

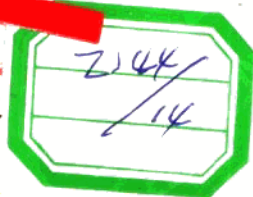


2 010 7166 9

大地測量學

上 冊

(中等技術科講義)



国家測繪总局

大地測量学

上册

(中等技术科讲义)

国家測繪总局

一九五六年九月 北京

簡 要 說 明

本書包括三角測量，基綫測量，水准測量，導綫測量以及旋轉橢圓體的數學性質與三角網的計算。可供二、三、四等三角測量作業參考及中等技術學校大地專業教材或參考書。

為了便于初學，本書着重實用方面的敘述，未涉及高深理論。

本書原由蔣滌源、彭銘槐、高維揚、劉魁中、胡元熙等同志合編，經本局取得原編者同意后作了某些修改。

關於作業方法及限差等問題，在我國大地測量法式及作業細則沒有最後確定以前，大部分仍依原編內容，未加修改，可能與目前執行情況稍有出入。

國 家 測 繪 總 局

1956.11.

上 册 目 录

第一章 緒 論

§ (1.1) 大地測量学的任务 及其在國民經濟建設和國防建設中的重要性.....	(9)
§ (1.2) 参考橢圓体, 点的座标.....	(12)
§ (1.3) 大地測量發展簡史.....	(14)
§ (1.4) 大地測量学研究的範圍.....	(19)

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.....	(21)
§ (2.2) 三角網的基本圖形及其分布.....	(22)
§ (2.3) 我國大地控制網的基本原則.....	(24)

第三章 三角網的选定

§ (3.1) 选点概述.....	(30)
§ (3.2) 圖形的权倒數.....	(30)
§ (3.3) 三角点通視之計算.....	(33)
§ (3.4) 选点作業的實施.....	(40)

第四章 三角点的覘标及标石

§ (4.1) 大地覘标的作用.....	(43)
§ (4.2) 覘标的类型和結構.....	(43)

§ (4.3) 建造規标的要求	(46)
§ (4.4) 建造規标的准备工作	(47)
§ (4.5) 建造規标	(51)
§ (4.6) 标石的作用及其类型	(52)
§ (4.7) 埋石的要求及步驟	(55)
§ (4.8) 規标之驗收和托管	(56)

第五章 經緯仪

§ (5.1) 經緯仪概說	(57)
§ (5.2) 度盤的讀定法	(60)
§ (5.3) 螺旋显微測微法	(61)
§ (5.4) 光学測微法	(62)
§ (5.5) 各型經緯仪	(71)

第六章 經緯仪的誤差及檢驗

§ (6.1) 三軸誤差影响概念及其檢驗	(74)
§ (6.2) 度盤刻划誤差	(77)
§ (6.3) 度盤偏心誤差	(77)
§ (6.4) 光学測微器精度的檢定	(81)
§ (6.5) 光学測微器行差的檢定	(83)
§ (6.6) 螺旋測微器行差的檢定	(84)
§ (6.7) 螺旋測微器效用正确性檢驗	(87)

第七章 水平角觀測

§ (7.1) 回照器与回光灯	(90)
§ (7.2) 觀測的方法	(91)
§ (7.3) 方位点的觀測及距离的量取	(101)
§ (7.4) 水平角觀測的實施	(102)
§ (7.5) 水平角觀測的誤差	(104)

第八章 水平角觀測結果整理

§ (8.1) 手簿檢查.....	(106)
§ (8.2) 三角系的角邊檢驗及測角中誤差.....	(108)
§ (8.3) 方向觀測值的測站平差.....	(111)
§ (8.4) 歸心原素的測定與計算.....	(113)

第九章 間接高程測量

§ (9.1) 概說.....	(119)
§ (9.2) 天頂距觀測的方法.....	(119)
§ (9.3) 指標差及天頂距(或垂直角)的計算.....	(121)
§ (9.4) 高差計算.....	(126)
§ (9.5) 高程平差和精度估計.....	(128)
§ (9.6) 三角高程測量計算例.....	(129)

第十章 基綫測量

§ (10.1) 基綫測量概說.....	(136)
§ (10.2) 基綫及基綫網.....	(136)
§ (10.3) 基綫尺.....	(140)
§ (10.4) 基綫尺的檢定及野外比較.....	(146)
§ (10.5) 基綫測量作業.....	(154)
§ (10.6) 基綫長度計算.....	(168)
§ (10.7) 基綫測量精度之估計.....	(176)
§ (10.8) 基綫計算之實施.....	(179)

第十一章 水准測量

§ (11.1) 水准測量的概念.....	(189)
§ (11.2) 水准路綫的布置及選擇.....	(193)

§ (11.3) 水准标石的种类及其埋設方法.....	(194)
§ (11.4) 水准仪.....	(195)
§ (11.5) 水准仪的檢点改正.....	(211)
§ (11.6) 水准仪的檢驗.....	(215)
§ (11.7) 水准标尺.....	(225)
§ (11.8) 影响水准測量精度的因素.....	(233)
§ (11.9) 水准观测的实施.....	(239)
§ (11.10) 水准測量計算.....	(247)
§ (11.11) 水准測量平差計算.....	(254)
§ (11.12) 驗潮概況.....	(256)

第一章 緒 論

§(1.1)大地測量學的任务及其在國民經濟建設和國防建設中的重要性

(一) 大地測量學与普通測量學

測量學具有悠久的历史，早在紀元前二千多年它已開始為人類服務，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，因為測量學已分為大地測量學与普通測量學。

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，而普通測量學則為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，它們仍是密切聯繫着的。

