

大地測量學

上卷 第一分冊

陳永齡 著

測繪出版社

大地測量學

上卷 第一分冊

陳永齡 著

測繪出版社

1957·北京

內 容 簡 介

本書上卷的內容是討論建立国家控制網的基本原理和各項測量工作，包括野外測量作业和室內成果整理。內容安排是根据工程測量、天文大地測量、航空攝影測量三个專業大地測量学教学大綱的第一部分。內容取材除参考苏联、德、美等国的教材和参考書以外，主要結合目前我国各业务部門所采用的測量細則，对于各項規定給予理論上的說明，对于測量方法和成果处理作了簡要的敘述。

本書上卷可供高等学校工程測量、航空攝影測量、天文大地測量三个專業三年級大地測量学教学之用，也可作为大地測量作业人員的参考。

本書上卷是由武汉測量制图学院陈永齡教授編写的。本書下卷將討論橢圓体大地測量学和弧度測量，正在由武汉測量制图学院叶雪安教授編写中。

大地測量学

上卷 第一分册

著 者	陈 永 齡
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証出字第081号
发 行 者	新 华 書 店
印 刷 者	沈 阳 市 第 一 印 刷 厂 鉄西区嘉工街北三馬路12号

編輯：何炎文	校对：白权鈞
印数（京）1—3,100册	1957年8月北京第1版
开本 317×437 ¹ / ₁₆	1957年8月第1次印刷
字数415 000字	印張18 ¹ / ₂ 插頁2
定价（10）2.40 元	

大地測量學上卷序

解放以後，測量事業蓬勃發展，測量科學技術的水平不斷提高，為了高等學校培養測量專業人才，深感缺乏一本足以反映我國當前測量事業需要的大地測量教科書。

但是目前編寫一本比較成熟的大地測量教科書還有許多困難。首先由於我國大地測量法式尚未定案，各種測量細則還未擬定，在教科書中就難於正確反映我國今後大地測量的規格和要求。其次，解放以來我國大地測量工作雖然作了很多，但實際作業資料還缺乏系統的整理和公佈，因而學校教師掌握的資料非常之少。幾年以來，在教學中不得不得重於從蘇聯的各種測量作業細則、計算手冊、和其他有關文獻中汲取材料，還難以達到密切結合我國實際情況，因此也就說不上編寫一本完善的教科書。

由於以上原因，目前這本書還不能作為正式的教科書，而只能作為教學參考書，暫時解決目前教學上的急需。希望不久以後，我國大地測量法式可以定案，切合我國實際需要的作業細則能夠逐步制訂公佈，國家基本控制測量作業的一些主要資料能夠整理公佈，那時作者再將本書徹底修改。

在編寫本書時還遇到另外一點困難。作為教科書，它應當簡明扼要，以便於學生自修；但另外一方面，目前還很缺乏中文參考文獻，如果書中講得過於簡要，學生就不易對某些問題作較深入的学习。武漢測量製圖學院大地測量教研組在討論本書內容時，大多數同志主張，從我國目前情況出發，本書內容不宜過於精簡，對於內容較多的某些部分，可由教師指導學生在自修時掌握重點。作者在編寫時大体上遵照這種意見，但也極力避免篇幅過多內容過於冗雜。

本書預備作工程測量、天文大地測量和航空攝影測量三個專業大地測量課程教學的參考。為了分別重點，本書有一部分用小號字體排印。原則如下：用普通字體排印的一部分是要求工程測量專業學生必須掌握的部分，對於航空攝影測量專業學生可以要求得少些；而對於天文大地測量專業的學生還必須增加用小號字體排印的一部分內容。

本書編寫的次序是按照作業的一般程序，但講授時教師可以根據情況改變前後次序。

本書是由去年的講義加以修改補充而編寫的。雖然承大地測量教研組許多同志根據一年來的教學經驗，提供了寶貴的修改意見，但是由於必須迅速出版以備暑假後教學使用，編寫時間異常倉促，稿成之後，也來不及再度徵求教研組同志的意見，因此內容錯誤疎漏之處在所難免，作者誠懇地要求校內外同志對本書缺點多多指正批評，以備下版修改的參考。

本書承國家測繪總局供給三角測量選點和一些其他資料，編入書內，特此致謝。在編寫過程中大地測量教研組同仁給予不少鼓勵，提出許多意見，並代為拍攝若干儀器的照片，作者深為感謝。本書承顧宗逸同志清繕，高增吉同志繪圖，研究生顧旦生同志代為校對一部分原稿，在此一併致謝。

