

中等专业学校试用教材

大地控制测量

上册

南京地质学校 编

地质出版社

中等专业学校试用教材

大地控制测量

上册

南京地质学校 编

地质出版社

内 容 提 要

本书着重介绍大地控制测量外业工作,内容包括三、四等三角测量,二等水准测量,三角高程测量,长度测量和精密导线测量的原理、仪器和作业方法。本书可作为中等专业学校地形测量专业试用教材,并可供有关技术人员参考。

大 地 控 制 测 量

上 册

南京地质学校 编

*

地质部教育司教材室编辑

地 质 出 版 社 出 版

(北 京 西 四)

地 质 印 刷 厂 印 刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本:787×1092¹/₁₆·印张23¹/₂·字数:47,000

1980年7月北京第一版·1980年7月北京第一次印刷

印数1—3,630册·定价3.50元

统一书号:15038·教81

前 言

根据地质部中等地质学校地形测量专业三年制教学计划的要求，我校通过总结历年教学经验，调查研究，广泛征求有关测绘单位的意见，在原有教材的基础上编写了这本《大地控制测量》试用教材。

全书分为上、下两册。上册着重介绍大地控制测量外业工作；下册着重介绍内业计算。上册第一章至第四章由王文中同志编写，第五、六章由高昌洪同志编写。下册由邵诚同志编写。

本书内容紧密结合国家现行作业规范，力求理论联系实际、简明扼要、通俗易懂，适当反映我国近代生产中的新技术。章节内容的编排，考虑到教学中上、下两册同时进行教学时的互相配合和衔接。部分内容仅作为学生的参考。

在编写过程中，我们参考了兄弟院校的教材及有关单位的文献、资料，原稿经武汉地质学院测量教研室胡清泉同志审校，在此谨表示感谢。

由于编者业务水平有限，加上时间仓促，难免存在缺点和错误，诚挚希望使用本教材的同志们提出批评指正。

编 者

一九七九年六月

目 录

第一章 大地测量概述	1
第一节 大地测量的任务和方法.....	1
第二节 大地水准面和参考椭球.....	6
第三节 地面点位置的确定.....	9
第二章 三角测量	20
第一节 国家水平控制网的布网原则和方案.....	20
第二节 三角测量的作业内容和程序.....	31
第三节 技术设计.....	31
第四节 三角锁(网)最弱边精度的估算.....	36
第五节 实地选点.....	49
第六节 造标和埋石.....	61
第七节 J_2 型光学经纬仪.....	74
第八节 经纬仪的误差.....	88
第九节 J_2 型光学经纬仪的检查校正和检验.....	97
第十节 水平角观测误差.....	113
第十一节 方向观测法和测站平差.....	120
第十二节 分组观测、联测及其测站平差.....	132
第十三节 归心改正和归心元素的测定.....	137
第十四节 三角测量外业验算.....	143
第三章 精密水准测量	159
第一节 国家水准网的布网原则和方案.....	159
第二节 水准测量的技术设计、选点和埋石.....	161
第三节 精密水准标尺.....	165
第四节 精密水准仪及其使用方法.....	167
第五节 精密水准仪的检验和校正.....	176
第六节 精密水准标尺的检验和校正.....	182
第七节 精密水准测量误差影响和减弱方法.....	188
第八节 二等水准观测.....	195
第九节 水准测量的外业计算.....	202
第十节 水准测量的精度估算.....	209
第十一节 跨河水准测量.....	210
第十二节 水准测量资料的上交.....	217
第四章 三角高程测量	218
第一节 垂直角和指标差的计算公式.....	218
第二节 垂直角观测.....	220

II

第三节	三角高程测量高差的计算公式·····	225
第四节	大气垂直折光系数 K 的确定·····	230
第五节	水准联络点·····	232
第六节	三角高程测量的高差计算和外业验算·····	232
第五章	长度测量 ·····	239
第一节	标准长度·····	239
第二节	大地控制测量中长度测量概况·····	240
第三节	因瓦基线尺及其附件·····	242
第四节	基线测量的外业工作·····	246
第五节	基线测量内业计算·····	250
第六节	电磁波的基本知识·····	263
第七节	电磁波测距的工作原理·····	269
第八节	电磁波测距仪的分类和使用概况·····	271
第九节	JCY-2型激光测距仪·····	273
第十节	HGC-1型红外测距仪·····	293
第十一节	EOT-2000红外测距仪·····	300
第十二节	相位式光电测距仪的误差和精度测算·····	307
第十三节	电磁波测距的野外供电设备·····	319
第六章	精密导线测量 ·····	328
第一节	精密导线测量概述·····	328
第二节	精密导线的布设·····	330
第三节	精密导线测量的外业工作·····	332
第四节	导线测量的精度估算和分析·····	348
第五节	有关导线设计的几个问题·····	365

第一章 大地测量概述

第一节 大地测量的任务和方法

大地测量工作,是在大的区域或全国领土的地球表面上,选定一系列点子,并测定这些点的精确水平位置和高程,建立起基本测量控制网,作为各种测量工作的基础。这些点称为大地点。因为大地点对地形测图起控制作用,所以又称为大地控制点。

