

# 大地測量学

上册

武汉測繪学院大地測量教研組 編

測繪出版社

# 大地测量学

上册

武汉测绘学院大地测量教研组 编

测绘出版社

1960·北京

## 內容簡介

本書是根據教育革命後武漢測繪學院所訂“天文大地測量專業的大地測量教學大綱”編寫而成。

全書共分三冊。上冊詳細地敘述了國家控制網的測設原理及其作業方法。內容密切結合我國生產實踐，理論與實際並重。可作為測繪學院天文大地測量專業的教科書，亦可供其他有關專業的師生和生產部門大地測量工作者參考。

## 大地測量學

### 上 冊

編 者 武漢測繪學院大地測量教研組

出版者 測 繪 出 版 社

北京市西四學市大街地質部內

北京市書刊出版業營業許可證出字第081號

發行者 新華書店科技發行所

經售者 各 地 新 華 書 店

印刷者 地 質 出 版 社 印 刷 廠

北京安定門外六鋪炕40號

印數(京) 1—3900册 1960年1月北京第1版

開本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 1960年1月第1次印刷

字數538,728 印張24<sup>3</sup>/<sub>4</sub>

定價(10) 3.20 元

## 前 言

在1958年我国工农业生产大跃进与文化革命技术革命广泛开展的形势下，我组通过教育革命，在認真学习和贯彻党的教育方针的基础上，决定重新编写适合于天文大地专业的大地测量教科书。本书的编写是在党的领导下贯彻三结合的方针而完成的，既充分发挥了教研组全体教师的力量，又吸取了学生的意见。为了使理论与实际密切结合，在内容方面除去参照我国大地测量法式“草案”的有关作业细则，介绍各种作业的程序、方法和各项规定外，还搜集和采用了国内大地测量业务单位的很多生产经验。我们力求做到：使学生按照本书的内容学习并参加一定的专业生产实习后，既能掌握大地测量的基本理论又能顺利地参加实际生产作业。

本书分上中下三册出版，上册内容主要是叙述大地测量野外工作的理论和办法；中册讲述大地测量的计算和平差问题；下册是大地测量的理论部分，即有关天文大地网平差和弧度测量的理论。

由于我组同志水平有限，特别是生产经验不足，而且编写时间又比较短促，深入讨论不够，因此本书内容疏漏错误之处在所难免。在编排次序、内容选择等方面也不见得完全恰当。我们把这本还不十分成熟的教材拿出来出版，一方面是为了满足我院当前教学的急需，另一方面也为了听取广泛读者的意见。我们准备在取得进一步的教学经验和读者的意见之后，在适当时期内，再对本书加以修订，使它能够达到更高的质量。

武汉测绘学院大地测量教研组

1959年7月

# 目 录

前 言 .....	3
第一章 緒 論 .....	7
§ 1-1 大地测量学的任务及其对社会主义建設的意义 .....	7
§ 1-2 地球的体形——大地水准面和参考椭球体 .....	8
§ 1-3 大地测量发展簡史 .....	11
§ 1-4 我国解放后大地测量的成就和今后的发展方向 .....	13
第二章 国家平面控制网的布网方案和原理 .....	15
§ 2-1 建立平面控制网的各种测量方法 .....	15
§ 2-2 国家三角网的布网原則 .....	18
§ 2-3 一等三角鎖系(天文大地网)的布設方法与精度 .....	20
§ 2-4 二等三角网的布設方法与精度 .....	35
§ 2-5 三、四等三角网的布設方法 .....	38
§ 2-6 基线网的图形 .....	42
§ 2-7 我国国家三角测量的主要規定 .....	47
§ 2-8 独立控制网的布設原則 .....	48
第三章 三角测量的选点和造标埋石 .....	50
§ 3-1 三角网布設計划的拟訂 .....	50
§ 3-2 选点的作业組織和三角点位置的选择 .....	51
§ 3-3 选点的作业方法 .....	53
§ 3-4 视标高度的計算 .....	58
§ 3-5 基线与基线网的选定 .....	62
§ 3-6 三角测量中的造标工作 .....	69
§ 3-7 中心标石的类型及埋設 .....	83
第四章 精密测角仪器 .....	86
§ 4-1 精密测角仪器构造的特点 .....	85
§ 4-2 精密光学經緯仪 .....	88
§ 4-3 大地經緯仪 .....	90
§ 4-4 显微镜测微器 .....	92
§ 4-5 光学测微器 .....	103
§ 4-6 經緯仪中各軸的誤差 .....	112
§ 4-7 水准器的檢驗与校正及仪器的置平 .....	118
§ 4-8 照准部与水平度盘的偏心差及其檢驗 .....	123
§ 4-9 望远镜的目鏡测微器及其周值的測定 .....	133
§ 4-10 度盘分划綫誤差及其檢驗 .....	139
§ 4-11 垂直度盘和天頂距讀数 .....	156

