



大地測量學

上 冊

(中等技術科講義)



中國人民解放軍測繪學院編印

大地測量學

上册

(中等技術科講義)

中國人民解放軍測繪學院編印

一九五五年九月於北京

前 言

- 一、本書係根據天文大地測量系中等科大地測量學教學大綱編寫而成，作為天文大地系中等科教材之用。
- 二、本書分上下兩冊，上冊內容包括緒論，測角儀器，三角測量，高程測量，基線測量及水準測量；下冊為導線測量，旋轉橢圓體的數學性質及三角網的計算。
- 三、本書的編寫過程是在學習蘇聯先進測繪科學和技術經驗的情況下進行的，主要參考資料有：
 - 1) 克拉索夫斯基 } 大地測量學上卷第一分冊
達尼洛夫 }
 - 2) 查卡托夫 高等測量學教程第八及第十一章
 - 3) 達尼洛夫 精密導線測量第七章
 - 4) 契巴塔廖夫 測量學第二編
 - 5) 格拉西莫夫 二、三、四等三角測量計算手冊
 - 6) 拉賓諾維奇 大地控制網的建立原理上冊
 - 7) 二、三、四等三角測量細則二等水準測量細則及一、二等基線測量細則。
- 四、本書由蔣滌源、彭銘槐、高維揚、劉魁中、胡元煦、劉震球等同志分別執筆，並由蔣滌源同志統一整理，經教研室及系主任審查訂正。
- 五、由於需要迫切，時間倉促，加之編者水平有限，書中錯誤之處難免，希望使用和參考本書的同志們給予批評指正，以便將來修正。

測繪學院大地測量教研室

一九五五年 月 日

上 冊 目 錄

第一章 緒 論

§(1.1) 大地測量學的任務	
及其在國民經濟建設和國防建設中的重要性	(1)
§(1.2) 參考橢圓體，點的座標	(4)
§(1.3) 大地測量發展簡史	(6)
§(1.4) 大地測量學研究的範圍	(11)

第二章 大地控制網概說

§(2.1) 三角測量的目的、基本方法及等級	(13)
§(2.2) 三角網的基本圖形及其分佈	(15)
§(2.3) 我國大地控制網的基本原則	(16)

第三章 三角網的選定

§(3.1) 選點概述	(22)
§(3.2) 圖形的權倒數	(22)
§(3.3) 三角點通視之計算	(25)
§(3.4) 選點作業的實施	(32)

第四章 三角點的覘標及標石

§(4.1) 大地覘標的作用	(35)
§(4.2) 覘標的類型和結構	(35)

§ (4.3) 建造規標的要求	(38)
§ (4.4) 建造規標的準備工作	(39)
§ (4.5) 建造規標	(43)
§ (4.6) 標石的作用及其類型	(44)
§ (4.7) 埋石的要求及步驟	(47)
§ (4.8) 規標之驗收和託管	(48)

第五章 經緯儀

§ (5.1) 經緯儀概說	(49)
§ (5.2) 度盤的讀定法	(52)
§ (5.3) 螺旋顯微測微法	(53)
§ (5.4) 光學測微法	(58)
§ (5.5) 各型經緯儀	(63)

第六章 經緯儀的誤差及檢驗

§ (6.1) 三軸誤差影響概念及其檢驗	(66)
§ (6.2) 度盤刻劃誤差	(69)
§ (6.3) 度盤偏心誤差	(69)
§ (6.4) 光學測微器精度的檢定	(73)
§ (6.5) 光學測微器行差的檢定	(75)
§ (6.6) 螺旋測微器行差的檢定	(76)
§ (6.7) 螺旋測微器效用正確性檢驗	(79)

第七章 水平角觀測

§ (7.1) 回照器與回光燈	(82)
§ (7.2) 觀測的方法	(83)
§ (7.3) 方位點的觀測及距離的量取	(93)
§ (7.4) 水平角觀測的實施	(94)
§ (7.5) 水平角觀測的誤差	(95)

第八章 水平角觀測結果整理

§ (8.1) 手簿檢查.....	(98)
§ (8.2) 三角系的角邊檢驗及測角中誤差.....	(100)
§ (8.3) 方向觀測值的測站平差.....	(103)
§ (8.4) 歸心原素的測定與計算.....	(105)

