

高等学校教材

测量学

中国地质大学测量教研室 编

地质出版社



高等学校教材

测 量 学

中国地质大学测量教研室 编

地 质 出 版 社

(京) 085号

内 容 提 要

本书是高等地质类院校适用的《测量学》教材。在1983年原版的基础上经修订后共分四篇十一章，分为三个方面：地面基础测量；地形图与航空照片的应用和专项工程测量。全书内容较大幅度地满足地质工作者所需的地形图、航片应用的基础知识以及各种地质工程测量的方法。书后还编有附录及介绍常用的计算机程序，可供教学和生产上参考。在每章结尾外均附有复习思考题，便于读者巩固所学知识，不断总结提高。

本书可供有关高等院校《测量学》教学时使用，也可供从事地质与测绘工作的人员参考。

高 等 学 校 教 材 测 量 学

中国地质大学 编
测量教研室

*
责任编辑：李游明

地质出版社出版
(北京和平里)

地质出版社(北京)印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所发行

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：12.625 彩图：8页 字数：30000

1991年9月北京第一版·1991年9月北京第一次印刷

印数：1—8000册 定价：3.80元

ISBN 7-116-00828-4/F·011

前 言

由于当代测绘科学的迅速发展,对测绘教材的编写提出了新的水准、新的要求。同时,更密切地结合当前地质专业的实际需要仍然是编著者们的寄望。为此,在进入20世纪90年代的时刻,对1983年出版的《测量学》进行修编是刻不容缓的。

1987年在西安召开的《地矿部测量学课程教学研究委员会》的第一次会议上,针对本书对地质院校各专业的基本要求统一了认识,对修编的原则也提出了许多宝贵的意见。在1988年召开的第二次会议上,又对中国地质大学撰写的修编稿进行了认真的评审,与会者一致认为修编后的教材可作为地质及有关院校的通用教材。

在修编过程中,我们既保持了原书编写的特色,即注意系统性、适应性,内容力求简炼、少而精。同时又对全书的科学性作了慎密的考虑,并作了如下补充调整:增编了我国新旧两种坐标系;全站电子速测仪简介;地理底图在编制地质图中的作用及编绘要求以及航空像片的应用和影像图等。目前,地矿部门广泛采用了PC-1500袖珍机,为此,在附录中也编写了地质工作中常用的坐标变换和地图分幅编号的程序及实例,供读者在使用时参考。考虑到各院校添置的科学计算器型号不一,种类繁多,故在本书各章节的算例中未编写某一型号计算器的运算方法,各校可自编与之适应的补充讲义。

本书编写分工如下:第一篇、第二篇一至二章由吴蕴珉编写;第二篇三至四章和第四编九至十章由胡清泉编写;第二篇第五章及附录由王祖英编写;第三篇六至八章由黄景湖编写。全书最后由李汝昌整理定稿。书内插图大部分由方敏绘制。

尽管本书在编写中已作了一些修整,难免还有许多不足之处,切望读者继续提出批评和指正。

编 者

1990年1月

目 录

第一篇	1
第一章 绪论	1
§ 1—1 测量学的任务及其在地质勘探中的作用	1
§ 1—2 地球的形状和大小	2
§ 1—3 地面点位的确定	3
§ 1—4 测量工作概述	9
§ 1—5 测量学的发展概况	10
第二篇	12
第二章 方向与角度测量	12
§ 2—1 方向测量	12
§ 2—2 角度测量	16
第三章 距离测量	31
§ 3—1 直线定线	31
§ 3—2 钢尺量距	32
§ 3—3 经纬仪视距法测距	33
§ 3—4 光电测距	37
第四章 水准测量	42
§ 4—1 水准测量的原理	42
§ 4—2 水准测量的仪器和工具	42
§ 4—3 水准仪的使用	44
§ 4—4 水准测量的野外观测	44
§ 4—5 自动安平水准仪	46
§ 4—6 水准测量的检核方法	47
第五章 误差概念	51
§ 5—1 观测误差	51
§ 5—2 偶然误差的规律性	52
§ 5—3 算术平均值	53
§ 5—4 观测精度的衡量	54
§ 5—5 误差传播定律	57
§ 5—6 算术平均值的中误差	61
§ 5—7 权与单位权中误差	61
第六章 小地区控制测量	65
§ 6—1 控制测量概述	65
§ 6—2 经纬仪导线测量	68
§ 6—3 经纬仪交会法	78
§ 6—4 三角高程测量	85
第三篇	90