§ 4-12 精密测角仪器的维护 .....	159
<b>第五章 三角点上的观测工作 .....</b>	<b>162</b>
§ 5-1 精密测角的各种误差 .....	162
§ 5-2 精密测角的一般原则 .....	165
§ 5-3 供光设备和司光工作 .....	166
§ 5-4 方向法、全圆方向法及其测站平差 .....	170
§ 5-5 史顿伯全组合测角法及其测站平差 .....	173
§ 5-6 三方向法(不完全方向法)及其测站平差 .....	191
§ 5-7 变形组合测角法(对称测角法)及其测站平差 .....	197
§ 5-8 特殊情况下水平角观测结果的处理 .....	199
§ 5-9 基线网观测及其测站平差 .....	206
§ 5-10 归心改正和归心元素的测定 .....	217
§ 5-11 天顶距观测 .....	226
§ 5-12 方位点的测定 .....	230
§ 5-13 观测工作的实施及成果整理 .....	232
<b>第六章 基线测量 .....</b>	<b>240</b>
§ 6-1 概論 .....	240
§ 6-2 悬链线丈量法中所用的主要工具 .....	242
§ 6-3 殷钢基线尺长度的检定 .....	245
§ 6-4 基线丈量的野外工作 .....	259
§ 6-5 悬链线的基本公式及悬链线丈量法中的几项改正 .....	268
§ 6-6 基线测量成果的整理及长度计算 .....	278
§ 6-7 基线丈量的误差来源及最后长度的精度鉴定 .....	288
§ 6-8 殷钢基线尺的维护 .....	290
<b>第七章 精密导线测量 .....</b>	<b>293</b>
§ 7-1 概論 .....	293
§ 7-2 精密导线的布置及其应用 .....	294
§ 7-3 导线测量的误差理论 .....	295
§ 7-4 精密导线的设计 .....	302
§ 7-5 精密导线测量的外业工作 .....	305
§ 7-6 视差导线测量 .....	309
§ 7-7 外业成果的整理 .....	312
<b>第八章 精密水准测量 .....</b>	<b>313</b>
§ 8-1 国家高程控制网的布设 .....	313
§ 8-2 一、二等水准路线的选择和水准标石的埋设 .....	316
§ 8-3 精密水准仪及精密水准尺 .....	324
§ 8-4 精密水准仪的检验和校正 .....	332
§ 8-5 精密水准尺的检验 .....	341
§ 8-6 精密水准测量的误差来源及其影响 .....	344

§ 8-7	精密水准测量的一般规定和作业程序	347
§ 8-8	跨河精密水准测量	352
§ 8-9	水准面的不平行性和高程系统	363
§ 8-10	水准测量精度的鉴定	368
§ 8-11	水准测量的外业计算	374
§ 8-12	水准测量的概算和平差	376
第九章	三角高程测量	381
§ 9-1	三角高程测量的基本公式	381
§ 9-2	双向观测的计算公式	384
§ 9-3	地面大气折光系数的选择	385
§ 9-4	垂线偏差的影响和正高的归算	387
§ 9-5	三角高程测量的精度及其应用	389
§ 9-6	三角高程测量的计算和平差	391

# 第一章 緒 論

## §1-1 大地測量学的任务及其对社会主义建設的意义

大地測量学的基本任务是：

1. 研究如何建立国家大地控制网，作为測制各种比例尺地形图的基础，并为国防、各項經濟建設和科学技术問題提供有关地面点精確位置和高程的資料；

2. 研究地球的体形和大小，确定最适宜于本国領土的参考橢圓体和它的定位，作为大地測量計算的基础，并为研究地壳构造、地壳运动等科学問題提供必要的天文、大地、重力資料。

为了測繪和編制全国各种比例尺的地形图，首先必須要求在各个地区所測制的地形图能够互相拼接，成为一个整体。其次还要要求無論在那一地区所測制的地图都能达到一致的精度。要达到上述两个目的，就必須在全国領土上布設整体的、具有均匀密度和精密的国家大地控制网——包括平面控制网和高程控制网。大地測量工作的主要内容就是按照最科学的方案，并用最合理的方法，布設这样的国家大地控制网。

在科学技术飞跃发展的今天，当人类已經进入征服宇宙的新紀元的时候，精密测定地面上許多点的位置和高程，将具有愈来愈重要的意义。因此国家大地控制网的布置不仅要能满足測图的需要，而且还必須为解决更复杂的科学技术問題准备必要的条件。

