.25元

前 言

本書是根据測繪学院地形測量学教学大綱編寫的，共分九章；主要内容有經緯仪導綫測量，經緯仪交会法，四等水准測量及平板仪測量。編寫本書的目的，是使初學者了解最簡單的地形測量的理論与实践，使能根据細則规范進行工作。

本書曾在測繪学院經過几年試用及兩次修正，可作为測量技術基礎課的試用教材及中学技術学校、各訓練班等的地形測量学試用教材。講授66小时，課堂實習54小时，課外實驗40小时，約共需160小时。

本書初稿由練天章、陈銳、譚樹标、楊永元、楊君仁、陈联通等六同志編寫，并經練天章同志兩次修訂及校正。主要参考書籍有：（1）B. B. 維特柯夫斯基，地形測量学，1940年版，（2）П. И. 希洛夫，測量学，1953年版，（3）П. М. 奥尔洛夫，測量学教程，1953年版，（4）А. Ф. 夏維列夫，普通測量学。除此又参考了平板仪測量规范、航測綜合法、三四等水准測量规范和測量控制網擴展法等書。由于編者水平有限，本書中的缺点在所难免，希讀者不吝指正。

編者 1957年7月于北京

生：... 1952年...

目 錄

第一章 概述	9
§ 1. 地形测量学的对象	9
§ 2. 测量学發展簡史	9
§ 3. 地形测量在社会主义建設和保衛國防事業中的意义	11
§ 4. 地球的形狀和大小	12
§ 5. 地面点的地理座标和高程	14
§ 6. 平面圖	16
§ 7. 平面圖的比例尺	17
§ 8. 地圖的概念、平面圖与地圖的区別	23
§ 9. 地球曲率对于水平距离和高程的影响	24
§ 10. 测量的概念：平面测量、高程测量和地形测量	26
第二章 地面上長度丈量	28
§ 11. 地面上点和直綫的标志	28
§ 12. 直綫定綫	30
§ 13. 丈量的工具	31
§ 14. 标准尺、鋼尺的檢驗	33
§ 15. 用鋼尺丈量直綫	34
§ 16. 尺長改正	35
§ 17. 求直綫的水平長度	36
§ 18. 鋼尺丈量距离的精度及容許誤差	40
第三章 水平角測量	43
§ 19. 水平角测量的原理	43
§ 20. 經緯仪及其主要部分	44

§ 21. 度盤和照准部.....	48
§ 22. 游标.....	49
§ 23. 上盤偏心.....	52
§ 24. 放大鏡.....	54
§ 25. 測量望遠鏡.....	57
§ 26. 十字絲網.....	60
§ 27. 观测时望遠鏡的調節, 十字絲視差.....	61
§ 28. 望遠鏡的放大倍率及其他.....	62
§ 29. 照準精度.....	66
§ 30. 改進的望遠鏡.....	67
§ 31. 水准器.....	69
§ 32. 經緯儀的檢驗及校正.....	74
§ 33. 步盤儀及其應用.....	81
§ 34. 用經緯儀測量水平角.....	89
§ 35. 水平角測量的精度.....	94
第四章 經緯儀導綫測量.....	97
§ 36. 經緯儀導綫的種類.....	97
§ 37. 經緯儀導綫的外業工作.....	99
§ 38. 平面直角座標及座標方位角.....	104
§ 39. 經緯儀導綫計算及容許誤差.....	106
§ 40. 外業測量邊角錯誤的發現.....	110
第五章 經緯儀交会.....	113
§ 41. 前方交会.....	113
§ 42. 后方交会.....	116
§ 43. 側方交会.....	118
第六章 幾何水准測量.....	120
§ 44. 概述.....	120
§ 45. 水准標石和水准標志.....	124

§ 46. 水准标尺.....	127
§ 47. 水准仪.....	129
§ 48. 水准仪的檢驗及校正.....	132
§ 49. 四等水准測量实施.....	138
第七章 圖幅編号, 高斯六度分帶投影, 直綫定向	146
§ 50. 圖幅編号.....	146
§ 51. 高斯六度分帶投影.....	150
§ 52. 高斯——克呂格座标.....	153
§ 53. 直綫定向.....	156
第八章 平板和照准仪	164
§ 54. 概述.....	164
§ 55. 平板及其附件.....	164
§ 56. 苏联 KB 照准仪.....	169
§ 57. 平板及其附件的檢驗与校正.....	170
§ 58. 照准仪的檢驗与校正.....	171
§ 59. 測圖板整置的順序, 直綫、角度的描繪和磁偏角之測定.....	174
§ 60. 平板和照准仪所引起的方向誤差.....	175
§ 61. 交会法.....	178
§ 62. 垂直角測量.....	187
§ 63. 高差之計算公式.....	189
§ 64. 高差的精度及容許誤差.....	195
§ 65. 視距測量及平坦地之視距公式.....	196
§ 66. 視距常数的測定.....	200
§ 67. 傾斜地用視距求水平距离和高差的公式.....	202
§ 68. 公式之解算.....	204
§ 69. 常角視距仪的精度.....	214
第九章 平板仪測量	217
§ 70. 概說.....	217