第七章 地形图的测绘	90
§ 7—1 平面图、地形图及其投影关系	90
§ 7—2 图的比例尺	92
§ 7—3 地形图图式	94
§ 7—4 插绘等高线的方法	98
§ 7—5 地形图的测绘	100
§ 7—6 地形图草测	103
第八章 地图投影和地形图的应用	113
§ 8—1 地图投影的概念	113
§ 8—2 地图投影的分类	114
§ 8—3 投影选择的一般知识	115
§ 8—4 高斯-克吕格投影	116
§ 8—5 地形图的分幅和编号	119
§ 8—6 地形图的要素	123
§ 8—7 地图制图综合的概念	124
§ 8—8 地形图在地质调查中的应用	125
§ 8—9 地形图上的量测作业	129
第九章 航空像片的应用	137
§ 9—1 航空摄影测量的基础知识	137
§ 9—2 航空像片的判读	148
§ 9—3 航空像片的基础量测	150
§ 9—4 航空像片的转绘(图解法)	155
§ 9—5 影像地图	162
第四篇	165
第十章 物(化)探工程测量	165
§ 10—1 物(化)探工程测量的任务	165
§ 10—2 物(化)探网的设计	166
§ 10—3 物(化)探网的施测	167
§ 10—4 独立地区的物探工程测量	172
第十一章 地质勘探工程测量	174
§ 11—1 勘探线、勘探网的测设	174
§ 11—2 钻孔、探井及探槽等勘探工程位置的测定	175
§ 11—3 剖面测量	176
§ 11—4 地面地质填图测量	179
附录一 测量上常用的度量单位	181
附录二 高斯-克吕格坐标换带及地图分幅编号的计算(PC-1500电算 程序介绍)	181
附录三 地球曲率对于水平距离、高程影响的改正表	195
附录四 地球曲率和折光差改正数表	195

第一篇

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学的任务及其在地质勘探中的作用

测量学是一门研究地球形状及大小，并确定地球表面点位关系的科学。其主要任务是：

一、研究、确定地球的形状和大小

当研究对象是地表某一较大的区域，甚至整个地球时，必须考虑地球的曲率。这种为建立国家大地控制网、确定地球的形状和大小以及研究地壳的形变、地球重力场等而进行的测量称为大地测量学。近年来，由于人造地球卫星的发射及遥感技术的迅猛发展，大地测量学又可分为常规大地测量与卫星大地测量。

二、将小区域内的地物和地面起伏形状，按一定比例缩小后绘制成平面图或地形图

由于测量范围较小，而地球半径很大，故可把这小块球面当作平面看待而不考虑其曲率影响，这类测绘科学称为地形测量学。

三、测设、放样和测绘

将图上各种设计成果移至现场，或将地面上的各种工程设施转绘到图上。

对城市、大型工矿企业建设、铁路选线、桥梁架设、农田水利工程的修筑等所进行的专门测量，称为工程测量学。

其它如利用摄影像片来研究和确定地球表面点位关系的测绘科学，称为摄影测量学。由于获得像片的方法不同，摄影测量学又分为地面摄影测量学和航空摄影测量学。

运用测量所得资料，研究如何投影编绘成地图，以及地图制作的理论、工艺和应用等，则属地图制图学的范畴。

测量学在社会主义建设中非常重要，人们常把测量工作喻为建设的尖兵，这是因为在国防建设、农田水利、城市规划、公路、铁路的选线与施工、大型桥梁的架设等，尤其在地质普查、勘探、水文工程地质、物探、化探等一切地质工程中，其勘测、设计、施工以及最后的成果报告等都要应用到地形图及有关测绘技术和资料，而且均要求测量工作走在这类任务的前面。所以是名副其实的“建设尖兵”。