大地測量工作在地球表面广大的面积上进行。为了将大地測量的观测結果加以正确的处理，以便得到精確的平面位置和高程，就不得不研究地球的体形和大小，首先是研究本国領土范围内的地球体形，确定最适宜的参考橢圓体，用以代替不規律的地球表面，作为大地測量計算的基础。为此必須在进行大地測量的同时，还进行天文和重力測量。只有綜合利用大地、天文、重力的資料，才能正确地解决这个問題。

此外，有关地球的其他一系列科学問題，例如，地壳的升降运动，大陆的移动現象，地极的周期性运动等，也需要大地測量学来协助解决。这些現象都影响到天文大地測量的成果，換句話說，也只有根据不同时期，不同地点的天文大地測量成果，才能驗證和研究这些运动。

由此可见，大地測量工作在我国社会主义建設事业中具有非常重要的意义。無論是国民經濟建設或国防建設都和大地測量有着密切的联系。尤其是全民大跃进的今天，党提出全民办鋼鉄，全民办工业，全民办一切事业的方針，这正是我們向大自然全面进軍的时候。我們要开发祖国的丰富宝藏，兴修水利，建設工业基地和城市，发展农林和交通运输等各項經濟建設，都需要不同比例尺的地形图作为规划、設計和施工之依据。由



于各項建設的規模極大，範圍極廣，要求在短時間內測制全國基本地形圖，並逐步施測各種比例尺地形圖，將成為我們測量工作者的艱巨任務。為此，首先就需要在最短的時間內完成基本大地網的工作，然後隨着測圖的需要，逐步加密。

在經濟建設的同時，還必須加強國防建設。地圖是軍事統帥和指揮員的眼睛，沒有它就无法指揮作戰。尤其是現代的炮兵作戰和防禦工事就更需要詳細和正確的地圖。

我們大地測量工作者應該認識到我們的工作是與祖國的經濟建設和國防建設都有着直接的關係。國家基本建設首先需要地圖，而大地測量又是測圖的基礎，我們必須在黨的領導下，努力掌握大地測量學的知識，有信心地按多快好省的要求來完成祖國交給我們的任務——建立全國天文大地控制網，為全面測圖和其他測量工作以及科學研究工作打好基礎。

## §1-2 地球的體形——大地水準面和參考橢圓體

大地測量工作是在地球的自然表面上進行的，這個表面上有山、谷、江、湖、海洋等等的起伏。為了計算控制點的位置和測繪地形圖，就有必要把直接觀測的結果歸化到一個參考面上，這個參考面必須儘可能地與地球總體形的表面相符合。為此就必須先要認識地球的體形和大小。

### 1. 大地水準面的概念

根據力學我們知道，轉動着的地球體上任何一個質點都同時受到兩個力的作用，一個是地球對它的引力，另一個是由於地球自轉而產生的離心力。這兩個力的合力，就是作用於該質點的重力。重力的方向就是鉛垂線方向。在測量學中已講過，處處和鉛垂線方向成正交的麵叫水準面。地球體上和體內存在着無數個這樣的水準面，大地測量學就要找出一個最接近於地球表面的水準面來代表地球的形狀。

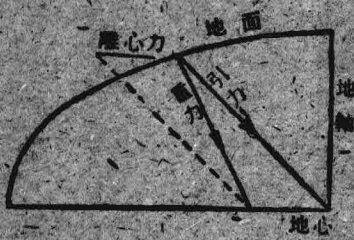


圖 1-1

學上研究地球體形的對象。

設想當海洋面處於靜止平衡狀態的時候，並把它延伸到大陸的內部，使它形成一個連續不斷的、閉合的水準面，這個水準面稱為大地水準面。大地水準面所包圍的體形叫做大地體。大地水準面和大地體就是大地測量

### 2. 參考橢圓體

由於地球外層物質分布不均勻和表面地形起伏的緣故，使得各個地點的重力方向發生局部的變化，而處處與重力方向正交的大地水準面顯然也就有不規則的變化，因此這個僅僅具有上述物理性質的表面，無法用簡單的、可以計算的數學公式來表示。所以大地測量的成果也就不可能在大地水準面上進行計算。

为了大地测量计算的需要,应当选择一个能用数学方法简单表示的、在形状和大小方面与大地体相接近的体形来代替大地体。选择适当大小和扁率的旋转椭圆体就可以满足上述的要求,所以通常用它来代替大地体,并称它为地球椭圆体。地球椭圆体之所以能够用以表示大地体,是因为地球是一个由旋转着的灼热的液体凝固而成的球体,根据力学理论可以证明,它必然接近于一个两极稍扁的旋转椭圆体。