第九章 間接高程測量

§ (9.1) 概說	(111)
§ (9.2) 天頂距觀測的方法.....	(111)
§ (9.3) 指標差及天頂距(或垂直角)的計算.....	(113)
§ (9.4) 高差計算.....	(118)
§ (9.5) 高程平差和精度估計.....	(120)
§ (9.6) 三角高程測量計算例.....	(123)

第十章 基線測量

§ (10.1) 基線測量概說.....	(128)
§ (10.2) 基線及基線網.....	(128)
§ (10.3) 基線尺.....	(132)
§ (10.4) 基線尺的檢定及野外比較.....	(138)
§ (10.5) 基線測量作業.....	(145)
§ (10.6) 基線長度計算.....	(163)
§ (10.7) 基線測量精度之估計.....	(170)
§ (10.8) 基線計算之實施.....	(174)

第十一章 水準測量

§ (11.1) 水準測量的概念.....	(184)
§ (11.2) 水準路線的佈置及選擇.....	(188)

§ (11.3) 水準標石的種類及其埋設方法.....	(189)
§ (11.4) 水準儀.....	(197)
§ (11.5) 水準儀的檢點改正.....	(206)
§ (11.6) 水準儀的一些檢驗.....	(210)
§ (11.7) 水準標尺.....	(220)
§ (11.8) 影響水準測量精度的因素.....	(228)
§ (11.9) 水準觀測的實施.....	(234)
§ (11.10) 正高改正	(241)
§ (11.11) 水準測量的偶然誤差和系統誤差	(244)
§ (11.12) 水準測量計算	(247)
§ (11.13) 驗潮概況	(250)

第一章 緒 論

§(1.1)大地測量學的任務及其在國民經濟 建設和國防建設中的重要性

(一) 大地測量學與普通測量學

測量學具有悠久的歷史，早在紀元前二千多年它已開始爲人類服務，主要的是土地丈量，因此，人們對於測量學這一名詞是很熟悉的，而對於大地測量學這一名詞，則比較生疏些。其實大地測量學只不過是測量學的一個分枝，因爲測量學已分爲大地測量學與普通測量學。

大地測量學是研究整個地球的形狀和大小以及地球表面大區域的形狀和大小的科學，而普通測量學則爲研究較小地區的情況的，這是由於測量學對人類生活的作用日益重要，研究日益深入，工作日益複雜，有加以區別研究的必要的緣故，顯然，它們仍是密切聯系着的。

(二) 第一個任務——技術的任務

大地測量學的研究對象既如上述，因此確定了它的兩個重大任務：第一個任務——技術的任務，就是在地面上精密的決定一系列點的位置以作爲大區域測繪地圖的基礎，也就是說，大區域地圖測繪的工作必須從大地測量開始，爲什麼要這樣呢？第一是顧慮了地球的彎曲差，地球近似一個旋轉橢圓體，它的長短半徑都很大，所

以在小塊面積上把牠當作平面進行測圖是可以的；但面積大了就應該看成曲面，曲面是不能展平的，展平會裂口，會變形；而我們是把地圖測繪在一張一張的平面紙上，因此不能互相拼接，從大地測量開始，預先精密決定一些點的位置，再把這些點依照一定的方法保持適當的精度描寫到平面上，根據這些點進行測圖，就可以互相啣接。第二是控制了測量上的誤差，測量上的誤差是難免的，這些誤差在大面積的測圖過程中會逐漸傳遞和累積起來，使距離方向，面積等發生大的誤差，分裂重疊，矛盾百出，依大地測量方法，預作高精度的控制點，就能使誤差控制在一定範圍內不致累積，保持地圖的精度。第三是解決了大規模展開測圖的工作：在一個廣大的領土內，要最大限度地發展國防經濟建設，要求全面的展開測圖工作，假如不把控制點納入一個統一的座標系統是不可能的，依大地測量方法，可以在全國範圍內構成一個統一的高精度的座標系統，無論從那方面進行測繪工作，都能互相聯系，互無矛盾，並能達到需要的精度。