在地质普查及水文地质调查时，必须有相应比例尺的地形图，以便了解该地区的地形起伏、村庄分布、水陆交通等情况，才能制订合理的工作规划。在地质填图过程中，地质人员要把观察到的各种地质现象的位置随时标定在地形图上（即地质定点），并在现场勾绘出地质界限。因此，地形图的精度和地质人员应用地形图的熟练程度，都直接影响着地质图的成图质量。

在地质勘探阶段中，图上设计的勘探网、钻孔、探槽、探井等工程，均需使用测量仪

器，将其准确地测设到地面上或将地面已竣工的工程设施测绘到地形图上。在对矿区进行大比例尺地质填图时，则需用测量仪器测定地质点的位置。

物探、化探工作是在地面上所规划的勘探线、勘探网上进行的。为在地面上确定这些线、网的位置，就需进行物、化探工程测量。

随着科学技术的日益发展，测量学在国民经济建设和国防建设中的作用也将日益增大。目前，无论在地震预测预报、海底资源勘测、近海油井钻探、地下铁道与电缆的铺设、滑坡灾情的监视与调查、宇宙空间技术等，以及其他科研方面，均需要测量工作的配合。而我们伟大的祖国幅员辽阔，资源丰富，因此，地质勘探任务十分繁重。地质工作者必须担负起这一光荣任务。为此，学好与地质专业课有密切关系的技术基础课——测量学，才能为实现我国四个现代化的伟大使命多做贡献。

§ 1—2 地球的形状和大小

测量学是确定地球表面点位关系的科学，其测量工作是在地球表面进行的。因此，首先需要了解地球总的形状和大小。地球的表面是高低起伏不平的，有高山、深谷、河流、平原、海洋。但这些高低起伏与地球总体相比是微不足道的。通过长期的测量工作和科学调查得知：地球的陆地面积只占全球表面的29%；海洋面积约占全球表面的71%。这就是说地球表面有2/3以上被海水面所覆盖，故而可把地球总的形状看作是被海水包围的球体。对于地球实体的形状和大小可粗略地看作为一个扁球体，其长半径为6 378km，短半径为6 357km，当面积不大时，可把地球看作为圆球，其平均半径约为6 370km。地球表面上的最高峰——我国的珠穆朗玛峰高达8 848.13m；而其最深海沟——在太平洋西部的马里亚纳海沟，低于海平面约11 022m。这样的高低起伏，相对于地球的平均半径而言，当然是微不足道的。

既然地球总体形状可看作被海水面包围的球体，我们把处于静止状态的水面称为水准面。在地球重力场中，水准面上各点处处均与该点的重力方向相垂直，即同一水准面上各点的重力位相等，故水准面又称重力等位面。在测量工作中，仪器的整置，均以水准管气泡为依据，所以水准面是测量的基准面。

由于观测站可以有无数多个，故导致选用的水准面也有无数多个。我们可设想：由于重力的影响，平静的海水面无限扩展、延伸，穿过大陆、岛屿而形成自行闭合的曲面，这个面称为大地水准面。当用它来表示地球的形状最为理想。由大地水准面所包围的闭合形体，称为大地体。大地水准面是水准面其中之一，也是一个由于地球引力和地球自转时所产生的离心力（两者合力称重力）的重力等位面，即大地水准面上的重力位处处相等，并与其上的重力方向成正交。由于地球内部质量分布不均匀，而引力的大小恰与此有关，以致引起地面各点的重力方向产生不规则的变化。所以，实际上大地水准面是一个不规则的曲面，它不能用简单的几何形状和数学公式来表达。

关于大地水准面更确切的定义目前尚在研究中。当我们还不能唯一地确定它时，在历史上各国（或地区）均选择一个平均海水面来代替它。例如我国就在青岛设立了验潮站，并通过长期测定潮汐运动的结果，采用1956年的黄海平均海水面来代替大地水准面。所以有“与平均海水面相吻合的水准面，称为大地水准面”的习惯说法。

由上所述可知：大地体表面存在着不规则的起伏，这主要是由于地壳的物质分布不均匀所引起的，而地壳的质量仅占地球总质量的1/65，所以，从整体上看，这种起伏并不很大。故大地体还是一个相当接近于地球形状的形体，但这是一个不能用数学公式来表示的复杂形体。如果把地球表面的形状投影到大地体上，将无法进行测量计算工作。为此我们选择了一个具有微小扁率、非常接近于大地体的又可用数学式表达的几何形体来代替大地体。我们通常称它为参考椭球体，或称旋转椭球体。旋转椭球体是一个规则的数学曲面（按其长半径 a ，扁率 α 两个参数即可确定之）用来代替大地水准面以表示地球的形状，并可作为测量工作的基准面。我们就在这个曲面上建立大地坐标系。