大地测量分为水平控制测量和高程控制测量两个主要部分。水平控制测量用来测定大地点的精确水平位置,即测定大地点的地理坐标(大地经度 L 和大地纬度 B),以确定其在参考椭球面上的投影位置;或测定大地点的高斯平面直角坐标(纵坐标 x 和横坐标 y),以确定其在高斯投影平面上的位置。高程控制测量用来测定大地点的精确高程。

大地测量是在大区域内进行的,测量成果的处理和计算以参考椭球面为依据,它要考虑地球表面弯曲的影响,测量精度也比较高。图根控制测量是在局部的小面积地区内进行的,它将该小面积地区的地球表面看成平面,不考虑地球表面弯曲的影响,测量精度比较低。这就是大地测量和图根控制测量的主要区别。

在实际工作中,大地测量是指国家等级精度的控制测量,如国家一、二、三、四等三角测量、精密导线测量和水准测量。

一、大地测量的任务

(一) 控制大面积各种比例尺测图

国家基本地形图是分幅进行测绘的,它要求测制的各幅图必须能够无漏洞、无重叠和无歪曲地互相拼接成一个整体,并具有相同的精度。这样就可以将各个测绘部门在不同时期测制的各地区地形图逐步拼接起来,积累成为整个国家的基本地形图。

如果在全国领土上建立了统一的水平控制网,精确测定了网中各大地点的大地坐标,就可以正确划分图幅并能在实地上找到它的位置,因而分幅独立测图时,各相邻图幅之间不会出现漏洞、重叠和歪曲。又因为大地点平面位置的测定精度比较高,分幅测图时,各幅图的测量误差受到大地点的限制,不会积累得很大,这样就保证了各幅图的平面位置具有相同的测图精度。因此,分幅测制好的各幅地形图,它的平面位置可以在测图精度之内互相接合。

按照同样的道理,如果在全国领土上建立了统一的高程控制网,精确测定了网中各大地点的高程,各相邻图幅的等高线便可以互相接合。

由此可见,大地测量是大面积各种比例尺测图的控制基础。

(二) 提供决定地球形状大小和有关科学所需要的资料

在整个地球自然表面上进行的大地测量工作,要正确处理它的观测成果,必须首先研究地球的形状和大小,决定最接近地球真实形体的地球椭球,然后以它的表面作为大地测量计算的基准面。这个问题,只有综合利用全球的地面大地、天文、重力测量和卫星大地

测量资料才能完善地解决。此外,研究地壳的升降、大陆的移动、各个海水面间的高差、地极的周期性运动和地球重力场等有关地球的一系列科学问题,也需要有大地测量资料。

二、大地控制网的建立方法

大地控制网分为水平控制网和高程控制网。水平控制网的建立方法有大地测量、天文定位测量和卫星大地测量;高程控制网的建立方法有几何水准测量和三角高程测量。

(一) 建立水平控制网的方法

1. 大地测量

(1) 三角测量

在地球表面上选定相邻点间互相通视的一系列大地点(三角点),以三角形的图形将它们连接起来,构成球面上的三角网(锁)。观测网中的所有角度和至少一条边长,并按一定的方法化算为平面上的角度和边长,即将球面上的三角网转化为平面上的三角网,如图(1-1)所示。以化算后的平面边长 S_{AB} 为起始边,用平面三角学公式依次解算各三角形,算出网中

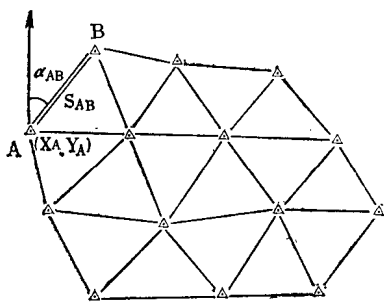


图 1-1

各边的平面长度。再根据A点的已知平面坐标 (x_A, y_A) 和AB边的已知平面方位角 α_{AB} ,依次推算出网中各点的平面坐标。这就是三角测量的基本方法和原理。因为这种方法的主要工作是测量网中各三角形的三个角度,所以称为三角测量。

三角测量的优点是布设的三角网呈网状,控制面积大,检核条件多;测角精度高,用精密测角仪器观测水平角的中误差可以达到 $\pm 0.''5 - \pm 0.''7$,因而用角度推算得的平面边长和方位角有较高的精度;主要工作是测角,组织比较简单。缺点是除起始边和起始方位角外,其余各边及其方位角是用角度推算出来的,随着测角误差的传播,使各边及其方位角精度不匀,并且距起始边和起始方位角越远的边长和方位角精度越低,但只要在网中适当位置加测起始边和起始方位角,就可以控制误差的累积,保证三角网有足够的精度来控制各种比例尺测图。因此,三角测量是我国目前建立水平控制网的主要方法。

(2) 精密导线测量

在地球表面上选定相邻点互相通视的一系列大地点(导线点),将它们连接起来,构成球面上的导线。用电磁波测距仪测定导线各边的长度,用精密测角仪器测量导线的各转折角,并按一定的方法把它们化算为平面上的边长和角度,即将球面上的导线转化为平面上的导线,如图(1-2)所示。根据A点的已知平面坐标 (x_A, y_A) 和AB边的平面方位角 α_{AB} 依次推算出各导线点的平面坐标。