§ 71. 展点.....	219
§ 72. 擴展圖解網.....	228
§ 73. 圖解網点高程的決定.....	233
§ 74. 平板儀導錢.....	240
§ 75. 碎部測量.....	244
§ 76. 地貌.....	248
§ 77. 关于測繪等高錢的問題.....	256
§ 78. 用其他方法表示地貌的概念.....	261

附錄

附錄 1 尺度改正.....	264
附錄 2 用罗盤經緯儀及量距器敷設導錢.....	265
附錄 3 四等水准測量誤差的界限.....	269
附錄 4 李曼法的討論.....	270
附錄 5 威特照准儀.....	272
附錄 6 捷克照准儀.....	276
附錄 7 苏联 KBI 圖解自動速測照准儀.....	278

地形測量學

第一章 概 述

§ 1. 地形測量學的对象

地形測量學是詳細地研究大地表面的幾何形狀，並將此幾何形狀怎樣描繪於平面圖紙上的方法，它只是研究地球陸地外貌的科學；至于海洋江湖有關的問題及其底面的情形，則屬於水文測量學的对象。由于大陸非常廣闊，研究時必須分部，分部的研究又必須了解地球的整個情況，這個地球整個情況即其形狀和大小的問題，則將在大地測量學中來研究。

地形測量工作，是利用特制的、規定的儀器和工具來進行的。要能正確地使用儀器，就要求了解它們的構造和性能，並且要求能檢查和校正它們的缺點，時同還要視各種地形測量的工作以及工作所要求的精度而選擇採用各種不同的儀器和工具。

地形測量的各種動作，無論在野外或在室內都可能遭受到不可避免的誤差，所以在地形測量學中還要研究如何消除和減少儀器或在動作中發生誤差影響的方法，以及由各種測量總合中得出來可靠的成果。

§ 2. 測量學發展簡史

測量學的發展是與國家人民的經濟和生活以及自然科學的發展都有着密切的聯繫，因此要概括地來看各國及我們自己的測量歷史過程。茲擇要簡述如次：

埃及 远在公元前 40 世紀，由于尼罗河洪水泛滥的治理，推动了工程技术，为每年被洪水消灭了的界限来進行恢复工作。这样，土地测量与几何学，在当时已成为技术和理論上的重要课题。

希臘 繼埃及之后，希臘人在測量方面的功績，約在公元前六世紀，創立了把大地当作球形的假定，和編制第一幅地理圖及天球仪，并用圓周測量角度。

公元前二世紀，对地球大小作开始的确定，編著了提供作为測量规范的第一本測地学，用天文方法測定緯度，和用細孔瞄准。

羅馬 繼希臘人之后，羅馬人为了把土地划分給居民，他們的測量多为設置边界、道路、城市等重要的測定工作，約公元四世紀就已制定过羊皮紙行軍路線圖，但圖上沒有比例尺。

五世紀以后的欧洲，約十二世紀航海罗盤仪經阿拉伯人傳到欧洲，至 15 世紀哥倫布發現美洲，公認地球为圓球形，以及 17 世紀自然科学的發展，望遠鏡、鐘表的出現，特別对測量方法的改進，及解析几何、球面三角、对数的發明，始給測量工作奠定了一个穩固的基礎，在这几个世紀里測量所作的貢獻比前人所作的工作要多得多，如法國在 1730—1780 第一次進行了全國地形測量，進入 20 世紀，欧洲大致都有了較精确的地圖，用來作为國家管理，但就整个复雜地球的認識來講，則又是一个新紀元的开端，在这个新世紀里，苏联在很短期內，有着卓越的成就。

苏联 远在 16 世紀已开始編繪了俄國第一張地圖，偉大的十月社会主义革命勝利以后測繪事業獲得了很大的發展，苏維埃政府頒布了列宁親自簽署的指令，統一所有基本測量工作，設立总領導，执行編圖工作，擴展制圖事業，出版測量書刊，建立中央航空測量 and 制圖科学研究院，兩次公布了地球橢圓体的元素。到現在为止，大部地区已完成了各种測量工作，并已有了精确而詳細的地圖。