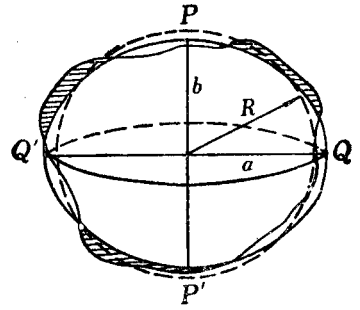


图 1-1

旋转椭球体是以椭圆 $PQP'Q'$ 绕其短轴 PP' 旋转而成（见图1-1），其形状和大小可由长半径（赤道半径） a ，短半径（地轴半径） b ，及扁率 $\alpha\left(=\frac{a-b}{a}\right)$ 三元素所确定。几个世纪以来，国内外许多测量学者曾多次测算出椭球体的元素值。我国从1953年起采用苏联克拉索夫斯基椭球体元素值为：

$$a = 6\,378\,245\text{m}$$

$$b = 6\,356\,863\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.3$$

实际的测量工作就是在克拉索夫斯基椭球体上建立坐标网，并把实地测得的各种数据归算到这个椭球体面上来处理。

1979年，第17届国际大地测量与地球物理联合会通过并推荐椭球体元素值为：

$$a = 6\,378\,137\text{m}$$

$$b = 6\,356\,752\text{m}$$

$$\alpha = 1/298.257$$

目前，我国正利用人造卫星的观测成果和全国大地测量资料，计算适应我国实际的椭球体元素值。

当测区面积不大时，由于参考椭球体扁率很小，在普通测量中，可把椭球体当作圆球来看待，其半径为 R ： $R = \frac{1}{3}(a + a + b) = 6\,370\text{km}$

最近根据人造卫星资料推算出：地球是一个南、北半球不对称的梨形，对于椭球体来说，北半轴长了19m、南半轴短了26m。随着科学技术不断地、日新月异地发展，相信人们对地球的形状和大小的认识也将日臻完善。

§ 1-3 地面点位的确定

选择参考椭球体的目的之一是为了在其上建立统一的坐标系统，以确定地面点的空间

位置。它是用坐标和高程来表示的，犹如数学上用的 x 、 y 、 z 三个量表示一样。但在测量工作中，根据不同的需要可以采用不同的坐标和高程系统。

一、地理坐标

当研究和测量整个地球的形状、大小，或进行大面积的工作时，可采用地理坐标来确定地面点在大地水准面上的投影位置坐标。地理坐标有两种表示方法：

(一) 天文地理坐标（简称天文坐标）

用天文经度、纬度来表示地面某点位置的坐标，称为天文地理坐标。其前提是把地球近似地当作一个圆球体（见图1—2）。图中NS为地球的自转轴，也称地轴。它与地球表面交于N（为北极）、S（为南极）点。

通过地轴的任一平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线，也称经线。其中通过英国原格林尼治天文台（因为伦敦的浓雾和拥挤，迫使天文台自1959年起已迁至75km以外的赫斯特莫尼尤克斯，国际上已改为以平均天文台为准）的子午线，称为首子午线。

通过地球中心并与地轴正交的平面称为赤道面。它与地球表面的交线称为赤道，其他不通过球心（但也与地轴正交的平面）和地球表面的交线称为纬线。

从图1—2中可见， P 点的位置可由其经度和纬度来确定：经度是过 P 点的子午面与首子午面间所夹的两面角，以 λ 表示。从首子午线向东计，由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经；从首子午线向西计，由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。实地上东经 180° 与西经 180° 是同一个子午面。我国各地的经度都是东经。纬度是过 P 点的铅垂线与赤道面在该子午面内的夹角，以 φ 表示。从赤道面向北计，由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬；从赤道面向南计由 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国疆域全部在赤道以北，各地的纬度都是北纬。例如北京某地的地理坐标为：东经 $116^\circ 28'$ ，北纬 $39^\circ 54'$ 。武昌某地地理坐标为：东经 $114^\circ 27'$ ，北纬 $30^\circ 31'$ 。