(二) 第一個任务——技術的任务

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务：第一個任务——技術的任务，就是在地面上精密的決定一系列點的位置以作為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，為什麼要這樣呢？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它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，就可以互相銜接。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，都能互相聯繫，互無矛盾，並能达到需要的精度。

（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布的影響，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术上的計劃時，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線、橋梁、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，制成品的輸出，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，首先必須了解地區的情況，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線，軍隊駐扎的地点，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) “為了在地形方面研究國家的領土，為了提高和發展生產力，為了節省技术力量，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) “為了實現上述目的，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)参考橢圓體，點的座標

(一) 自然的地形表面

地球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，最高的珠穆朗瑪山峰達8800公尺，最深的恩登深淵達二萬公尺，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，再把这个面向大陸延續，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，即不但兩極扁平，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布不均，表面地形之起伏，常使重力方向發生局部變化，那

么到处和重力方向成垂直的大地水准面，也就随之而有起伏，不是一个有规则的面，我们在这个面上进行点位的推算，是异常复杂而困难的，因此放弃在这个面上进行计算，我们采用一个旋转椭圆体面来代替大地水准面，叫做参考椭圆体，它的大小应当根据科学研究的結果，并适当的标定其位置，使其与该区大地水准面極其近似。实际上地面上所有的点，均依法綫方向投影至参考椭圆面上进行计算，根据计算后的成果，再来修正这个参考椭圆体的长半径和扁率，这就是地球形状大小的测定，我们不采用三轴椭圆体，是因为在这个面上计算，要增加很多的困难，根据每一测区的材料算出的参考椭圆体，对这个测区的大地水准面是能有很好的密合的，但对其他区域則可能有較大的差异，因之要求出一个有价值的地球椭圆体，应该根据多数国家的材料来进行推算。

(四) 点的座标

点在参考椭圆面上的座标系統有好几种， BL 系——即大地經緯度是常用的座标。

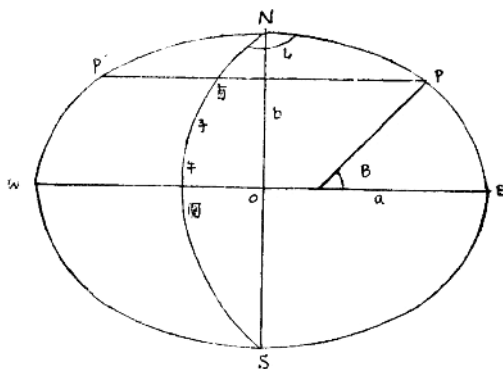


圖1-1

旋轉橢圓體之旋轉軸，稱為極軸，極軸兩端為南、北極，以含極軸之平面割橢圓體得子午圈，圖中 $NESW$ 為過 P 点的子午圈，通過英國格林威爾天文台子午儀中心之子午圈，稱為首子午圈，某点的子午面與首子午面的交角稱為某点的經度，在格林威爾之東者為東經，西者為西經，以垂直于極軸之平面割橢圓體得平行圈，平行圈之過地心 O 者為赤道圈，某点的法綫與赤道面之交角稱為該点的緯度，在赤道以北者為正，在南者為負，因某点的法綫在它的子午面上，故即為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。大地水准面，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，在以后還要補充說明的。

§(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历史，遠在紀元前六世紀，畢達哥拉斯首倡地圓之說。其后兩世紀亞里士多德（紀元前384—322）列舉地為球形之正反理由，結論地必為球形。

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力亞

地方測得夏至日正午之日光與垂直方向，約成一 $\frac{1}{50}$ 的圓周角，

愛氏認為兩地在同一子午綫上，（實際約偏 2° 多），其距離就步行估計約為5000希臘古尺，每尺 = 185公尺，合925000公尺。由是算出地球圓周之長為46250000公尺，此種結果與現在精確結果比較，約過大16%，是為弧度測量之始，此后一千年內，也有不少測定者，方法也稍有改善，但精度提高不多。

(二) 地为橢圓說及其証实

測定子午綫上兩段弧長及各弧端点的緯度，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年法國天文學者利薩，發現在巴黎校準之擺鐘，帶至巴黎南之開云島上，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，使擺的周期增大。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响，得位於最北的子午綫一度弧長小於最南者，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，另一隊赴秘魯進行弧度測量，拉柏蘭隊在緯度 $65^{\circ}50'58''$ 和 $66^{\circ}48'20''$ 間測量一子午綫弧長，得 $66^{\circ}19'$ 緯度上的一度弧長為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，於是証實了地球為扁平體。

(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 尔	1800	6375653	1:334.0	
瓦 尔 別 克	1819	6376896	1:302.8	
白 塞 尔	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，具有着历史意义，它的子午綫一象限長千萬分之一，就是一公尺，公尺長就是这样規定的，瓦尔別克第一个采用了最小自乘法的原理来进行計算，白塞爾的成果是运用了斯脫魯凡弧（俄罗斯弧）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，弧的总長为50度。中欧大部分国家采用，苏联以前也采用，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远超过白塞爾的，总弧長为75°。法国、英国、美国、加拿大等国采用。海福特的成果，根据美国天文大地網的材料，材料比克拉克的多，但只是限于一国的材料，克拉索夫斯基的材料是运用了海福特材料中有价值的部分，西欧的材料以及1934前苏联的許多材料（包括分布極广的重力測量数据），材料最多，計算的理論和方法，是極先进的和严密的，因此它的成果是具有最大的优越性，我国以前采用海氏原子，現改用克拉索夫斯基原子。

（四）十月革命后苏联在大地測量学方面的成就

十月革命后，配合着社会主义建設大規模的开展，苏联的大