最后必須提出，測繪出版社为了照顧我院暑假后教学的需要，例外地答应在繳稿三个月之內就將本書排印出版，作者在此表示衷心的感謝。

作 者

1957年6月于武汉測量制图学院

大地測量學

上 卷

第 一 分 冊

目 录

第一章 緒論	9
§ 1—1 大地測量學的任务.....	9
§ 1—2 地球的體形——大地水準面和地球橢圓體.....	10
§ 1—3 參考橢圓體和它的定位.....	12
§ 1—4 垂綫偏差的概念.....	15
§ 1—5 应用天文大地測量方法研究地球體形的概念.....	17
§ 1—6 应用重力測量方法研究地球體形的概念.....	20
§ 1—7 大地測量發展簡史.....	21
§ 1—8 現代大地測量的發展方向.....	24
§ 1—9 大地測量學與其他科學的關係.....	26
第二章 國家基本測量控制網	28
§ 2—1 國家基本測量控制網的一般概念.....	28
§ 2—2 三角測量佈網的原則.....	30
§ 2—3 一等三角系的佈設方法.....	31
§ 2—4 在一等三角系所構成的多邊形中佈設補充網的問題.....	34
§ 2—5 我國現行的大地測量法式草案.....	36
§ 2—6 蘇聯1954年的大地測量法式.....	39
§ 2—7 美國國家三角測量的主要規定.....	41
第三章 三角測量各推算原素的精度估算	43
§ 3—1 概論.....	43
§ 3—2 估算推算原素精度時所採用的方法.....	44
§ 3—3 三角形中推算邊長和方位角的中誤差.....	45
§ 3—4 大地四邊形中推算邊長和方位角的中誤差.....	50
§ 3—5 三角形單鎖中推算邊長的中誤差.....	54
§ 3—6 三角形單鎖兩端都有起算邊時中間邊的邊長中誤差.....	57
§ 3—7 三角形單鎖中推算方位角的中誤差.....	58
§ 3—8 等邊三角形單鎖的縱向和橫向位差.....	60
§ 3—9 大地四邊形鎖中推算邊長和方位角的中誤差.....	62
§ 3—10 矩形大地四邊形鎖的縱向和橫向位差.....	65
§ 3—11 大地四邊形鎖與三角形單鎖的比較.....	66
§ 3—12 三角形雙鎖各推算原素的中誤差.....	68

§ 3—13	三角形双鎖与三角形單鎖的比較	70
§ 3—14	各种鎖形的選擇	70
§ 3—15	三角鎖段中基綫和方位角控制的間隔	71
§ 3—16	鎖段兩起算边間图形权倒数的限值	74
§ 3—17	估算图形权倒数的公式	75
§ 3—18	美国的图形权倒数公式	77
§ 3—19	全面網中推算原素的精度	78
§ 3—20	基綫扩大網的图形	80
§ 3—21	菱形基綫图形强度的理論	83
§ 3—22	基綫網图形权倒数的估算	86
§ 3—23	基綫網角度觀測权的最有分配	91
第四章	三角測量的选点和建造工作	98
§ 4—1	业务工作組織概論	98
§ 4—2	三角測量选点的要求	99
§ 4—3	基綫場地的選擇和基綫網的布置	100
§ 4—4	折綫形基綫	101
§ 4—5	丈量輔助綫段推算基綫長度的方法	102
§ 4—6	选点的方法	104
§ 4—7	觇标高度的計算	108
§ 4—8	測量觇标的种类	113
§ 4—9	中心標誌的埋設	118
第五章	長度的精密丈量——基綫測量	120
§ 5—1	概論	120
§ 5—2	悬綫丈量法中所用的主要工具	123
§ 5—3	标准長度	127
§ 5—4	基綫尺檢定室的設備	128
§ 5—5	基綫尺室內檢定的方法	131
§ 5—6	殷鋼綫尺溫度係数的測定	135
§ 5—7	室外檢定基綫尺的方法——比較基綫	136
§ 5—8	应用光干涉法檢定基綫尺長度的概念	136
§ 5—9	精密丈量的野外准备工作	139
§ 5—10	使用綫尺丈量时的野外工作方法	140
§ 5—11	使用帶尺量綫时的作业方法	145
§ 5—12	折綫形基綫的測量工作	146
§ 5—13	悬鏈綫的方程式	147
§ 5—14	綫尺兩端等高时弧長与弦長的关系	149
§ 5—15	綫尺長度受拉力作用的影响	151
§ 5—16	重力变化对綫尺長度的影响	153
§ 5—17	綫尺兩端不等高时弦長的变化	154
§ 5—18	基綫尺長度檢定結果的整理	157
§ 5—19	測段概長的計算	158