由于地球自转一周为24h，相当于经度 360° 所以经差 15° ，时差为1h。若纬差 1° ，其弧长约为111km。

表示天文地理坐标的经度和纬度，是用天文测量的方法来测定的。

(二) 大地地理坐标（简称大地坐标）

大地坐标与天文坐标的差异，主要在于：它是用旋转椭球体来代替地球形状。这样，天文坐标是以地球的垂线为准，而大地坐标则以旋转椭球体的法线为准。

图1—3为一旋转椭球体。椭球体面上的 P 点的位置可由其大地经度和大地纬度来确定。大地经度是过 P 点的大地子午面与首子午面间所夹的两面角，以 L 表示；大地纬度是过 P 点的法线 PC 与赤道

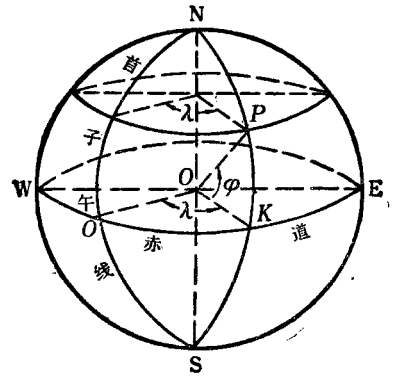


图 1—2

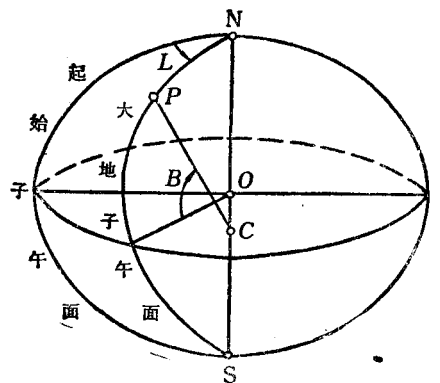


图 1—3

面在该子午面内的交角，以 B 表示。

由于地壳内部物质分布不均匀，地面各点的垂线和法线的方向不一致，其间的夹角称为该点的垂线偏差，一般为 $2''\sim 6''$ ，在重力异常区可达 $10''\sim 30''$ 。这方面的问题将由大地测量学来解决。

天文坐标与大地坐标可以通过下式来换算。即：

$$L = \lambda - \frac{\eta}{\cos\varphi}$$

$$B = \varphi - \xi$$

式中 η ——东西方向上的垂线偏差分量；

ξ ——南北方向上的垂线偏差分量。

二、平面直角坐标

由上所述，大地水准面是曲面。要把曲面展开成平面就会产生变形，这就需要通过地图投影的方法来解决。当测量区域较小时，曲面可认为近似于平面，并可用测区中心点 a 的切平面 p 来代替曲面（见图1—4）。则地面上的点 A 在投影面 p 上的位置 a 就可以用平面直角坐标来确定。在测量工作中采用的平面直角坐标与数学上是不同的。习惯以南北方向为纵轴，定为 X 轴，向北为正、向南为负。以东西方向为横轴，定为 Y 轴，向东为正、向西为负（见图1—5）。象限按顺时针方向依次注记为I、II、III、IV。这种平面直角坐标系的特点是，所有直线方向都是从纵坐标轴北端起，顺时针量测其方位的。任何一点 P 的位置可用 X_P 、 Y_P 来表示。要确定 X_P 、 Y_P 只需测出角度 α 、距离 S ，就可用三角公式计算出来。