（三）第二個任務——科學的任務

第二個任務是決定地球的形狀和大小。這個任務的重要性是：第一，它和第一個任務密切的關聯着：要精密決定一系列點的位置必須知道地球的形狀和大小，才能以數理的方法進行點位的推算並把它描寫到平面上去；但要決定地球的形狀和大小一定要測算出一些地面上點的位置。第二：我們是棲息在地球上，它的形狀大小以及構造等和我們的生活有着密切的關係，我們必須要研究它。在決定地球形狀大小的任務中，它提供了許多有價值的科學資料，特別是與地質學地球物理學有密切的關係，大地測量在地面上進行測量，測量結果當然受到地面下物質分佈的影響，我們從大地測量成果的精細的整理中，就能提出有關地球內部構造的資料，例如由重力測量天文大地測量的結果，提供了地殼均衡的學說，由於重複的精密大地測量，可以確定地球表面上的各種位移，提供地殼變動的資

料。

(四) 大地測量學在經濟和國防建設上的重要性

大地測量工作能使我們獲得廣大區域的精細地圖以及科學上的重要資料，既如上所述，因此它在經濟和國防建設上具有重大的意義。

作任何一種經濟上和技術上的計劃時，首先要根據詳細而精密的地圖，例如鐵路，公路，水利的修建，通過勘測工作才可以獲得路綫，橋樑，碼頭以及其他建築物最適合的位置，而勘測首先要有詳細的地圖，修建工廠，發電廠，谷倉與其他工程建築物時，應當找出它們在地面上適宜的位置，以便最適當地解決給水，燃料與材料的輸入，製成品的輸出，此外城市，國營農場等等建築以及地下資源的勘查，均需要詳細的地圖。

在國防上地圖更是重要，指揮全軍作戰，統帥部必須要有正確詳細的地圖，每個小的作戰單位的指揮員，首先必須瞭解地區的情況，作戰時兵種的使用，主要地是根據於地區的特點，最好以地形圖來作決定，此外軍隊調動時各支隊的進行路綫，軍隊駐紮的地點，指揮所和野戰醫院的位置等等，也最好根據地形圖來決定。地圖可以說是工程師和統帥部的眼睛。

從1919年三月列寧簽署的關於組織最高測量局的指令中，我們更可以看出大地測量對社會主義建設與國防建設的重大意義：

(1) “爲了在地形方面研究國家的領土，爲了提高和發展生產力，爲了節省技術力量，資金和時間，在國民經濟最高蘇維埃科學技術處成立最高測量局”。

(2) “爲了實現上述目的，最高測量局應作的主要工作，就是在全國範圍內進行基本的測量工作（三角測量，天文測量，水準測量）……。”

我國地大物博，目前正在進行大規模的國民經濟建設，在帝國主義尚存在的今日，我們同時還要建設我們的國防，因此大地測量

的展開是非常急需並且具有重大意義的。

§(1.2)參考橢圓體，點的座標

(一) 自然的地形表面

地形由於自轉而產生離心力，必然會成為兩極扁平的旋轉橢圓體。但地球表面起伏很大，最高的珠穆郎瑪山峰達8800公尺，最深的思登深淵達二萬公尺，其間高差近三萬公尺，約為地球半徑的千分之五；陸地的平均高度約為七百公尺，海的平均深度約三千公尺，其間相差約3700公尺，約為地球半徑的千分之0.6，即使把地球半徑縮小到一公尺，前者仍有五公厘之差，後者仍有0.6公厘之差，因此地球的自然表面是粗略的近似於旋轉橢圓體面。

(二) 大地水準面

液體的靜止表面，即其上任何一點的法綫與鉛垂綫方向（即重力方向）相會合的面，叫做水準面或水平面，我們可以作出無窮的水準面，假設海洋面為完全靜止，那麼它就是一個水準面，再把這個面向大陸延續，使其上任何位置的鉛垂綫方向與該面相交成直角，我們就得一個連續不斷的，無邊的，閉合的水準面，這個面叫作大地水準面，大地水準面最近似旋轉橢圓面，嚴格點說更近似三軸橢圓體面，即不但面極扁平，其赤道亦非圓形，而為扁率甚小之橢圓，大地測量學就是把這個面作為地球形狀大小來測定的，因此它是測量的基本水準面，地面上的一切點，均應依其鉛垂綫方向投影到這個面上來進行計算。