§ 5—20	基綫長度概值的計算和基綫測量本身的中誤差	160
§ 5—21	標柱水准測量結果的整理——尺段傾斜改正	161
§ 5—22	零星尺段長度的計算	162
§ 5—23	基綫長度投影到橢圓體面上	163
§ 5—24	基綫長度的几个小的改正項	165
§ 5—25	基綫丈量的誤差來源	167
§ 5—26	基綫最后長度的精度鑑定	169
第六章	精密測角儀器	171
§ 6—1	精密測角儀器構造方面的特點	171
§ 6—2	精密測角儀器的類型	174
§ 6—3	顯微鏡測微器的構造和使用	180
§ 6—4	測微器的行差	184
§ 6—5	測微器讀數的行差改正	189
§ 6—6	顯微鏡測微器的檢查和校正	192
§ 6—7	光學測微器的構造和使用	195
§ 6—8	光學測微器的檢驗	198
§ 6—9	望遠鏡視准軸誤差	203
§ 6—10	望遠鏡橫軸的傾斜誤差	205
§ 6—11	照准部旋轉縱軸偏出豎直方向的誤差影響	206
§ 6—12	水准器性能的檢驗	208
§ 6—13	檢驗精密水准器的瓦西里耶夫方法	210
§ 6—14	測定水准器格值的考姆司托克方法	213
§ 6—15	照准部偏心差和照准部旋轉正確性的檢驗	215
§ 6—16	水平度盤偏心差的檢驗	219
§ 6—17	度盤分划綫的誤差	220
§ 6—18	度盤分划綫對徑誤差的檢驗	221
§ 6—19	度盤分划綫短週期誤差的檢驗	224
§ 6—20	目鏡測微器周值的測定	227
第七章	水平角觀測	231
§ 7—1	發光標的	231
§ 7—2	水平角觀測的最有利時間	234
§ 7—3	旁折光的影響	235
§ 7—4	其他外界因素的影響	237
§ 7—5	消除儀器誤差影響的方法	238
§ 7—6	照准部轉動時的帶動誤差	240
§ 7—7	水平角觀測時操作的一般原則	241
§ 7—8	方向法和全周方向法	243
§ 7—9	史賴伯全組合測角法	246
§ 7—10	三方向法（不完全方向法）	253
§ 7—11	對稱測角法（變相的組合測角法）	256
§ 7—12	歸心原素的測定	258

§ 7—13 測站点和照准点归心改正的計算.....	262
第八章 測站平差	267
§ 8—1 概論.....	267
§ 8—2 完全方向測回的測站平差.....	270
§ 8—3 不完全方向測回的測站平差.....	277
§ 8—4 不完全方向測回平差后方向的近似权.....	282
§ 8—5 史賴伯全組合測角法的測站平差.....	284
§ 8—6 單菱形基礎網点上的測站平差.....	287
§ 8—7 三方向法的測站平差.....	290
§ 8—8 对称測角法的測站平差.....	291
§ 8—9 几种特殊情况的測站平差方法.....	294

大地測量學

上 卷

第一章 緒 論

§ 1—1 大地測量學的任务

大地測量學的任务在于研究地球的体形和大小，及在广大地面上建立基本測量控制網，作为各种測量工作的基础。研究地球的体形和大小是它的科学任务，而建立基本測量控制網是它的技术任务。

大地測量學是与普通測量學密切相关的，通常被看做是測量學的一部分。全部測量學可以認為是研究地球表面的科学。当我们研究的对象仅限于地球表面上的很小一部分，將这一小部分地面的地物和地形加以測量並將結果表象在一張平面圖紙上的时候，有关这种工作的科学和技术就被称为平面測量學或普通測量學。在欧洲若干国家，如苏联与德国等，又称为初等測量學，而在大多数情况下常簡称为測量學。但是如果我們研究的对象是整个地球或是地球面上一个相当大的部分（例如一个国家的全部領土），这时就牽涉到地球体形和大小的問題。因此我們必須研究和測定地球的体形和大小，並利用所得的結果作为正确处理在广大地面上建立基本測量控制網的各种觀測成果的根据。有关这些工作的理論和技术就被称为大地測量學，在欧洲若干国家，如苏联和德国，又称为高等測量學。

从大地測量工作发展的情况来看，早期（十七世紀以前）进行大地測量的主要目的是为了測定地球的体形和大小，而从十八世紀起，則主要是大地測量的实际功用，也就是它的技术任务，推动了它的发展。这时人們进行大地測量工作的目的已經着重在建立基本測量控制網，以便作为地形和地籍測量的基础。

但是必須明确，建立基本測量控制網的业务工作是与研究地球体形和大小的弧度測量工作一致的。也就是說，只要在建立基本測量控制網时考虑到与研究地球体形和大小这一科学問題有关的条件，基本測量控制網的觀測結果也正是解决地球体形和大小問題的主要資料。

研究地球的体形和大小仅是大地測量學的主要科学任务。在今天來說，还有一系列有关地球的其他科学問題需要大地測量學来协助解决。我們知道，地球，与其他天体以及一切物質一样，是不断地运动和发展着。从地震的現象我們可以認識地壳有着升降的运动；从長期的觀察和觀測我們又发现大陆有移动的現象，地球兩极有着週期性的