与大地体外形符合最好的地球椭圆体称为总地球椭圆体。总地球椭圆体必须满足下列三个条件:

- (1) 总地球椭圆体的中心与大地体的重心相合,二者的赤道平面也相合;
- (2) 总地球椭圆体的体积与大地体的体积相等;
- (3) 总地球椭圆体面与大地水准面之间高差的平方和为最小。

事实上,只有当全地球上都布满了天文大地网,并进行了重力测量之后,才能求得满足以上三个条件的总地球椭圆体。在没有求得总地球椭圆体之前,每一个国家,为了进行测量成果的处理,都采用一个不完全满足以上条件的椭圆体,但与本国领土比较相合的地球椭圆体,用以作为处理成果的依据,我们把它称为参考椭圆体。

参考椭圆体的形状和大小用它的长半轴  $a$  和短半轴  $b$  来表示,为了计算工作方便,通常用扁率  $\alpha$  来代替短半轴  $b$ 。所谓扁率,是地球椭圆体的长、短半轴之差和长半轴之比。即

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

长半轴  $a$  和扁率  $\alpha$  称为参考椭圆体的元素。

求定地球椭圆体的形状和大小要依据广大地区内天文大地测量和重力测量的资料。到目前为止,世界各国已有许多测量学者推算出地球椭圆体的数值。由于他们所用资料的多寡不同,地区范围不同,因此所得地球椭圆体的数值亦不尽相同。

苏联中央测绘科学研究所的  $\Phi. H.$  克拉索夫斯基教授领导下所推算得的地球椭圆体元素的数值为:

$$a = 6378245 \text{ 米} \quad \alpha = 1:298$$

具有这个数值的椭圆体称为克拉索夫斯基椭圆体。

在这个椭圆体的推导中,不仅采用了苏联本国的大地测量数据,同时也应用了西欧和美国的资料,应用资料的范围包括地球上 20,000,000 平方公里的面积,并引用了苏联大地科学家研究出的最新理论,因而得出结果与地球的真正体形比较最为接近。

现在我国的大地测量工作采用了克拉索夫斯基椭圆体作为参考椭圆体。

### 3. 参考椭圆体的定位

既然把参考椭圆体面作为某一区域或某一国家大地测量计算的参考面,就应当把它与地球体的相互位置确定下来,才能把地面上的点按照这样确定的关系化算到参考椭圆体面上。确定参考椭圆体与地球体之间相互位置的工作叫做参考椭圆体的定位。

为了说明定位的方法，必须首先说明表示地球椭球体面上一点位置的坐标系统。确定椭球体面上一点 $P$ 的坐标，要根据两个基本平面，一个是椭圆体的赤道平面，它是通过椭圆体的中心且与旋转轴 $NS$ 正交的平面，另一个是点 $P$ 的大地子午面，它是通过点 $P$ 且包含旋转轴 $NS$ 的平面。这个平面在椭圆体面上截出的曲线称为点 $P$ 的子午椭圆。

点 $P$ 的大地子午面与格林尼治天文台大地子午面（起始子午面）间的夹角 $L$ ，称为大地经度；点 $P$ 的法线 $PK$ 与赤道平面的夹角 $B$ 称为大地纬度。大地经、纬度就是点 $P$ 的大地坐标。通过点 $P$ 的法线 $PK$ 和椭圆体面上一点 $Q$ 的平面与点 $P$ 的大地子午面所成的夹角 $A$ 称为点 $P$ 至 $Q$ 法面的大地方位角，自点 $P$ 的正北方向顺时针计算。

由此可见，大地经、纬度和大地方位角都是以法线为依据，也就是说，以椭圆体面为依据。

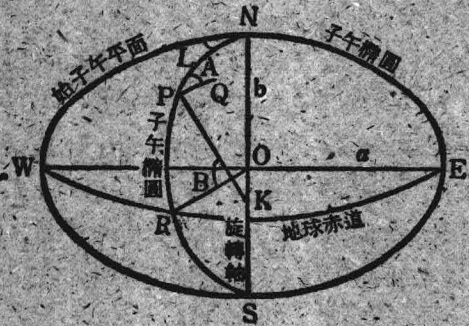


图 1-2

此外，点 $P$ 的位置可以在点 $P$ 上安置仪器用天文测量的方法来测定，但这时仪器的纵轴是与点 $P$ 的铅垂线的方向相合，因而所得的位置是以垂线为依据，将与大地坐标的数值有所不同。包含点 $P$ 的垂线且与地球旋转轴相平行的平面，称为点 $P$ 的天文子午面。这个平面与起始子午面所成的夹角 $\lambda$ 称为点 $P$ 的天文经度，点 $P$ 的垂线与地球赤道平面所成的夹角 $\varphi$ 称为点 $P$ 的天文纬度。天文经度和天文纬度是点 $P$ 的天文坐标。包含点 $P$ 的垂线且通过地面上一点 $Q$ 的平面与点 $P$ 的天文子午面间所成的夹角 $\alpha$ 称为点 $P$ 至点 $Q$ 垂面的天文方位角，也是从点 $P$ 的正北方向顺时针计算。