(三) 參考橢圓體

大地水準面雖極近似一個旋轉橢圓體面，但由於地球內部物質分佈不均，表面地形之起伏，常使重力方向發生局部變化，那麼到處和重力方向成垂直的大地水準面，也就隨之而有起伏，不是一個

有規則的面，我們在這個面上進行點位的推算，是異常複雜而困難的，因此放棄在這個面上進行計算，我們採用一個旋轉橢圓體面來代替大地水準面，叫做參考橢圓體，它的大小應當根據科學研究的結果，並適當的標定其位置，使其與該區大地水準面極其近似。實際上地面上所有的點，均依法綫方向投影至參考橢圓面上進行計算，根據計算後的成果，再來修正這個參考橢圓體的長半徑和扁率，這就是地球形狀大小的測定，我們不採用三軸橢圓體，是因為在這個面上計算，要增加很多的困難，根據每一測區的材料算出的參考橢圓體，對這個測區的大地水準面是能有很好的密合的，但對其他區域則可能有較大的差異，因之要求出一個有價值的地球橢圓體，應該根據多數國家的材料來進行推算。

(四) 點的座標

點在參考橢圓面上的座標系統有好幾種，BL系——即大地經緯度是常用的座標。

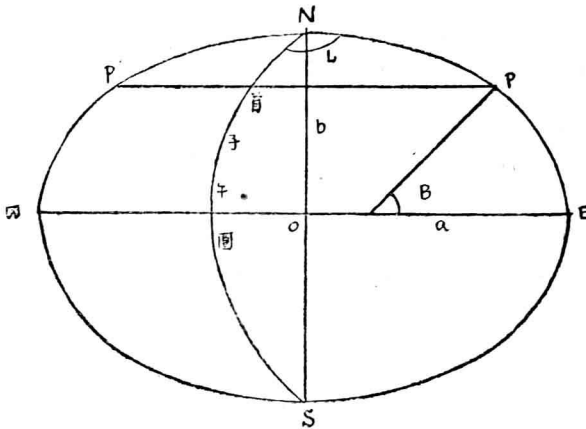


圖1-1

旋轉橢圓體之旋轉軸，稱爲極軸，極軸兩端爲南、北極，以含極軸之平面割橢圓體得子午圈，圖中NESW爲過P點的子午圈，通過英國格林威爾天文台子午儀中心之子午圈，稱爲首子午圈，某點的子午面與首子午面的交角稱爲某點的經度，在格林威爾之東者爲東經，西者爲西經，以垂直於極軸之平面割橢圓體得平行圈，平行圈之過地心O者爲赤道圈，某點的法綫與赤道面之交角稱爲該點的緯度，在赤道以北者爲正，在南者爲負，因某點的法綫在它的子午面上，故即爲該法綫與長半徑的交角，如圖中的B，由天文測得經緯度與大地經緯度是稍有差別的。大地水準面，參考橢圓體，大地經緯度與天文經緯度的差別以及其他座標系，在以後還要補充說明的。

§(1.3) 大地測量發展簡史

(一) 地球的球形說及其第一個測定者

大地測量具有悠久的歷史，遠在紀元前六世紀，畢達哥拉斯首倡地圓之說。其後兩世紀亞里士多德（紀元前384—322）列舉地爲球形之正反理由，結論地必爲球形。

第一個測定地球大小者，是古希臘幾何學家和測量學家愛拉托斯芬，他生在紀元前200年，他發現在尼羅河上游賽尼地方，每至夏至日正午，太陽恰直射井底，同時在埃及亞力山大地方測得夏至日正午之日光與垂直方向，約成 $1 - \frac{1}{50}$ 的圓周角，愛氏認爲兩地在同一子午綫上，（實際約偏 2° 多），其距離就步行估計約爲5000希臘古尺，每尺=185公尺，各925000公尺。由是算出地球圓周之長爲46250000公尺，此種結果與現在精確結果比較，約過大16%，是爲弧度測量之始，此後一千年內，也有不少測定者，方法也稍有改善，但精度提高不多。