运动。所有这些都影响着天文大地测量的结果。反过来说，也只有比较不同时期不同地点的精密的天文大地测量成果，才可以证实和研究地球的这些运动，才可以进一步明确地壳的构造、地球的物理性质、以及地球从古至今的发展历史。因此，虽然研究地壳的构造和运动主要是属于地质学和地球物理学的范围，但它还要依赖于天文大地测量的资料，而且研究的结果也直接有用于天文大地测量成果的处理。所以我们可以说，研究地壳部分的运动也是大地测量科学任务的一部分。在这方面它是与地球物理学和地质学密切相关的。

至于大地测量学的技术任务，总的来说，是在于建立基本测量控制网，包括水平控制网和高程控制网，以及有系统的重力测量。具体来说，首先要研究建立基本控制网和进行重力测量的最科学的、最经济的和最适用的工作方法，以及为此所必需的观测仪器的构造原理和使用方法。其次我们还要研究如何才能将这样巨大的工作科学地组织起来。最后我们还要研究如何将各种丈量和观测的结果加以整理和平差，以便获得各种控制点的最后数据，如水平位置、高程、重力加速度值等。在水平位置方面，我们不但要计算出各控制点在地球椭圆体面上的坐标，而且还必须将它们表现在一个或一系列的平面上，获得所谓平面坐标，以便能够直接地和更方便地利用于测量地形图、编制地图、以及进行各种工程建设的计划和放样工作。

大地测量的科学任务和技术任务是密切相关的。只有建立了大规模的基本测量控制网，才能使研究地球体形和大小的科学工作推进一步；反过来，也只有在掌握了地球体形和大小的精确数值以及测量区域地面的更多数据（如重力加速度、垂线偏差、大地水准面的起伏^①）之后，才有可能将控制网的观测结果作正确的处理。

大地测量对于祖国正在进行着的伟大的社会主义经济建设事业具有非常重要的意义。列宁曾经说过：“要提高和发展国家的生产力，只有从详细地研究全国的土地着手”。所谓研究全国的土地，首先就是要进行各种测量工作。例如为了发展国家的各种工业生产，必须详细地勘测地面以及地下的资源，而勘测资源又必须先测制地形图开始。此外在交通、水利、农林、城市各项建设计划与施工方面也都须要进行相应的测量工作；为了保卫国防更必须测制精确的军用地图。所有这些种测量工作都是规模巨大的；为了正确地组织它们，有计划有步骤地建立全国基本测量控制网乃是一个重要的环节。

在大地测量这一课程中，我们将主要讨论大地测量作业方面的问题；关于应用物理或重力测量方法研究地球体形和大小的问题将在重力测量和地球体形学课程中讨论。

§ 1—2 地球的体形——大地水准面和地球椭圆体

我们所看到的地球表面并不是完全平坦的，而是有高山、深谷、江、湖、海洋等等的起伏，这个表面称为地球的自然表面。当我们说地球的体形是一个椭圆体，所指的当然不是地球的这个自然表面。那末，所谓地球的体形究竟指的是什么呢？

牛頓（Newton）、惠更斯（Huygens）以及后来克来饒（Clairaut）、布隆斯（Bruns）

^①关于这几个名词的意义，将在以下几节中讲到。

等科学家研究地球的体形都是从力学的观点出发。根据牛顿万有引力的学说，任意两个质点之间存在着互相吸引着的引力，这个引力的大小是与质点的质量成正比并与质点之间的距离的平方成反比。对于地球表面上的一点来说，整个地球的质量都对它有着引力的作用。此外，因为地球是在等速地围绕自己的轴旋转着，所以，根据物理学，作用在地球表面上的任意一点上，还有着由于地球等速旋转而产生的离心力。引力与离心力共同作用于地面上的一点，其合力就称为这点的重力（图1—1）。一点上重力的方向就是物体从这点自由下坠的方向，也就是在测量学里所说的垂线方向。测量学中的水准面被界说为到处与垂线方向（也就是重力方向）正交的面。所有流体物质处于平衡状态时，它的表面必然是一个水准面，这是因为在一个水准面上任意一点的重力势能都是相等的。所以水准面又称为重力等势面。

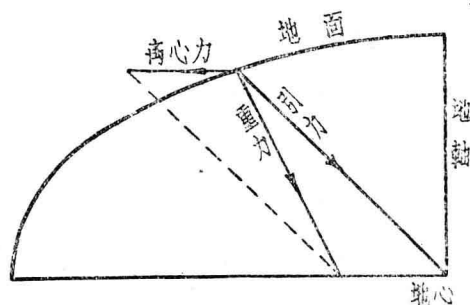


图 1—1

围绕地球以及在地球的内部存在着无数个重力等势面——水准面，其中一个与海洋平均水面相结合的基本水准面就用来代表地球的体形。这个基本水准面就称为大地水准面，它所范围着的体形称为大地体。大地水准面这个名词是在1873年由利斯廷（Listing）所创用的，它的定义如下：