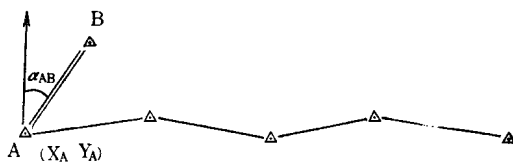


图 1-2

这就是精密导线测量的基本方法和原理。

精密导线测量的优点是导线采用单线形式布设,只要求对前后两个相邻点通视,选点较为灵活,在高原、森林和隐蔽等特殊困难地区容易适应地形;各导线边均直接测定,精度均匀,导线的纵向误差较小。缺点是控制面积狭小,检核条件少,横向误差大;既测角又测边,组织工作较为复杂。所以,精密导线测量一般用于三角测量难以开展的特殊困难地区。

(3) 三边测量

三边测量是用电磁波测距仪测定水平控制网(三边网)中各三角形的三条边长,通过几何关系推算出各三角形的角度,进而推算出各边的方位角以计算各点的坐标。这就是三边测量的基本方法和原理。

三边测量的缺点在于角度是间接推算出来的,方位角的推算精度较低,网的横向误差较大。若要弥补这个缺点,需要在网中施测较密的起始方位角,增加了天文定位测量的工作量。同时组织测边工作也比较复杂。所以是否适宜采用纯粹的三边测量方法去建立水平控制网还有待研究。

2. 天文定位测量

宇宙天体的运行,都遵循着一定的规律,因而通过对天体的观测,可以确定测站点的水平位置。天文定位测量的方法,是在地面测站上用天文测量仪器测定天体的瞬时位置(垂直角和水平角),并记录相应的时刻,按照一定的计算公式,则可算出测站点的天文经度 λ 、天文纬度 φ 和测站点至某照准点方向的天文方位角 α 。进行了天文经纬度测量的测站点称为天文点;既测量了天文经纬度,又测量了天文方位角的测站点称为拉普拉斯点。

天文定位测量的优点是天文点间无需地面联系,各点均独立测定,组织工作简单,受地形条件的影响小。缺点是测定的点位精度不高,用目前天文定位测量仪器所测定的天文经纬度的中误差达 $\pm 0.''2 - \pm 0.''4$,它表现在地面上的点位误差为 $\pm 6 - \pm 12$ 米。因此,天文定位测量方法不能用来建立国家水平控制网。但在建立国家水平控制网中,天文定位测量起着一定的作用,必须有天文定位测量相配合。

天文定位测量在大地测量中的作用是:

(1) 进行参考椭球定位,确定统一的国家坐标系的大地基准数据。即确定大地原点的大地经度 L 、大地纬度 B 和至某相邻大地点方向的大地方位角 A ,作为推算所有国家大地点的大地坐标的起算数据。

(2) 比较各大地点的大地坐标和天文坐标来确定其垂线偏差(同一点的铅垂线与法线之间的交角),以解决大地测量计算中将水平角观测成果归化到参考椭球面上的问题;将天文方位角化算为起始大地方位角,用以控制大地测量中水平角观测误差的累积,提高国家水平控制网的精度。

天文方位角化算为大地方位角的公式是

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

式中: α 为某大地点 K 至其相邻大地点 M 方向的天文方位角。 A 为相应的大地方位角;

λ 、 φ 为某大地点 K 的天文经度和天文纬度。 L 为同一点的大地经度。

(1-1)式称为拉普拉斯方程式。用拉普拉斯方程式计算得的起始大地方位角,称为拉普拉斯方位角。

(3) 进行天文重力水准测量,为研究地球形状和大小提供重要资料。

3. 卫星大地测量

卫星大地测量是随着空间科学技术发展而产生的一门新兴科学技术,这门科学技术简单的说,就是利用人造卫星来解决大地测量问题。

卫星大地测量方法分为几何法和动力法两种,前者用来建立全球统一的地心坐标系,

提供地面点高精度的地心坐标；建立卫星大地网来提高和扩展现有的大地网。后者用来推求地球重力场参数，研究地球形状大小和卫星轨道的各种摄动。

几何法卫星大地测量的观测方法一般分为光学摄影法、激光测距法和无线电法三类。

(1) 光学摄影法

如图(1—3)所示，光学摄影法的基本思想是在地面测站 A 上，于某一瞬间用摄影仪对卫星 S 进行摄影观测，于是在底片上有卫星星象和背景恒星星象，因为恒星在天球坐标是已知的，所以根据它们可以推算出卫星的天球坐标，从而确定了测站 A 至卫星 S 的方向 γ_A 。

若在两个地面测站 A 、 B 上于同一时刻对卫星 S 进行观测(称为同步摄影观测)，则可得到 A 、 B 测站至卫星 S 的方向 γ_A 和 γ_B ，它们与连接 A 、 B 测站的弦 AB 构成了一个平面(称为同步平面)。若再在 A 、 B 站上进行第二次同步摄影观测，又得到一个同步平面 ABS' 。显然，两个同步平面的交线即为弦 AB 。这就是说，在 A 、 B 测站上进行两次同步摄影观测，便可确定弦 AB 。