(二) 地爲橢圓說及其證實

測定子午綫上兩段弧長及各弧端點的緯度，就可以計算地球形

狀大小，測定多數段來計算，結果更精密，但直接測量很長的距離是比較困難的，沿子午圈作三角鎖求出斜弧長可以化為子午綫長，1610年荷蘭人史奈留首創此法用以求子午弧長，解決了長距離測量的困難，這是一個新的發展；同時望遠鏡的發明，改進了測角儀器，大大提高弧度測量的精度，但仍認地球為球形。1696年法國天文學者利薛，發現在巴黎校準之擺鐘，帶至巴黎南之開雲島上，每日約慢兩分半，後來牛頓之解釋，謂由於地球為橢圓之故，由於地球自轉，必為扁球體，愈近赤道處重力愈小，使擺的週期增大。與此同時，法國卡西尼父子在巴黎子午綫作弧度測量，分段計算的結果，因蒙受了測量誤差的影響，得位於最北的子午綫一度弧長小於南最者，與牛頓之理論相反，於是地球形狀，成為一個重大的問題。

為了解決此一重大科學問題，法國科學院派出了兩個測量隊，一隊赴拉柏蘭，另一赴秘魯進行弧度測量，拉柏蘭隊在緯度 $65^{\circ}50'58''$ 和 $66.48'20''$ 間測量一子午綫弧長，得 $66^{\circ}19'$ 緯度上的一度長為57422達茲（1達茲=1.9499公尺），秘魯測量隊得 $1^{\circ}36'$ 緯度上一度弧長為56748達茲，北大於南，1740年卡氏之子午弧長又作重新測量，所得與前次相反，於是證實了地球為扁平體。

（三）地球形狀大小表

十八世紀以前，大地測量工作偏重於第二個任務，此後加上了第一個任務，各國都大量展開此項工作，在技術上，理論上及儀器方面不斷的得到改進，對於地球形狀大小的決定，亦愈趨精密。十九世紀作了許多著名的弧度測量，其中一部於二十世紀完成，從這些弧度測量中求得了很多的地球橢圓體。

茲將幾個最重要的數據列表如下：

計 算 者	年	a	f	備 考
德 蘭 布 爾	1800	6375653	1: 334.0	

瓦爾別克	1819	6376896	1: 302.8	
白塞爾	1841	6377397	1: 299.15	
克拉克	1866	6378206	1: 295.0	
克拉克	1880	6378249	1: 293.47	
海福特	1910	6378388	1: 297.0	
克拉索夫斯基	1936	6378210	1: 298.6	
克拉索夫斯基	1940	6378245	1: 298.3	

德蘭布爾的成果，具有着歷史意義，它的子午綫一象限長千萬分之一，就是一公尺，公尺長就是這樣規定的，瓦爾別克第一個採用了最小自乘法的原理來進行計算，白塞爾的成果是運用了斯脫魯凡弧（俄羅斯弧）的一部分，英法子午弧，印度子午弧的各一部分，以及一些小弧，弧的總長為50度。中歐大部分國家採用，蘇聯以前也採用，現改用克拉索夫斯基的，克拉克的第一次和第二次成果所用的材料遠超過白塞爾的，總弧長為75°。法國、英國、美國加拿大，等國採用。海福特的成果，根據美國天文大地網的材料，材料比克拉克的多，但只是限於一國的材料，克拉索夫斯基的材料是運用了海福特材料中有價值的部分，西歐的材料以及1934前蘇聯的許多材料（包括分佈極廣的重力測量數據），材料最多，計算的理論和方法，是極先進的和嚴密的，因此它的成果是具有最大的優越性，我國以前採用海氏原子，現改用克拉索夫斯基原子。

（四）十月革命後蘇聯在大地測量學方面的成績

十月革命後，配合着社會主義建設大規模的開展，蘇聯的大地測量也在飛躍的發展着，1919年成立了測量總局，在統一領導下，從1923—1939年，他們將歐洲國土的大部分以及西伯利亞，遠東和中亞細亞的一部份的一等三角測量完成，全部三角鎖計長46000公里，到1950年，已完成了75000公里，其中有800多個天文點，如果