由此可见，天文经、纬度和天文方位角都是以垂线为依据，也就是说，以大地水准面为依据。

参考椭球体初步定位的方法是，在大地控制网的主干三角系中选择一个三角点 $P_0$ ，作为起始点，在这个起始点上，用天文测量的方法精确地测定该点的天文坐标 $\lambda_0, \varphi_0$ 和至另一三角点的天文方位角 $\alpha_0$ ，并假定 $\lambda_0, \varphi_0$ 和 $\alpha_0$ 就是参考椭球体面上起始点 $P_0$ 的大地坐标 $L_0, B_0$ 和大地方位角 $A_0$ ，即 $\lambda_0 = L_0, \varphi_0 = B_0$ 和 $\alpha_0 = A_0$ 。我们称这一起始点 $P_0$ 为大地基准点，它的大地坐标 $L_0, B_0$ 及大地方位角 $A_0$ 为大地基准数据。其他三角点的大地坐标都根据大地基准数据来推算。

此外还假定点 $P_0$ 高出椭球体面的高程恰好等于点 $P_0$ 高出平均海面（大地水准面）的高程，以使在点 $P_0$ 上大地水准面与参考椭球体面相切。这就是初步定位的方法。当有了大量的大地测量

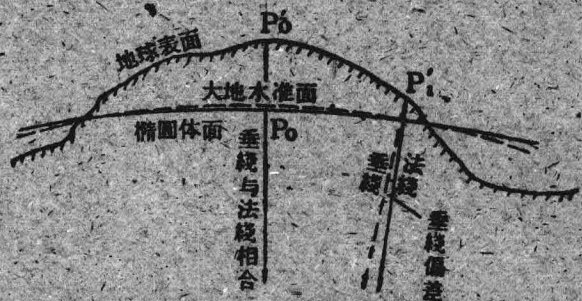


图 1-3

資料之后，还可以用更完善的方法来改进这个初步定位。

#### 4. 垂綫偏差的概念

参考橢圓体經過定位以后，就确定了它和大地体之間的位置关系。但由于这两个体形的大小和形状都不完全相同，因而尽管定位非常恰当，也无法使参考橢圓体面与大地水准面处处相合。这表现在两方面，其一，地面点对大地水准面的垂綫和它对参考橢圓体的法綫一般并不相合，二者所成的夹角称为垂綫偏差；其二，大地水准面和参考橢圓体面不会处处相合，它們之間的差异，称为大地水准面对参考橢圓体面的差距（简称大地水准面的差距）。

垂綫偏差和大地水准面差距数值的大小，不仅与地壳物質分布不均匀有关，而且与参考橢圓体的大小及其定位有关。选取不同的参考橢圓体，就会有不同的垂綫偏差，所以也称为相对垂綫偏差。如果是总地球橢圓体，这时的垂綫偏差称为绝对垂綫偏差。

如上所述，由于垂綫偏差的影响，就使得根据大地基准点在参考橢圓体面上算得一点的大地坐标，与在该点上直接用天文观测所得的天文坐标有所不同。因而反过来也可以利用許多点的大地坐标与天文坐标的差异来推求各点上的垂綫偏差。为此須在大地控制网中布設一定数量的天文点，进行天文坐标的測定。有了适当布置的天文点的垂綫偏差值，再配合重力測量，就可以进一步研究大地水准面的起伏，这是目前研究地球体形和 sizes 的主要方法之一。从天文大地网中所求得的許多点的相对垂綫偏差又可以进一步研究如何改进所选用的参考橢圓体和它的定位。

如果参考橢圓体的大小和定位选择得适当，垂綫偏差一般是个非常微小的角度，平均在 $3''$ — $4''$ 左右，但在地壳构造异常的地区，最大可能达到 $30''$ 左右，大地水准面的差距最大可达 $\pm 100$ 米至 $\pm 150$ 米。