同理，若在测站 B 、 C 上进行两次同步摄影观测，则可确定连接 B 、 C 测站的弦 BC 。余类推。

确定了三角形 ABC 各边长度后，解算三角形 ABC ，可得到该三角形各顶角值。如果 A 、 B 为已知站，它们的坐标和 AB 边方位角已经知道，就可以推算出未知站 C 的相对地心坐标。

(2) 激光测距法

如图(1—4)所示，激光测距法的基本思想，是在三个地面已知站 A 、 B 、 C 和地面未知站 D 上，用激光测距仪对三个卫星位置进行同步测距，得出各站至三个卫星位置的距离。然后在三个已知站 A 、 B 、 C 上，按前方交会原理先确定卫星位置 S_1 、 S_2 和 S_3 。再根据 S_1 、 S_2 和 S_3 ，按后方交会原理确定未知站 D 的相对地心坐标。

(3) 无线电法

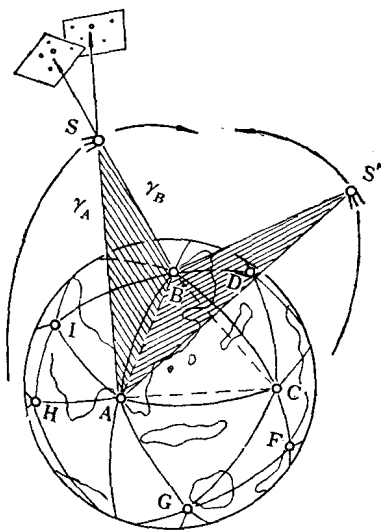


图 1—3

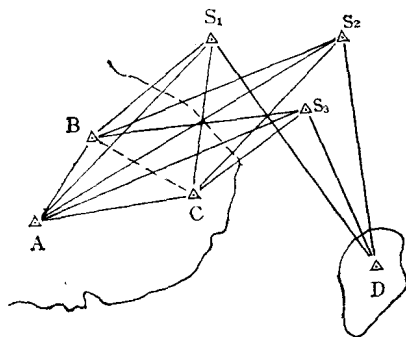


图 1—4

目前广泛使用的多普勒测量，是无线电法的一种。它定位测量的基本思想如下：

1842年，奥地利物理学家多普勒通过多次科学实验，分析火车通过时汽笛声调变化的原因，发现发射频率与接收频率的差值同发射机与接收机之间的相对速度成正比，这种现象称为多普勒效应或多普勒频移。多普勒测量就是利用子午导航卫星系统，根据多普勒效应原理进行工作的。

大家知道，卫星绕地球运动，它和地面接收站有一个相对速度，因此，卫星发射固定频率 f_s 的电磁波后，地面接收机收到的频率就有了变化，即接收频率 f_r ，存在着多普勒频移。

多普勒频移和相对速度的关系是

$$\Delta f = f_r - f_s = \frac{f_s}{c} \dot{r} \quad (1-2)$$

式中： Δf 是多普勒频移；

c 是真空中光速；

$\dot{r}$ 是卫星发射机到地面接收机的径向速度。

由于频率的瞬时值不能测出，人们常在地面接收机内增加一个固定参考频率——本机振荡频率 f_0 。测量时，由地面接收机累记下特定时间段内（譬如二分钟）本机振荡频率 f_0 和接收频率 f_r 之差频的差拍周期数——多普勒计数 N 。

多普勒计数与距离差有如下的关系：

$$N_i = (f_0 - f_s)(t_{i+1} - t_i) + \frac{f_0}{c}(r_{i+1} - r_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (1-3)$$

式中： N_i 是时刻 t_i 和 t_{i+1} 之间的多普勒计数；

r_i 是 t_i 时刻卫星位置到地面站的距离；

r_{i+1} 是 t_{i+1} 时刻卫星位置到地面站的距离。

在 (1-3) 式中， c 、 f_0 和 $t_{i+1} - t_i$ 是已知量。考虑到卫星发射频率存在频率漂移，而漂移速度通常是不能确切知道的，所以 $f_0 - f_s$ 一般作未知量来处理。

由 (1-3) 式可知，根据 $t_{i+1} - t_i$ 特定时间段内观测得的多普勒计数 N_i ，可以测量出卫星位置到地面站的距离差 $r_{i+1} - r_i$ ，这个距离差则具体体现出卫星位置的已知坐标和地面站未知坐标之间的一定关系，即当卫星在瞬时 t_1 和 t_2 的位置 S_1 和 S_2 为已知时，地面站 M 就位于以 S_1 、 S_2 为焦点的一个旋转双曲面上，并且该旋转双曲面与地球面相交得出的一条曲线 $L_{1,2}$ 将通过 M 点，见图 (1-5)。

若卫星在 S_2 、 S_3 位置之间时再进行第二次观测和计算距离差，又可得到第二条曲线 $L_{2,3}$ ，见图 (1-6)。这时， M 点就位于 $L_{1,2}$ 和 $L_{2,3}$ 曲线两个交点中的一个点上。倘若继续进行第三次观测和计算距离差，得出第三条曲线 $L_{3,4}$ 后，则 M 点就位于三条曲线的交点上，从而确定了地面未知站 M 的位置。