將一、二等三角鎖合計，則長度超過150,000公里，這種成就是任何資本主義國家所望塵莫及的。

特別發展迅速的是重力測量，十月革命前，在俄國只測了四百個重力點，但到衛國戰爭時期，就完成了各級重力點一萬個以上，而到1950年，則達兩萬點。

普爾柯伐天文台是世界上最完備的天文台，在大地測量上起着重要的作用，它測定了恒星的準確座標，從而編製準確的星表，它播送了準確的時號，使野外的天文和重力測量得以順利進行。

在大地測量研究方面，更有巨大的成就，蘇聯測繪科學家創造了一系列理論結合實際的作業方法，他們的理論研究證明天文，大地和重力測量配合應用，是解決地球形狀大小最有效的途徑，這些理論和應用，推動了蘇聯的重力測量、完成了新橢圓體，蘇聯的重力測量學已經在世界上佔有領導的地位，Ф.Н.克拉索夫斯基教授是蘇聯最傑出的測量學者，半世紀來，在他的領導和推動之下，使蘇聯的大地測量事業和研究達到世界上最先進的地位，他的著作刊行問世者達120種，其中的“大地測量手冊”成為蘇聯測量教學和實際工作的基本的參考書，他的橢圓體的發表，使蘇聯能夠拋棄數十年認為不合用的白塞爾橢圓體，重力測量也是由於他的大力推動和支持才能有今日的發展，此外H.A.烏爾馬也夫對於大規模天文大地網平差的研究，B.H.拉賓諾維奇對於水平折光的研究，A.A.米海伊洛夫，И.А.喀山斯基以及M.C.莫洛金斯基等於重力理論的研究，都有十分重大的貢獻。

(五) 我國的大地測量

在我國古代封建社會初期的上升階段裏，已有土地圖籍，並在累積了豐富的實踐經驗的基礎上，公元第三世紀中葉，我國偉大的製圖學家裴秀和他的助手們，就科學地總結了前人的製圖方法，擬訂了彙編小比例尺地圖的工作範規，稱為「製圖六體」。無疑的，這是世界史上最早的製圖方法理論的提綱。公元724年我們祖先曾

在河南一帶平地，用水準繩墨測量距離，從黃河北岸滑州到豫州，並測定開封等四個地點的緯度。結果測處緯距每度之長為351里80步，這是世界上第一次的子午綫測量。到元朝，郭守敬發起了測量全國緯度的偉大計劃，測定了緯度27點。從上面所提的幾個較重要的例子，說明了我們祖先在地圖測繪方面的光輝成就，在世界科學發展史上，佔了非常重要的位置。

由於中國社會長期停滯在封建社會制度階段，使得中國的經濟、政治、文化都長期陷在發展遲緩甚至停滯的狀態之中，至滿清政府，政治尤為腐敗，外國帝國主義利用傳教士在中國傳教為名，偷測我國地圖，清政府不僅不能警惕，反而於1708年延聘西教士雷孝思，杜德美等，舉辦大地測量，測繪各省全圖，使帝國主義不用化出自己一點代價，就可獲得我國的地圖了。在此次大地測量的過程中，由於我國勞動人民的智慧，曾發現了緯度愈高，子午綫弧長愈長，並規定了每200里合地球經綫一度，每里1800尺，即每尺合經綫百分之一秒。

清末成立陸軍測量局，當時工作主要為調繪十萬分一地圖，大地測量僅做了一點微不足道的三角及水準測量，國民黨時代，對發展國民經濟和鞏固國防極其重要的測繪事業，很久沒有注意，僅各省各自為政的測了一點零星的五萬或十萬分一地圖，而且大多數沒有使用價值，直至1932年又重新開始大地測量，但對整個測繪事業仍沒有全盤計劃，加上貪污腐化，十多年來，花費了人民不少的財力，仍僅做了一些支離破碎的三角，水準，天文等業務，且其精度與規格多不合現代的要求，沒有繼續使用的價值。

新中國成立之後，全面學習了蘇聯測繪科學技術的先進經驗。在全國範圍內，大規模展開了測繪工作。

在大地測量方面，僅舉一等三角鎖為例即可見其規模的宏大。一等三角鎖沿經緯線佈置，緯度每隔 2° 佈置橫鎖一條，經度每隔約 2° ，5佈置縱鎖一條，縱橫貫通全國共約須橫鎖19條，縱鎖23條，每條橫鎖平均概長以2200公里計算，縱鎖以1890公里計算，全國一等