### §1-3 大地測量发展簡史

人类通过生产实践和对天体运行規律的观察，在公元前六世紀就已經知道大地是个圓球体。此后人們又設法推算这个圓球体的大小。公元前三世紀，古希腊学者埃拉托色尼观察到尼罗河上游色尼地方在夏至正午时，日光正好垂直地射入井內，而在它北面的亚历山大利亚地方在夏至正午时，日光与垂綫方向构成 $1/50$ 圓周的角度，按今日圓周分为 $360^\circ$ 來說，相当于 $7^\circ.2$ 。埃拉托色尼認为这两地在同一子午綫上（实际經度相差 $2^\circ$ 余），并根据步行日程估計二地相距約 $5000$ 希腊古里（1希腊古里約等于 $185$ 米）。根据这些数据，他估算出地球的周长为 $250,000$ 希腊古里。这是人类对地球大小的第一次估算，所得結果比現代最精确的結果約大 $15\%$ 。

我国古代劳动人民很早就观察到天体运行与四季气候之間的密切关系，并利用观察天象指导农业生产，因此天文学在我国发展很早。在观察天象时人們发现了在同一季节，南北不同的地方天体的位置也不同，有“地差千里影差一寸”之說。为了准确地測

定“影差”与地面南北距离的关系，公元725年（唐开元12年）在河南平原上进行了长达300公里一段子午弧长的直接丈量。“影差”实际上就代表纬度差，所以这次测量实际上就是一种弧度测量。这样大规模的丈量工作，在人类历史上还是第一次。



图 1-4

十七世纪初，荷兰人斯奈洛第一次应用三角测量方法测定弧度。同时由于生产技术的发展，望远镜、测微器、游标、水准器等相继发明，测量仪器的制造日趋完善，基本上奠定了近代大地测量工作方法和观测技术的基础。

生产力的发展也促进了科学的发展。牛顿在他的万有引力学说的基础上研究了地球的体形，断定地球并不是一个完全的圆球，而是两极略扁的扁球体。

由于生产力的发展，人们不仅关心地球的体形和大小，更需要测量地球表面的形状并且用地形图把它表示出来。为了这种目的，在十七世纪后半期法国开始进行了三角测量。

我国在1702年，为了测绘“皇舆全图”，曾进行了大规模的天文大地测量。这次天文大地测量工作不仅在当时规模最大，而且还发现了纬度愈高每度弧长愈长的事实，证明了牛顿理论的正确。欧洲为了解决这个问题曾派遣两个远征测量队去拉普兰和秘鲁进行弧度测量，但这项工作在我国已经证实之后。

在十七世纪，人类就发现在不同纬度上摆钟行走的速度不相同，说明了重力随纬度而变化。根据这种事实和牛顿万有引力学说，1743年克来脱发表他的名著“地球体形学的理论”，奠定了用重力测量求定地球体形的方法。

十八世纪欧洲资本主义的发展推动了生产力的提高，对于测量制图的需要日益增长，同时仪器制造技术也有了很大的改进，观测精度也大为提高。从十八世纪后半叶起各资本主义国家都相继展开了大地测量，到了十九世纪大地测量工作就愈来愈广泛了。

由于大地测量和重力测量资料积累愈来愈多，推算地球体形和大小的精度也愈来愈高。

二十世纪二十年代，在世界上出现了第一个社会主义国家——苏联。社会主义制度使生产力获得迅速发展，各项经济和国防建设都迫切需要地图，因此在伟大的十月社会主义革命胜利之后（1919），就成立了测量总局，开始有系统的进行大地测量工作。四十年来，苏联建立了世界上规模最大、精度最高、科学价值最大的天文大地网，并从而推算出了目前最可靠的地球椭圆体的元素。

通过大规模大地测量工作的实践，苏联测量工作对大地测量学的理论和技术也作出了很多有价值的贡献。例如，克拉索夫斯基和许多大地测量工作者对于大地测量很多方面理论和实际问题的研究，以及莫洛金斯基通讯院士对于天文大地重力水准的研究，都有力地推动了大地测量学的发展。

## S1-4 我国解放后大地测量的成就和今后的发展方向

解放前，由于帝国主义的侵略和国民党统治者的贪污无能，我国的测绘事业长期未得到发展，大地测量工作进行得非常的少。由于没有建立国家大地控制网，北洋军阀和国民党统治时期所编测的比例尺1:100 000和1:50 000的地形图，内容粗糙错误，而且各省建立自己的坐标系统互不联系。这些地图对于今天来说，没有多大的实用价值。