假定海洋的水体处在完全静止和平衡的状态，没有潮汐风浪等影响，海洋的表面，以及由它延长到大陆的下面并到处保持着与垂线方向相交成直角这一特征的整个或闭合形状的面，就是大地水准面。

在大地测量学中所研究的地球的体形主要就指的是大地水准面的形状。

牛顿等人从力学理论推论地球体形的时候，首先假定在地球发展过程中，曾有一个时期它的物质完全是处于流体的状态。其次克来饒又假定地球物质的密度由表面向地心分层，逐渐按一定规律增加。根据这两个假定并应用力学的理论，可以证明，当这样分布着而又旋转着的物质处于平衡状态时，其表面的体形必然是一个在两极略扁的扁球体。所谓扁球体就是形状近于圆球而在两极略扁的旋转体。这个扁球体与一个旋转椭圆体相差很小，基本上又可以用旋转椭圆体代替它。

但实际上地壳物质的分布是不规律的，因此大地体的形状不能正好是一个规律的扁球体。但是地壳层的厚度不过70—100公里，其体积只占整个地球体积的三十分之一，其质量则约为整个地球的质量的六十五分之一。所以尽管地壳物质分布不规律，对于整个地球的体形来说，它的影响还是不大的。因此，从整个来说，大地体与一个旋转椭圆体极为相近。如果用一个旋转椭圆体来代替大地体的话，大地体的表面（大地水准面）虽然与旋转椭圆体的表面不完全相合，但两个表面的高差（又称为大地水准面的起伏）是不大的。根据研究结果，在任何地点两个表面的高差不致超过±100至±150公尺，与地球的半径约为6370公里相比较，这是非常微小的了。

由于大地体不是一个规律的体形，不但使测定它的形状的工作变成非常复杂，而且

想在这个复杂的面上正确地处理我們在地面上所观测的各种大地测量成果也是不可能的。因此对于大地测量实际业务来说，我們必須用一个与大地体相近的规律体形，也就是旋轉橢圓体，来代替它。代表地球的旋轉橢圓体通称为地球橢圓体。与大地水准面整个外形符合最好的地球橢圓体則称为总地球橢圓体。严格地说，总地球橢圓体必須满足下列三个条件：

- (1) 总地球橢圓体的中心与地球的重心相合，其赤道平面与地球赤道平面相合；
- (2) 总地球橢圓体的体积与大地体的体积相等；
- (3) 总地球橢圓体面与大地水准面之間的高差的平方和应为最小。

从理論上講，必須在整个地球表面上进行互相联成一个整体的天文大地测量，並在整個地球面上进行重力测量，才能解决上述的問題。就目前情况来说，这还是办不到的。我們現在所能办到的只是在地球面上大陆的一部分进行天文大地测量（現在还没有联成一体），和在一部分陆地上和海洋上进行重力测量。从这些結果里我們可以获得总地球橢圓体的近似的形状和大小，也可以研究局部大地水准面的情况，但是还不能求得总地球橢圓体的真正大小和它的确切位置。所以总地球橢圓体对于目前来说还只是代表地球的一个理想的规律体形，在实际上也还是不知的。

§ 1—3 参考橢圓体和它的定位

在研究整个地球体形的时候，我們研究的对象是前节所说的大地水准面和总地球橢圓体。但是这两个面对我們来说都还是不知的。因此，为了便于一个国家大地测量作业的处理，同时也为了作为研究大地水准面和总地球橢圓体的根据，必須引用一个与大地水准面相当近似的参考面。这个参考面通常也是一个旋轉橢圓体的表面，这样的旋轉橢圓体就称为参考橢圓体。

因为参考橢圓体是用来代表地球的，在大地测量学里，为了簡單起见，也常常称它为地球橢圓体。本书以后对这两个名詞將不作严格的区分，只有在着重指出这个橢圓体的参考作用时，才称之为参考橢圓体。

但是参考橢圓体並不是前节所说的总地球橢圓体，因为总地球橢圓体的大小和它与地球实体的关系（称为定位）是以前节所述的三个条件为基础的，而参考橢圓体的大小和定位則无須满足那三个条件。实际上是每个国家采用自己的参考橢圓体，並独自确定它与地球实体的关系。这样做对于研究整个地球的体形当然是不利的，但各个国家为了解决本身的实际需要，在最初也不能不这样做。因此我們可以說，总地球橢圓体只有一个，而参考橢圓体可以有很多不同的大小，即使两个国家采用同一个大小的参考橢圓体，它們的定位一般也是不同的。