综上所述，多普勒测量的基本思想，就是利用测量卫星发射电磁波的多普勒频移，来确定卫星位置至地面站的距离差，由距离差得出旋转双曲面，再由几个旋转双曲面的交会求出地面未知站的绝对地心坐标。

实际测量作业时，利用六颗飞行高度约为 1100 公里的子午卫星，发射 400 兆赫和 150 兆赫频率的电磁波，地面站接收机接收到电磁波后，由它所附的电子计算机根据相应的卫

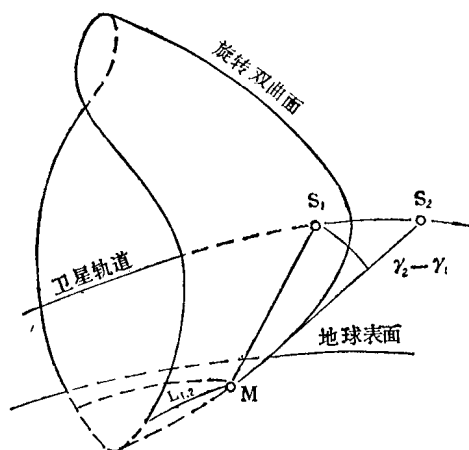


图 1—5

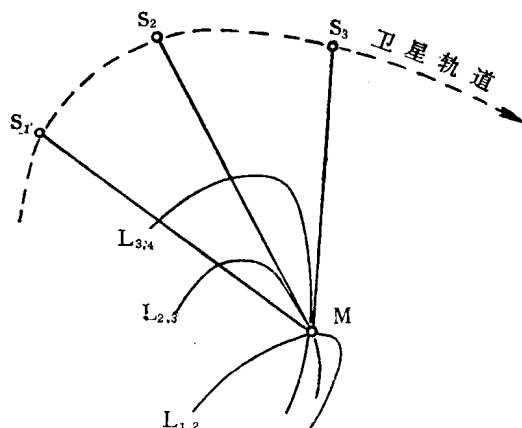


图 1—6

星位置星历表进行处理，并由电传印刷机打印出地面站的绝对地心坐标。一般是以通过几天若干次的观测来确定地面站的最后坐标。

附带说明，目前多普勒测量的定位精度达到 0.7 米。

(二) 建立高程控制网的方法

1. 几何水准测量

几何水准测量的基本原理，是利用水准仪的水平视线来读取垂直置在地面两点上的标尺的分划数，以求得该两地面点的高差，然后推算出地面点的高程。

几何水准测量的优点是高程测定的精度较高，例如用精密水准测量将高程传算到四、五千公里远的水准点上，其高程中误差不会超过 ± 1 米；测得的高程是以大地水准面为基准面的，它具有物理意义（如水从超出海面较高的点流向较低的点），能够很好地为生产服务。因此，几何水准测量是建立统一的国家高程控制网的方法。

2. 三角高程测量

三角高程测量的基本原理，是测定两地面点间的水平距离和垂直角来计算它们的高差，进而推算出地面点的高程。

三角高程测量的缺点在于垂直角观测值受大气垂直折光影响而含有较大的误差，因而高差的测定精度较低；经过垂线偏差改正后所得到的地面点高程，是以参考椭球面作为基准面，它没有物理意义。因此，三角高程测量不能作为建立国家高程控制网的基本方法。用三角高程测量方法测得的大地点高程，一般作测图高程控制用。

第二节 大地水准面和参考椭球

一、大地水准面和大地体

在讨论大地水准面之前，先说明和它相关的铅垂线和水准面两个问题。

(一) 铅垂线和水准面

1. 铅垂线

如图 (1—7)，地球表面上每一个质点，同时受着地球引力 F 和离心力 P 的作用（这

两种力是主要的作用力)，它们的合力 g 称为重力，合力的作用方向称为重力方向，测量上称为铅垂线方向，它大致指向地心。重力值是重力加速度的数值，所谓重力测量，就是测定地球表面上点的重力加速度。

2. 水准面

静止的液体表面称为水准面。在自然界中，水准面是客观存在着的，并且它具有处处和铅垂线相垂直的特性，见图（1—8）。

在图（1—9）中，假设液体表面不与重力方向（铅垂线方向）垂直，这时重力 g 可分解为 N_1 、 N_2 两个分力，在分力 N_1 的作用下，液体就要流动，它的表面就不是水准面。由此可见，静止的液体表面，即水准面必定是处处和铅垂线垂直的。

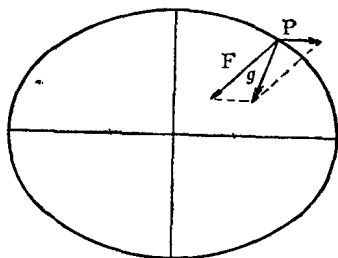


图 1—7

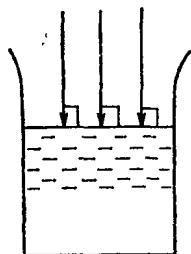


图 1—8

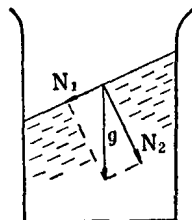


图 1—9

（二）大地水准面和大地体

大地测量野外工作，是在地球自然表面上进行的。地球自然表面起伏不平，变化复杂，这样一个不规则的表面，既不容易对地球形状和大小构成清楚明确的概念和对它进行研究，又无法正确处理和计算大地测量成果，因此，有必要找一个简单的几何形体表面来代替不规则的地球自然表面，作为大地测量计算的基准面。而选择的这个简单几何形体则应与地球的真实形状和大小最为接近。