解放以后，我国人民在党的领导下，摆脱了封建和官僚买办阶级的反动统治，社会生产力获得了空前的发展，国民经济建设事业和国防建设都迫切需要精确的地形图，而国民党时期的旧图残缺不全，质量窳败，所以从1950年起，我国就决定开始建立统一的国家大地网。几年以来，已经完成了国家大地网的骨干——一等三角网系长达4万6千余公里；二、三等三角网322万余平方公里；一、二等精密水准测量路线6万4千余公里；全国基本重力点和一等重力点的测量工作亦已完成。1958年是我国测绘实际工作同时也是测绘立法工作大跃进的一年。在这一年中制定出了大地测量法式（草案），并根据它编制了一、二、三、四等三角测量细则，一、二、三、四等水准测量细则，一、二等基线测量细则等，1958年国家测绘总局提出了测绘工作执行总路线的行动口号，即：“在总路线的光辉照耀下，多快好省地发展测绘事业。实行中央与地方测绘同时并举，正规与简易测绘同时并举，大、中、小比例尺测图相结合，大闹技术革命，猛攻新技术，力争高速度，保证当前工农业大发展的需要，五年赶上国际测绘科学技术水平，十年完成全国第一期基本地图，为我国社会主义建设大跃进提供精密的大地成果和现代的地图资料”。

尽管我国大地测量工作已经取得了伟大的成就，但是没有完成的工作还有很多。首先必须研究解决青藏高原等特殊困难地区布设大地控制网的问题。其次，一等天文大地网中还需要进行大量的天文重力水准测量工作，而现在仅是开始阶段。一等天文大地网只是国家平面控制网的骨干，在一等锁环中按照我国新制订的法式布设全面二等网的工作要比一等三角网的测量工作量大很多倍，至今还完成得不多，而按旧方案布设二等网将来可能还要改造。一等水准测量至今完成得还不多，二等水准路线在西部地区还很少，在东部地区的密度也还须要加密。此外，由于我国社会主义建设的飞跃发展，对于大比例尺测图的要求日益增加，三、四等三角测量和三、四等水准测量的工作必须迎头赶上，这一部分工作量比一、二等更要大得多。这些都是我们大地测量工作者今后要继续努力完成的。

为了完成这样大量的工作，必须不断地改进技术，提高工作效率。首先必须自制和改进精密大地测量仪器。光速测距和微波测距技术今后将广泛地应用于我国的大地测量工作中，为此必须掌握这种新仪器的原理和使用方法，并且大量自制和改进这种仪器，使它更趋于完善。一年以来在全国大跃进的形势下，我国仪器制造工业已经初步试制成功几种精密测量仪器，其中包括大型精密测角仪器和光速测距仪，其他仪器也有许多在

試制中，今后还須繼續努力使之大量生产，以供大地測量工作的需要。

我国天文大地网已接近完成，繼之而来的是这样大規模的天文大地网的全盘平差并根据它确定参考橢圓体最后定位的問題，这是一个艰巨的任务。为了迅速而完滿地完成此項任务，不但要研究平差方法，而且还要研究与此有关的一些理論問題。

由于天文大地网尚未平差，一、二等三角点現在大多只有資用坐标，其精度不足以控制大比例尺測图。随着天文大地网平差，还必須解决大規模二等网的平差方法以及三、四等三角网的布設和平差方法問題。同时为了減輕大地測量中的大量計算工作，应当研究制造測量专用的电子計算机。

社会主义建設事业进展愈快，对于大量測量工作提出要求也必然愈高，大地測量工作者必須鼓足干劲，力爭上游，才能多快好省地完成祖国和人民交給我們的光荣而艰巨的尖兵任务。

## 第二章 国家平面控制网的布网方案和原理

### §2-1 建立平面控制网的各种测量方法

在緒論中已經指出，大地测量的主要任务是在国家的全部領土上建立平面控制网和高程控制网，作为一切测图工作的基本控制。在本节中我們討論建立平面控制网的各种方法、它的基本内容和各种方法的适用范围。

現代可能应用于建立平面控制网的测量方法有四种：天文測量，三角測量，精密導綫測量，雷达成距网。現分別討論如下：

#### 1. 天文測量

人类很早就发现一切天体（包括太阳、行星、恒星等）在空中运行都遵循着一定的規律，而且在地面上不同地点所看到的同一天体的位置也不相同。利用这种自然界的規律，人們很早就会从观测天体的位置来推算地面观测点在地球上的位置（天文經、緯度）以及确定地面目标的方位（天文方位角）。这门科学称为实用天文学。