中國 自殷周時已設置專門官吏管理圖籍。更溯源于前有夏禹（約公元前 23 世紀）治水，用准繩規矩之說，實即量測計劃之意。至后漢（約公元二世紀初）張衡造渾天仪为天文觀測史上留下光輝的痕迹。至晋代（公元三世紀）裴秀擬編“制圖六体”为小比例尺地圖。

工作的規範，是世界史上最早的制圖綱領。又劉徽著重差術，總結了立杆的九個典型，用來測量山高水深以及河澗城垣的長寬，此為世界上早期地形測量范例。

至唐代（公元八世紀）在河南一帶用水准繩墨測距離及開封等地的緯度，得緯至每度弧長為 351 里 80 步，為世界上第一次子午綫測量，此外在古代中國已有利用磁石制成的世界最早的指南工具，是為后代測量定向的開端，至 11 世紀有指南針四種裝置的方法。更有元代（公元 13 世紀）郭守敬發起測量全國緯度的計劃，迄清康熙（18 世紀初）測全國各省重要市鎮的經度，到清末成皇輿全圖。隨着清朝的統治被推翻，全國各省設測量局，雖然各地在不同情況下，編纂或實測過部分地圖，但大部質量過低，數量很少，遠不能滿足國防與建設的需要。

偉大的中華人民共和國成立以後，由於社會主義建設的展開，測繪事業獲得了很快的發展，培養了大批測繪專業人員。並在蘇聯政府及專家積極的幫助和指導下，大量的測繪科學書籍、作業細則及規範已陸續翻印出版，全國性大規模的測量工作正在展開，並初步獲得了成績。偉大而艱巨的祖國測繪事業，需要我們用堅定的信心及辛勤的勞動來完成。

§ 3. 地形測量在社會主義建設和保衛國防事業中的意義

一、經濟建設方面

向社會主義邁進的祖國，正在積極布置着各項經濟計劃，對於天然資源的開發、建設工程的勘測和一切設施的依據，必須具有提供正確資料的地形圖，才能保證獲得嚴格的科學基礎的建設計劃。例如鐵路、公路、運河、水庫的開鑿，要在地上選擇具有高度的運輸能力，有足夠動力的地區，以及有關橋梁碼頭隧道適宜位置的決定，在社會主義農業規劃中播種面積選擇，收割計劃，拖拉機站布置，以及解決城市建築的施工，衛生工程的給水排水，燃料的供給和交通運輸水利灌溉等等。這些問題都需要有可靠的地形圖作為設計的依據。

二、國防軍事方面

精確完整的地形圖，在國防事業中是很重要的。在戰場上最重要的是要知道該地區可以通行和不可通行的程度，即山河源谷的分布情況，不僅就山脈森林而言有重大意義，就是一些微小山坡的起伏也能隱藏敵人的視線及避免敵人的射擊。指導員要根據地形圖作戰略技術上的布署，充分利用道路網通行程度，森林河谷分布情形，來避免敵人的射擊和決定部隊的行動。參謀人員要根據地圖作有關宿營陣地，及各兵種配備的設定。炮兵要根據地圖選擇制高點和觀測所及射擊陣地。航空部隊坦克手根據地圖作自己的路線的計劃，以及降落場攻擊點的選擇。軍事工程師要根據地形圖草擬堅固的或臨時的防禦工事計劃。醫務人員要根據地形圖作野戰醫院綑帶所和救護站的選擇。

此外如海防要塞、灘頭陣地、橋頭堡壘、空軍基地等的選擇，以及戰場上對各兵種組成活動的整體都是很必需的。總而言之，如果對地形沒有研究，那怕是最英明的指導員，也可能徒勞無益，甚至引向遭受滅亡的後果。由此很清楚地看到地形圖在戰略技術中取得必然勝利的地形保證的重要性。

現在我們國家雖然大力從事和平建設，但帝國主義者仍時刻不忘侵犯我國領土，百倍警惕巩固國防尤其必要，這樣為完成我國精密完整的地形圖，提出了艱巨而光榮偉大的任務。

§ 4. 地球的形狀和大小

在§ 1已指出，研究地形測量學須了解地球的整個情況，也就是說，須具有大地測量學的知識；但因地形測量所採用的方法和儀器比大地測量所採用的方法和儀器簡單，所以通常都先研究地形測量學。在着手研究地形測量的人，僅須知道大地測量的最後結論——我們居住的地球整個是一個沿着它的短軸旋轉的橢圓球體就夠了。這個橢圓球體很接近於圓球，它的半徑約等於6370公里。地球總的形狀，在大洋和開闊的海面上，除開了大陸和島嶼的所有碎貌，就表現得非常明顯。