一个参考橢圓体的大小和形状，用所謂橢圓体的原素来表示。地球橢圓体是由一个母橢圓圍繞其短軸旋轉而成的旋轉橢圓体，因此母橢圓的長半徑 a 和短半徑 b (图1—2) 是决定地球橢圓体的大小和形状的基本原素。

但地球仅是一个微扁的圓球，所以地球橢圓体的長短半徑相差很少。为了簡便起见，通常采用另一个原素，扁率 α ，代替短半徑 b 。所謂扁率就是地球橢圓体長短半徑之

差 $a-b$ 与長半徑 a 之比，也就是

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

在大地測量學里，長半徑 a 和扁率 α 是最常採用的地球橢圓體的原素。關於測定它們的方法的概念將在 § 1—5，§ 1—6 兩節中再講。現在僅須指出，一個國家在決定它所採用的參考橢圓體的原素值時，應當選擇根據當時大地測量和科學研究結果所知道的最接近於總地球橢圓體的原素值。這樣一個地球橢圓體，在目前來說，就是蘇聯克拉索夫斯基教授和伊佐托夫教授在 1940 年所推算的以克拉索夫斯基命名的橢圓體。它的原素值為

$$a = 6\,378\,245 \text{ 公尺}$$

$$\alpha = 1:298.3$$

現在我國的大地測量工作就採用了克拉索夫斯基橢圓體作為參考橢圓體。

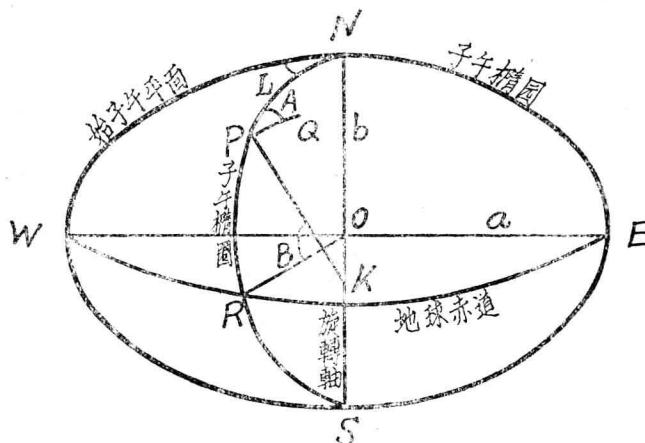


圖 1—2

其次讓我們討論一下參考橢圓體的定位問題。所謂參考橢圓體的定位就是將參考橢圓體與大地水準面（或地球）之間的相互位置確定下來。只有這樣定了位之後，才能使地面上（或大地水準面上）每一點與參考橢圓體面上一定點互相對應，從而可能將地面上的測量點轉移到參考橢圓體面上去。

為了明了參考橢圓體定位的方法，必須首先說明表示地球橢圓體面上一點位置的坐標系統。確定一點在地球橢圓體面上的位置，須根據兩個基本平面：地球赤道平面和大地子午平面。地球赤道平面是通過地球橢圓體中心與旋轉軸 NS （圖 1—2）垂直的平面，它與地球橢圓體面相割成地球赤道（ WRE ）。橢圓體面上一點 P 的大地子午平面是通過該點並包含旋轉軸的平面，它與地球橢圓體面相割成子午橢圓（ $NPRS$ ）。地球橢圓體面就是由子午橢圓圍繞其短軸旋轉所形成的面，而由此就可看出，橢圓體面上任一點 P 的大地子午平面必然包含橢圓體面在點 P 的法綫 PK 在內。

點 P 的法綫與地球赤道平面間的夾角稱為點 P 的大地緯度，通常以 B 表示。點 P 的子午平面與一個被稱為始子午面之間的夾角稱為點 P 的大地經度，通常以 L 表示。現在國際公認通過英國格林尼治天文台的子午平面為始子午平面，它是經度的起算平面。

所有包含点 P 法綫在內的平面都是点 P 的法面。从点 P 通过椭圆体面上另一点 Q 的法面与点 P 子午平面之間的夾角称为由 P 至 Q 的大地方位角，通常以 A 表示。大地方位角由正北依順时針方向計数。

如前所述，大地緯度、大地經度、大地方位角是以法綫为依据的。大地經緯度又称为大地坐标，或大地位置，或大地的地理坐标。

我們知道，可以用天文观测的方法测定地面上一点的經緯度（地理坐标）和一个方向的方位角。在天文观测的时候，我們是以这点的垂綫（也就是仪器的鉛垂綫）为依据。这时的子午平面是包含垂綫並与地軸平行的平面，称为天文子午平面。一点的垂綫与赤道平面的夾角称为这个点的天文緯度，通常以 φ 表示。一点的天文子午平面与始子午平面間的夾角称为这个点的天文經度，通常以 λ 表示。包括一点的垂綫在內並通过地面上另一点的垂面，与前一点的天文子午平面間的夾角称为該方向的天文方位角，通常以 α 表示。