人类最早編繪的地图就是利用这种天文测定的点位作为控制点，因此可以说，天文点的测定是建立平面控制网的最古老方法。

天文測量方法的优点在于，各个点位的测定是个別进行的，天文点之間不需要任何地面的联系，因此組織工作最为简单，完全不受地面自然地理条件的影响。但天文測量方法的缺点：首先，天文测定的点位精度不高，用現代最精密的仪器和最完善的方法观测，緯度测定的中誤差可达  $\pm 0''.2$ ，經度测定的中誤差可达  $\pm 0''.4$ （在地面上表現点位的中誤差約为  $\pm 6$ — $\pm 12$  米）。不仅如此，天文测定以鉛垂綫为依据，在 § 1-2 中我們已經指出，由于地壳物質分布不均匀，地面一点的垂綫偏差平均达  $\pm 3''$ — $4''$ ，最严重的地方可能达  $\pm 10''$  以上，且地面上相距不远的两点，其垂綫偏差可能有很大的变化。如果两点間的垂綫偏差达  $5''$ ，則根据两点的天文經、緯度推算出两点間的水平距离就要与实际的距离相差达 150 米，由此可见，直接利用天文点作为平面位置控制是不适宜的。

如果测区内已有足够的重力資料，根据它們就可能推算天文点的垂綫偏差概值，用以改正天文测定的結果。这样求得的垂綫偏差概值只能达到  $\pm 1''.0$ — $1''.5$  的精度，在地面上表現 30—50 米，还不足作为一般測量工作的平面控制。但是在边远荒僻，人烟稀少的地区，很难用其它方法布設控制网时，如果急于測繪小比例尺地形图，例如 1:100 000 或更小的比例尺，此时利用相隔較远的天文点作为测图的平面控制仍有其实用价值。



在現代的大地測量工作中，雖然很少用天文點作為直接控制，但是在布設大地網時，都不能沒有天文點。這時天文點的作用在於推算大地方位角，稱為拉普拉斯方位角，用以控制水平角觀測誤差的累積。所以我們常把基本平面控制網稱為天文大地網。關於這個問題我們將在 § 2-3 中討論。這裡僅僅指出，天文測定雖然不是布設平面控制網的直接方法，但布設平面控制網時仍必須作天文測定，所以實用天文學是與大地測量密切相關的。

## 2. 三角測量

在測量學中我們已經知道，為了測定地面上許多點之間的相對平面位置，我們可以量測各點連線的水平距離和連線之間的水平角。在地面上直接丈量水平距離，受地面起伏的限制，而且不易達到高精度；水平角觀測則只要求各點之間能夠互相通視，工作組織也比較簡單，而且也易於達到很高的精度。如果我們把控制點布成三角網，相鄰點之間要求互相通視（如圖 2-1 所示），那末只要測定網中一條邊的的水平距離（例如  $AB$ ），

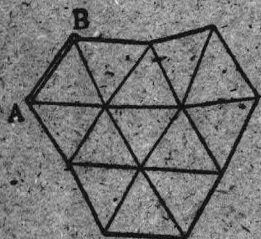


圖 2-1

再測量所有三角形的角度，就可以通過三角形的解算逐一推算網中所有各邊的邊長。如果  $AB$  的方位角（或坐標方位角）和點  $A$  或點  $B$  的坐標（大地坐標或平面直角坐標）為已知，我們又可以推算網中所有各邊的方位角和網中所有各點的坐標。用這種方法作平面控制就稱為三角測量。

在一個三角網里至少要測定一條起始邊的邊長和方位角，還要知道一個起始點的坐標，這些數據稱為三角網的起算數據。

對國家三角測量而言，起始點的坐標是由大地基準數據確定。

起始邊的邊長是用基綫測量的方法丈量求得，或者直接丈量起始邊，或者丈量一條基綫，然後通過基綫網推算起算邊的邊長。應用現代物理測距的方法（光速測距或微波測距），可以不受地形的限制，直接測定起始邊的邊長，達到足夠的精度。

起始邊的方位角由天文測定來決定。但是天文方位角受垂綫偏差的影響，不能直接用作大地測量的起算數據。根據拉普拉斯方程式，可以由天文方位角推算大地方位角：

$$A = \alpha + (L - l) \sin \varphi \quad (2-1-1)$$

式中  $A$  表示大地方位角， $L$  表示大地經度， $\alpha$  表示天文方位角， $l$  表示天文經度， $\varphi$  表示天文緯度。

由此可見，為了決定起始邊的大地方位角，不僅須在起始邊的端點上測定天文方位角，而且還要測定它的天文經、緯度。至於大地經度  $L$  則是根據三角測量的結果在橢圓體面上推算求得。

這種在點上測定了天文經、緯度和天文方位角的三角點稱為拉普拉斯點。按公式 (2-1-1) 推算出來的大地方位角稱為拉普拉斯方位角。

三角測量的主要觀測工作是水平角觀測。根據水平角觀測的結果推算出的各三角形