大家知道，地球的客观实际情况是存在着比较稳定的海洋面，并且海洋的面积约占地球总面积的71%，因此，静止的海洋面是地球上最广大的水准面。虽然地球的陆地上有高达8848米的珠穆朗玛峰，海洋上有深达11022米的马里亚纳海沟深渊，但这些数值与地球半径6370000米相比较是微不足道的，从总体上看，由静止的海洋面所包围的地球形体，比较真实地反映地球的形状和大小。所以人们设想当海洋面处于静止状态时，把它延伸穿过大陆下方，并保持着处处和铅垂线相垂直的特性，这样来使它形成一个连续不断的、包围整个地球的闭合水准面，这个水准面就称为大地水准面。而由大地水准面所包围的地球形体称为大地体。大地体是地球的真实形状和大小，是大地测量研究地球形体的对象。

应当指出，由于风浪、潮汐的作用，海洋不会静止下来，因而无法找到静止的海洋面。为了解决这个矛盾，人们就用验潮所确定的平均海水面来代替静止的海洋面，所以大地水准面实际上是指平均海水面（又称中等海水面）。

二、总地球椭球

大地水准面与重力相关，它是地球的物理表面。由于地球自然表面起伏不平和地壳物质分布不均匀，引起了重力方向和大小发生不规则的变化，因此，处处和铅垂线相垂直的大地水准面便成了一个略有起伏的不规则曲面，见图（1—10）。这个曲面是无法用简单的

数学公式来表示的, 所以不能在它的上面计算大地测量成果。为此, 需要找出一个最接近大地体的简单几何形体来代替大地体。

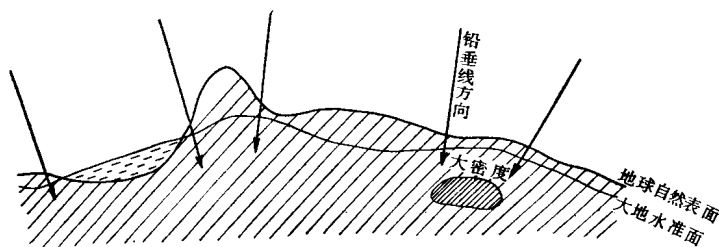


图 1—10

人们从长期生产斗争和科学实验中对地球有了这样的认识: 地球在它发展和形成过程中, 曾有一个时期, 它的物质完全处于流体的状态; 地球内部物质分布的密度, 是由表面向地心分层地按一定的规律逐渐增大的。根据这种认识, 应用力学理论可以证明, 这样分布而又旋转着的物质, 当处于平衡状态时, 它的表面所形成的形体是一个两极略扁的扁球, 这个扁球同个椭圆绕其短轴旋转所形成的旋转椭球 (见图 1—11) 十分接近, 这个与大地体最为接近的旋转椭球称为总地球椭球。

总地球椭球应满足下列三个条件:

1. 总地球椭球的中心与大地体的质量中心重合, 两者的赤道平面也重合;
2. 总地球椭球的体积与大地体的体积相等;
3. 总地球椭球面与大地水准面之间高差的平方和为最小。

从理论上说, 如果在全球上布满了联成整体的天文大地网并遍施重力测量, 是可以确定总地球椭球的, 但目前无法实现。卫星大地测量出现后, 为解决这个问题开辟了一条新途径, 即通过人造地球卫星的国际联测资料, 可以推算出总地球椭球形状和大小的元素, 并且目前已有了几个推算结果。但由于联测站数量不多, 它们的分布又不广泛, 这些结果还不够可靠。可以肯定, 将来根据全球的地面大地、天文、重力测量和卫星大地测量资料, 是能够求得与大地体最为接近的总地球椭球的, 然而在短期内还办不到。

三、参考椭球

在没有求得总地球椭球之前, 各国为了处理和计算本国大地测量成果, 采取了一个过渡的办法, 先用本国或一个地区的地面大地、天文和重力测量资料, 推算出一个与总地球椭球形状和大小相近似的地球椭球, 并把它安置在适当的位置上, 使它的表面与本国或该地区的大地水准面相符合, 然后以这个地球椭球面作为基准面来处理本国或该地区的大地测量成果。这个由地球局部测量资料所确定, 并为一国或一地区所使用的地球椭球, 称为参考椭球。

从上述可知, 要使参考椭球面与本国领土范围内的大地水准面相符合, 所确定的参考椭球元素值和它的安置位置 (参考椭球的定位) 都必须恰当。

参考椭球的基本元素有长半径 a 、短半径 b 和扁率 $\alpha \left(\alpha = \frac{a-b}{a} \right)$ 等等, 只要知道其中两个元素值, 参考椭球的形状和大小便可以确定下来, 通常是采用长半径 a 和扁率 α 的组合。