如前所述，天文緯度、天文經度、天文方位角都是以垂綫为依据的。天文經緯度又称为天文坐标或天文的地理坐标。

参考椭圆体定位的一般方法是在地面一点 P'_0 （图1—3）上作精密的天文观测，确定它的天文經緯度（ φ_0 ， λ_0 ）和由这点出发的一个方向 $P'_0 Q'_0$ 的天文方位角 α_0 ，然后就直接采用这些天文坐标值作为参考椭圆体面上与它相应的点 P_0 的大地坐标值（ B_0 、 L_0 、 A_0 ），也就是，在这点上命

$$B_0 = \varphi_0, \quad L_0 = \lambda_0, \quad A_0 = \alpha_0.$$

这个点 P_0 称为大地基准点，它的大地坐标值 B_0 、 L_0 、 A_0 就称为大地基准数据。所有其他三角点的大地坐标都将依据大地基准数据推算而得。

現在讓我們对这个定位方法作几何的解釋。当我们命 $B_0 = \varphi_0$ 和 $L_0 = \lambda_0$ 时，我们就确定了参考椭圆体面上 P_0 与地面上的 P'_0 相对应，同时参考椭圆体面在点 P_0 的法綫与地面上点 P'_0 的垂綫相合（图1—3）。但是这时参考椭圆体还可以圍繞着点 P'_0 的垂綫旋轉，而且点 P_0 也还可以在点 P'_0 的垂綫上上下下移动。当我们命 $A_0 = \alpha_0$ 的时候，就确定了参考椭圆体只能圍繞着点 P'_0 的垂綫旋轉到这样一个位置，使点 P_0 的大地子午平面与点 P'_0 的天文子午平面相合。由大地子午平面和天文子午平面的定义可以看出，两个平面的相合就意味着参考椭圆体的旋轉軸彼此平行（一般不相合）。这时参考椭圆体在方向上就完全确定了，所余的仅是在参考椭圆体方位完全不动的情形下，点 P_0 还可以在点 P'_0 的垂綫上移动。为了确定点 P_0 在点 P'_0 的垂綫上的位置，也就是將参考椭圆体最后完全定位，通常假定点 P_0 应正好在点 P'_0 下面的平均海面（大地水准面）上，这也就是说， $P_0 P'_0$ 等于点 P'_0 的拔海高程。在用这种方法定位的情况下，

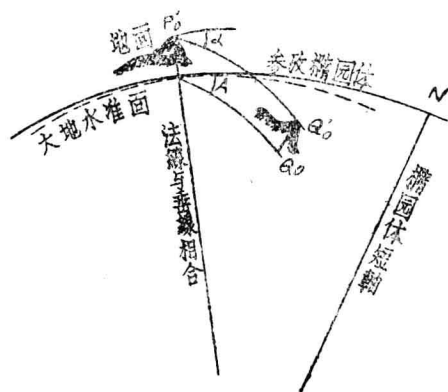


图 1—3

我們可以看出，參考橢圓體與大地水準面在大地基準點彼此相切。

還要指出，上述參考橢圓體定位的方法僅是最簡單的方法，也是常用的初步定位的方法。當在一個國家已經進行了較大規模的大地測量（包括重力測量）工作以後，還可以用更完善的方法改進這個初步定位。

總起來說，一個國家為了便於處理在國家領土上所進行的大地測量觀測資料，必須採用一個參考橢圓體。在確定參考橢圓體的時候應當進行下列工作：

（1）採用最可靠的地球橢圓體的原素值；

（2）選擇一個三角點作為全國的大地基準點，在這點上進行精密的天文觀測，求出它的天文緯度、天文經度和一個方向的天文方位角；

（3）直接採用在大地基準點上觀測所得的天文緯度、經度、和方位角作為這點在參考橢圓體面上的大地坐標值，或者根據已有的大地測量結果（包括重力測量結果）將天文測定的結果加以修正，然後採用作為大地坐標值，這些數據稱為大地基準數據；

（4）確定平均海水面的位置，也就是確定水準基面，並根據水準基面用水準測量方法確定大地基準點的拔海高程。

只有在這樣確定了參考橢圓體的大小和位置之後，才有可能將在地面上所作的各種大地測量的觀測資料歸算到參考橢圓體面上，並在這個參考面上進行各種必要的計算，如計算各測量點的大地坐標、長度和方位角等。

其次我們再總結一下，在參考橢圓體這樣定位的情形下它與地球本身及大地水準面之間的關係。前面已經指出，這時參考橢圓體的短軸與地球旋轉軸平行，也就是參考橢圓體的赤道平面與地球的赤道平面平行。但是參考橢圓體的中心並不與地球的重心相合，所以參考橢圓體不同於前節所說的總地球橢圓體。至於參考橢圓體與大地水準面之間的關係，則當直接採用天文測定的結果作參考橢圓體定位時，在大地基準點上參考橢圓體的法綫與大地水準面的垂綫相合，並且在這點上兩面彼此相切；而當採用修正的天文測定結果作參考橢圓體定位時，僅是確定了大地基準點上參考橢圓體的法綫與大地水準面的垂綫之間的夾角（垂綫偏差），兩面並不在這點上相切。