牛頓(1642—1727)証實了地球是橢球體或旋轉橢圓體。這個結論的正確性，在十八世紀中葉(1735—1745)時，巴黎研究院派三個測量隊，一赴南美秘魯鄰近赤道之處，一赴北歐芬蘭距北極甚近之處，一在法國巴黎附近作子午弧的弧度測量，得到在近北極子午弧每度弧長為57438突阿斯(法國舊長度單位約合1949公尺)，在法國子午弧每度弧長57012突阿斯，近赤道子午弧每度弧長為56753突阿斯，這結果也是子午弧長北大於南，証實地球為一橢球體。

橢球體的大小，通常是由它的兩個半軸 a 和 b (圖1)或由一個半軸 a 和扁率 α 來決定的($\alpha = \frac{a-b}{a}$)，這些就稱為地球橢圓體的元素。

在各個時期從各種弧度測量中，許多科學家都得出了橢球體大小的元素，下表是其中的一部分。

以德蘭布爾元素為根據，在法國製造了第一個公尺原器。

白塞爾元素為蘇聯過去所採用，有很多詳細的各種不同的測量和

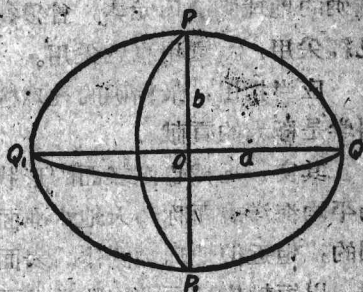


圖 1

測量者	以公尺計		$\frac{a-b}{a}$	年代和國家	
	a	b			
德蘭布爾	6375653	6356564	1:834	1800	法國
白塞爾	6377397	6356079	1:399.2	1841	德國
克拉克	6378249	6356515	1:293.5	1880	英國
海福特	6378388	6356909	—	1909	美國
國際的	6378388	—	1:297.0	—	—
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1:298.3	1940	蘇聯

制圖的用表，都以它為依據。

1. 克拉克元素在很長時期內被認為是最好的，在維特柯夫斯基的“實用測量學”和“制圖學”這兩種著作中的用表都以它為依據。

2. 海福特元素在1924年於馬德里代表大會上，大地測量及地球物理學會中選定為“國際參考橢圓體”，我國過去也曾經採用。

克拉斯夫斯基元素，是在最先進的科學測量工作基礎上求得的最精確的地球橢圓體元素，曾獲得斯大林獎金的榮譽。蘇聯在1946年後已經採用，我國現也已採用。

應當指出，最精確的地球橢圓體元素的測定，對於全世界的測量科學是極大的貢獻。

其實，地球自然表面的形狀（真貌）不是規則的幾何形體。靜止的平均海洋表面稱為大地水準面，因受重力的影響也是極其複雜不規則的，但近似地球橢圓體的表面。以地球橢圓體元素 a 及 b 構成的橢圓，以短軸旋轉而成的數學表面稱為大地參考面。大地水準面不與大地參考面相合，有時在它的表面之上，有時低於參考面，但最大相隔不超過150公尺。至於自然表面與大地水準面的差異，最高的喜馬拉雅山的珠穆朗瑪峰高出海面八千八百四十公尺，最低的涅洛海溝（在菲律賓群島以東關島以南）低於海面一萬零八百九十九公尺，最高與最低相差約兩萬公尺，和地球長短半軸之差近似；與地球長半軸之比，為 $\frac{1}{300}$ （扁率 $\frac{a-b}{a}$ ）。如制成 $a=300$ 公厘的地球儀，長短半軸之差只不過1公厘，其起伏不平或不圓的程度，尚不如一個橘子的皺皮。因此在地形測量學里，常略去大地水準面與參考面的差別，甚至將地球視為球體而以其三半軸的平均數 $\frac{1}{3}(a+a+b)$ 即6371.118公尺（用克拉斯夫斯基元素）或更取其概值以6370公里為平均地球半徑。

§ 5. 地面點的地理座標和高程

前面講過地球形狀接近於橢圓體。地球的扁率是由於它繞着短軸自轉所產生的，自轉的方向是由西向東，自轉軸在地球表面的終點稱

为极，以右手四指顺着地球自转的方向，则大拇指所指的一端称为北极，另一端称为南极。

垂直于地球自转轴并通过地球中心的平面 EQ 称为地球赤道平面。它与地球椭圆体表面的交线称为赤道。地球表面上每一点在旋转时画出的圆周，称为纬圈。纬圈也可由平行于赤道的平面与地球的交线获得，故又称平行圈。赤道是最大的纬圈，它离开两极的距离相等。