到目前为止,世界各国已有许多测量学者推算出地球椭球的元素值,由于他们所用的资料多寡不同,地区范围不同,所得结果也不一样。

我国解放初期,由于历史的原因,暂采用克拉索夫斯基椭球作为参考椭球,其长半径为 6378245 米,扁率为 1:298.3。参考椭球的定位,暂依 1954 年北京坐标系的大地基准数据为准,来推算各大地点的大地坐标。这个问题以后再讨论。

由卫星大地测量测得的地球椭球元素值可知,克拉索夫斯基椭球的扁率比较准确,长半径则大了 100 多米,虽然这种差异对测图影响不大,但对发展空间科学技术是不适应的。

解放廿多年来,在党的领导下,我国基本上完成了天文大地网的布测工作,目前正着手进行整体平差,同时参考椭球的定位工作也在试算,不要多久便可确定出适合我国的参考椭球和建立起我国独立的大地坐标体系。

第三节 地面点位置的确定

一、地面点水平位置的确定

(一) 大地坐标系

1. 参考椭球的基本线和面

(1) 法线

如图 (1-11), 过参考椭球面上任意点 P_1 作参考椭球的切平面, 则过点 P_1 而垂直切平面的直线 $P_1 K$ 称为点 P_1 的法线。法线 $P_1 K$ 与参考椭球的旋转轴 NS 相交于 K 点。

(2) 子午面和子午圈

含旋转轴 NS 的平面称为子午面 (又称大地子午面)。如图 (1-11) 中的 $NP_1 RS$ 平面, 是点 P_1 的子午面, 它即为旋转轴 NS 与点 P_1 法线 $P_1 K$ 所构成的平面。

子午面与参考椭球相截得的椭圆, 称为子午圈或经圈 (又称为子午线或经线)。如图 (1-11) 中的椭圆 $NP_1 RS$ 为点 P_1 的子午圈。

应当指出, 根据世界各国协议, 把通过英国格林尼治天文台的子午面作为大地经度的起始面, 这个子午面称为起始子午面或首子午面。

(3) 平行圈

垂直于旋转轴 NS 的平面, 与参考椭球相截得的圆, 称为平行圈或纬圈 (又称纬线)。

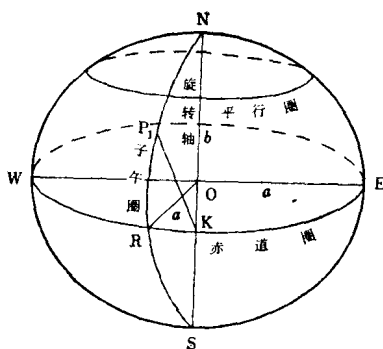


图 1-11

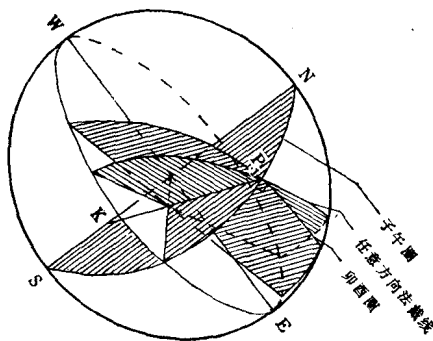


图 1-12

(4) 赤道面和赤道圈

过参考椭球中心 O 并垂直于旋转轴 NS 的平面称为赤道面。赤道面是大地纬度的起始面。

赤道面与参考椭球相截得的大圆，即过参考椭球中心的平行圈 WRE ，称为赤道圈或赤道。

(5) 法截面和法截线

含法线的平面称为法截面或法面。法截面与参考椭球相截得的线称为法截线，见图(1—12)。参考椭球面上任意一点的法截线有无穷多个，而子午圈是其中的一个。

(6) 卯酉面和卯酉圈

垂直于子午面的法截面称为卯酉面。卯酉面与参考椭球相截得的线称为卯酉圈，见图(1—12)。

2. 大地坐标系

大地坐标系的两个坐标是大地经度和大地纬度，它用来表示地面点 P 沿法线方向投影在参考椭球面上的投影点 P_1 的水平位置，见图(1—13)。

(1) 大地经度

点 P_1 的大地子午面与起始子午面之间的夹角，称为点 P_1 的大地经度，以符号 L 表示。

(2) 大地纬度

点 P_1 的法线与赤道面的夹角，称为点 P_1 的大地纬度，以符号 B 表示。

生产实践中常用到大地方位角，它的定义是：点 P_1 的大地子午面，与点 P_1 过参考椭球面上点 Q_1 的法截面之间的夹角，称为 P_1Q_1 方向的大地方位角，并从点 P_1 的正北方向顺时针计算。大地方位角以符号 A 表示。