關於大地基準點的選擇問題，也是參考橢圓體定位中的主要問題，將要在下節中結合着垂綫偏差問題再加以闡述。

§ 1—4 垂綫偏差的概念

在 § 1—2 里我們已經指出，雖然大地水準面是代表地球體形的面，但它不是一個規律的幾何面，為了便於大地測量觀測資料的處理，我們才又引用一個旋轉橢圓體面來代替它。但是一個旋轉橢圓體，無論它的原素值與地球的實體多么相近，也無論它的定位如何恰當，都不可能与大地水準面完全相合，一般來說兩個面之間是互相有起伏的。圖 1—4 表示地球的一個斷面，大地水準面用虛綫表示，地球橢圓體面用實綫表示。當這兩個面平行時，如在點 P'_1 上，與大地水準面正交的垂綫和與地球橢圓體面正交的法綫互相重合。但在一般情況下，兩個面常不相平行，如在點 P'_2 和 P'_3 ，這時垂綫並不與法綫重合。兩者之間的夾角就叫做垂綫偏差。

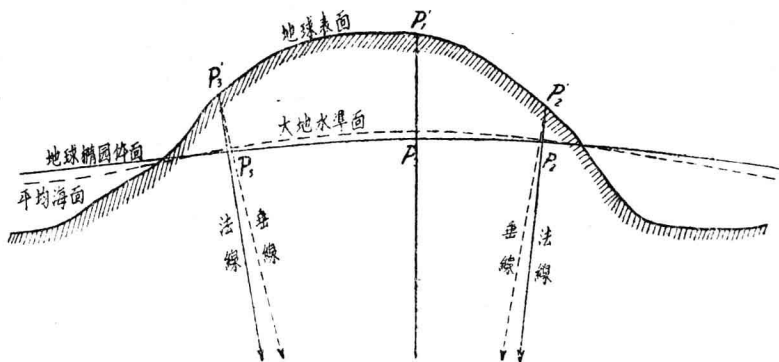


图 1—4

如果这里所说的地球椭圆体是 § 1—2 里所说的总地球椭圆体，这时的垂线偏差就称为绝对垂线偏差；如果是参考椭圆体，就称为相对垂线偏差。

如在 § 1—2 里所说的，大地水准面之所以有别于总地球椭圆体，是由于地球外壳物质分布的不规律性。因此可以说，引起绝对垂线偏差的原因就是地壳物质分布的不规律性。

至于参考椭圆体面之所以不同于总地球椭圆体，则由于前者并不能满足 § 1—2 中所提出的总地球椭圆体的三个条件，也就是说参考椭圆体的原素值和它的定位与总地球椭圆体的有所不同。因此也可以说，引起相对垂线偏差的原因，除去有地壳物质分布的不规律性外，还要加上参考椭圆体原素值和它的定位的影响。因为参考椭圆体的原素值和它的定位是每个国家不同的，对于不同的参考椭圆体，垂线偏差的大小也自然不同，所以才将它称为相对垂线偏差。当参考椭圆体的原素值和它的定位都很恰当时，相对垂线偏差可能非常接近于绝对垂线偏差。

在 § 1—2 的结束处我们已经指出，总地球椭圆体在目前仅是代表地球的一个理想的规律体形，其大小和定位目前还是不知的，因此绝对垂线偏差的精确值是不可能求得的，至于相对垂线偏差，则是另外一种情形。当我们确定了参考椭圆体的原素值和它的定位以后，相对垂线偏差就有可能求得。任意一个用大地测量方法与大地基准点联系着的测量点（三角测量点，导线测量点等），它的大地地理坐标都可以用大地测量方法在参考椭圆体面上推算出来，而这个点的大地地理坐标显然是与这点的参考椭圆体法线方向相对应的。如果在这个点上也进行天文观测，测定它的天文经纬度，则由天文观测所得的天文地理坐标就必然是与这点的垂线方向相对应的。既然是，一般来说，一点的垂线方向与法线方向不重合，可见一点的天文地理坐标也不会与它的大地地理坐标相同，而从天文坐标与大地坐标之间的差异也就可以求出这点的相对垂线偏差（求定的方法将在本书下卷垂线偏差一章中说明）。因为相对垂线偏差可以从天文和大地测量的结果比较中求出，所以它又有时称为天文大地垂线偏差。

根据理论研究和实际测定的结果，垂线偏差一般只是非常微小的角度，平均约在 $3\sim 4''$ 左右，最大可达到 $30''$ 左右。