过地面任意点 M 及两极的平面，称为真子午面或地理子午面，它与地球椭圆体的交线，称为该点的真子午线或地理子午线，也称经圈或经线。

通过地面点 M 和它重力方向相重合的直线 MC ，称为垂直线或铅垂线，过铅垂线的平面为垂直面。假设视地球为一个均匀的物体所组成的球体，则所有铅垂线都应通过地球中心。

地面点的地理坐标 过地面点 M 的铅垂线与赤道面交角 φ ，称为 M 点的纬度，其值是从赤道面起算的，由 0° 到 $\pm 90^\circ$ ，向北为正称北纬，向南为负称南纬。又过 M 点的子午面与经过伦敦格林威治天文台的子午面（为起始子午面）所成之二面角 λ ，称为 M 点的经度，其值由起始子午线向东和向西计算，由 0° 到 $\pm 180^\circ$ ，向东为正称东经，向南为负称西经（图2）。

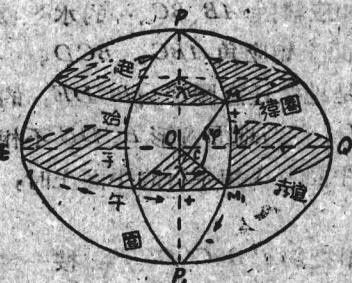


图 2

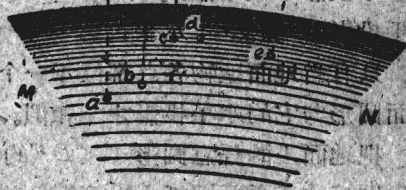


图 3

地面点的高程 地面点到大地水准面的垂直距离称为点之高程。如图3， $A, B, C, \dots$ 为地面点， MN 为大地水准面， $h_A, h_B, \dots$ 为

过 $A, B, \dots$ 的铅垂线, $a, b, \dots$ 为 $A, B, \dots$ 在大地水准面上的投影, 则 $Aa = H_1$, $Bb = H_2, \dots$ 为 $A, B, \dots$ 的高程。高程在铅垂线上量度, 从大地水准面起算的称为绝对高程 (或真高, 或海拔)。如果是从任意一个水准面起算则称为相对高程 (或标高)。真高绝大部分都是正的, 因此通常不加 “+” 号。只有在新疆吐鲁番盆地或是独立的矿井底部等极少的特殊地区, 真高可能为负值, 才用 “-” 号示之。

依上述知由地理坐标及高程可以完全确定一点的位置。

嚴格言之, 經 (緯) 度有天文經 (緯) 度与大地經 (緯) 度两种。天文經 (緯) 度以铅垂线为准, 以 (λ, φ) 表之; 大地經 (緯) 度以法线为准, 以 (L, B) 表之 (即地理坐标包括天文与大地两种)。参考面的法线除赤道和两极外, 一般不经过椭圆体中心。

§ 6. 平面图

假如描繪的地区与地球的大小比較起來不大, 擴展的長度小于 20 公里, 我們可以把与地区相适应的理想的水准面 MN (參看圖 3) 的一部分視為一个平面 (地区中心的切平面或水平面), 把地面上的物体投影到水平面 MN 上 (圖 4a)。如果把地面上的点 $ABCDE$ 用铅垂线投影到該平面上, 各垂线的垂足 $A'B'C'D'E'$ 是 $ABCDE$ 各点的水平投影, 綫段 $A'B', B'C', \dots$ 为地面上相应綫段 $AB, BC, \dots$ 的水平投影, 而角 $A'B'C', B'C'D', \dots$ 为地面上相应角 $ABC, BCD, \dots$ 的水平投影, 平面圖形 $A'B'C'D'E'$ 是地面任意圖形 $ABCDE$ 的水平投影。顯然, 水平投影 $A'B'C'D'E'$ 与地面圖形 $BCDE$ 不相似。只有当地面地物各点都位于一个与平面 MN 相平行的平面上时, 地面圖形与它的水平投影才能相似。

把地面上的任意圖形 $ABCDE$ 的水平投影 $A'B'C'D'E'$, 按一定的比例縮繪于平面圖紙上得到縮小的圖形 $abcde$ (圖 4b) 使

$$\frac{ab}{A'B'} = \frac{bc}{B'C'} = \frac{cd}{C'D'} = \frac{de}{D'E'} = \frac{ea}{E'A'}$$

且各相应角度相等。表示地面地物縮小的水平投影的相似圖形叫做平