从上述可知，大地经、纬度和大地方位角都与法线相关，即以法线为依据，也就是说，以参考椭球面为依据。

(二) 天文坐标系

用天文定位测量方法直接测定地面点的水平位置时，所采用的坐标系是天文坐标系，

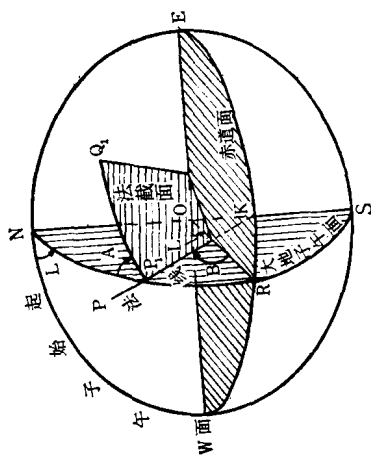


图 1—13

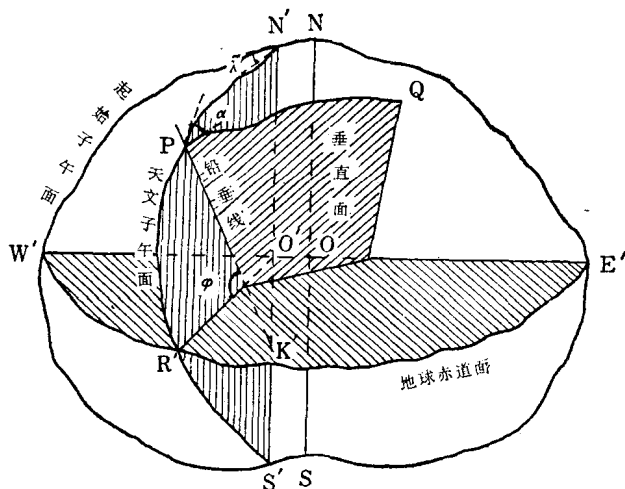


图 1—14

测得的坐标是天文坐标, 即天文经度和天文纬度。由于在地面点上进行天文定位测量时, 是依该点铅垂线方向来整置仪器的, 所以测得的天文坐标以铅垂线为依据, 也就是以大地水准面为依据。

在图(1-14)中, NS 为地球旋转轴, P 为地面点, PK' 为点 P 的铅垂线。包含点 P 的铅垂线 PK' 的一切平面称为点 P 的垂直面。在点 P 的垂直面中, 其中有一个与地球旋转轴 NS 相平行的垂直面 $N'PR'S'O'$, 称为点 P 的天文子午面。通过地球质量中心 O 并垂直于地球旋转轴 NS 的平面 $W'R'E'O$, 称为地球赤道面。以上是天文坐标系中的基本线和面。

1. 天文经度

点 P 的天文子午面与起始子午面之间的夹角, 称为点 P 的天文经度, 以符号 λ 表示。

2. 天文纬度

点 P 的铅垂线与地球赤道面的交角, 称为点 P 的天文纬度, 以符号 φ 表示。

生产实践中常用到的天文方位角, 其定义是: 点 P 的天文子午面, 与点 P 过地面点 Q 的垂直面之间的夹角, 称为 PQ 方向的天文方位角, 并从点 P 的正北方向顺时针计算。天文方位角以符号 α 表示。

(三) 参考椭球定位的概念

1. 参考椭球初步定位的方法

因为参考椭球面是地面大地测量计算的基准面, 所以应把选用的某一个参考椭球安置在适当的位置上, 使参考椭球面和本国或一个地区的大地水准面的关系位置固定下来, 这样才能将地面观测值归算到参考椭球面上去。确定所选用参考椭球与本国或一个地区大地水准面关系位置的工作, 称为参考椭球的定位。

一个国家在未测设天文大地网之前, 进行参考椭球初步定位(一点定位)的方法是: 先在天文大地网中选择一个三角点 P' 作为起始点, 见图(1-15), 在这个起始点上, 用天文定位测量方法精确测定该点的天文坐标 λ_0 、 φ_0 和至某一三角点 Q 方向的天文方位角 α_0 , 然后假定它们就是参考椭球面上起始点 P_0 的大地坐标 L_0 、 B_0 和大地方位角 A_0 , 即命

(P' 点的天文经度) $\lambda_0 = (P_0$ 点的大地经度) L_0

(P' 点的天文纬度) $\varphi_0 = (P_0$ 点的大地纬度) B_0

($P'Q$ 方向的天文方位角) $\alpha_0 = (P_0Q$ 方向的大地方位角) A_0

此外, 还假定点 P' 高出平均海水面(大地水准面)的高程等于点 P' 高出参考椭球面的高程, 即大地水准面和参考椭球面在点 P 处重合。这样, 选用的参考椭球与一国的大地水准面的关系位置便确定下来。

上述初步定位方法的几何解析如下:

由图(1-15)看出, 当 $\lambda_0 = L_0$ 和 $\varphi_0 = B_0$ 时, 就是使点 P' 的铅垂线 P'_0K 和参考椭球

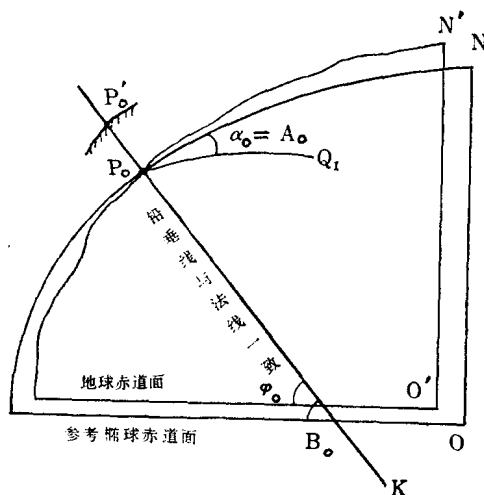


图 1-15