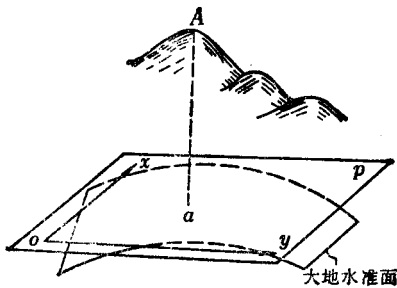


图 1—4

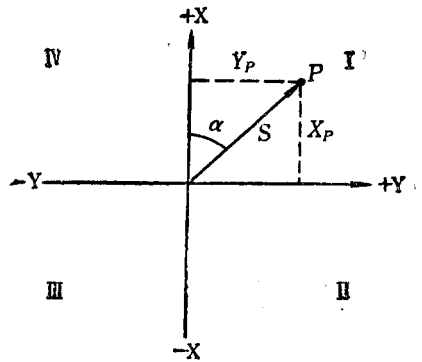


图 1—5

当测区范围较小时，可以把大地水准面当作平面看待，但当测区较大，其范围在半径大于 10km 的面积时，再把球面当作平面，必然要发生各种变形，因此必须用地图投影的方法来解决。地图投影方法很多，我国就采用了高斯投影方法，用高斯平面直角坐标表示地面点在投影面上的位置（高斯投影的方法，将在第七章中叙述）。

三、我国的新旧两种坐标系

（一）1954年北京坐标系

我国从1954年开始采用的“1954年北京坐标系”，是利用我国东北地区部分一等三角锁进行局部平差后确定的。平差时采用克拉索夫斯基椭球体参数。

1953年我国东北地区一等三角锁与苏联进行过联测，再以联测的呼玛、吉拉林、东宁三个基线网端点为起点，推向全国各地。其大地原点位于苏联列宁格勒的普尔科伐天文点圆形大厅中央。所以，实际上“1954年北京坐标系”和苏联1942年坐标系有一定的关系，但又不完全是苏联的坐标系。例如，其中高程异常是以苏联1955年大地水准面重新平差结果为起算值，按我国天文水准路线推算出来的；大地点高程则以1956年青岛验潮站求出的黄海平均海水面为基准的。

30年来，我国按“1954年北京坐标系”完成了大量的测绘工作，进行了天文大地网局部平差，通过高斯-克吕格投影，得到点的平面坐标，测制了各种比例尺的地形图。在我国经济、国防建设中发挥了巨大作用。在今后一个相当长时期内，该坐标系在一些部门中，可能将继续使用。

但是，由于这一坐标系还存在着一些缺点，随着科学技术的不断发展及各部门对测绘成果的广泛使用，显然难以满足要求，这是因为：

(1) 确定“1954年北京坐标系”时，没有我国的资料，所采用的参考椭球面与适用于我国大地水准面的差距较大，存在由西向东系统性的倾斜，尤其在东部地区最大可达几十米。而我国东部地区地势平坦，经济发达，系测制较大比例尺地图的地区，故对经济建设而言，要求参考椭球面与大地水准面较好地密合，然而，实际情况恰与此相反。而且克拉索夫斯基椭球参数长半径 a 的中误差达 $\pm 60\text{m}$ ，而现在确定 a 时，除了采用几何法外，还采用激光、多普勒定位和卫星测高等新手段，一般认为误差仅在 $\pm 2\text{m}$ 左右。

(2) 1954年北京坐标系，在定向上和当前国际与国内所采用的方向不相一致，如地轴的指向并不是我国目前使用的1968,0 JYD（中国科学院所属单位，根据1949年至1977年地极长期运动的研究，确定我国的地极原点为“JYD 1968.0”）。其首子午面也不是格林尼治平均天文台子午面，但在其附近。

(3) 过去均采用逐级控制，局部平差的方法。一等锁平差的次序是从东北开始，经东部、中部、到西北和西南地区，由起算点推至新疆地区，再符合至与苏联联测点时，坐标闭合差达14m。

(4) 各种归算缺乏严密、统一的要求；不同等级平差区域衔接不一；加上传算距离长，误差积累较大，影响成果质量。致使局部地区存有明显的裂缝，造成三角点间的相对误差较大。

(5) 名不符实，引起一些误解。如有些文献认为“1954年北京坐标系”原点在北京，有的又没有交待清楚，致使产生概念上的混乱。应该认为，“1954年北京坐标系”和苏联1942年坐标系既有一定的关系，又有一定的差异。

鉴于“1954年北京坐标系”存在以上一些弊病，在全国天文大地网平差前，必须考虑建立一个更合适的新的坐标系。为此，国家测绘总局和中国人民解放军总参谋部测绘局于1978年4月，联合在西安召开的“全国天文大地网整体平差会议”决定：通过天文大地网整体平差计算，建立新的国家大地坐标系，并定名为“1980年国家大地坐标系”。

(二) 1980年国家大地坐标系

大地坐标系的大地原点，一般应该选择在国家中部附近，这样可以缩短推算大地坐标和大地水准面差距的路程，以减少推算误差的积累。大地原点的点位要稳固，便于长期保存。1980年国家大地坐标系的大地原点就设在处于我国中心位置的陕西省泾阳县永乐镇，

它位于西安市西北方向约60km处，简称西安原点。

平差时，地球椭球体采用了国际大地测量与地球物理联合会于1975年第十六届大会上推荐的参数（简称 IAG*—75），即：

$$\begin{aligned} a &= 6\,378\,140\text{m} \\ b &= 6\,356\,755\text{m} \\ \alpha &= 1/298.257 \end{aligned}$$

1980年国家大地坐标系有以下的优点：

(1) 由于所采用 IAG*—75 的参数是一个完整的系统。它既有几何参数，又有物理参数；既确定几何形状，又表明地球的基本物理特征；并将大地测量学和大地重力学的基本参数统一起来。新的定位系统，使椭球面和我国大地水准面有了较好的吻合，在全国范围内的大地水准面差距约在20m以内，零线有2条。

(2) “1980年国家大地坐标系”相应的地球椭球的短轴平行于由地球地心，指向1968.0地极原点的方向。其首子午面平行于格林尼治天文台子午面，椭球面与大地水准面在我国境内最为密合。

(3) 起算数据和观测元素都作了严格的统一处理，消除了原来大地网逐级控制、局部平差所产生的缝隙，提高了成果精度。

(4) 为我国国民经济建设、国防建设和地学科学研究，提供了基本建设；为测制各种比例尺地形图，提供了统一、可靠的高精度控制基础。

四、用水平面代替水准面的范围

当测区范围较小时，用水平面来代替水准面(如图1—6)，其允许范围究竟有多大？设地面点A、B、C在大地水准面上的投影为a、b、c点，如用与该区域中心点相切的水平面代替大地水准面，则地面点A、B、C在水平面上的投影为a'、b'、c'点。现分析由于水准面的曲率对水平距离的影响。

由于大地水准面是一个复杂的曲面，所以在普通测量学中推导公式时，均近似地把它当作半径为R的球面来处理的。

设A、B两点在大地水准面上的距离为D，在水平面上的距离为D'，两者之差为ΔD，此即用水平面代替水准面所引起的距离误差：

$$\Delta D = D' - D = R \operatorname{tg} \theta - R \theta = R(\operatorname{tg} \theta - \theta) \quad (1-1)$$

根据三角函数的级数公式，知： $\operatorname{tg} \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots$ ，且因θ角值一般很小，故可略去五次方以上的各项，只取其前两项代入式(1-1)，从而得：

$$\Delta D = R \left(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 - \theta \right) = \frac{R}{3} \theta^3 \quad (1-2)$$

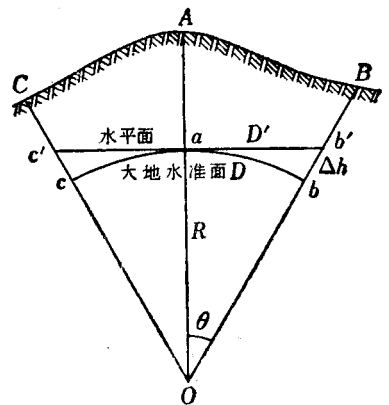


图 1—6

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 故有 $\Delta D = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^3 = \frac{D^3}{3R^2}$, 即:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-3)$$

将地球平均半径 $R = 6371\text{km}$, 以及不同的距离 D 代入式 (1-3), 便得表 1-1 所示结果。

由表中可以看出, 当 $D = 10\text{km}$ 时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差为 1cm , 只是距离的 $1/1\,000\,000$ 这样小的误差, 就是现在最精密的距离丈量时, 其精度要求也是允许的。因此, 可得出结论: 在半径为 10km 的圆面积范围内进行长度测量工作时, 可以不考虑地球曲率的影响, 而把水准面当作水平面看待。

表 1-1

D, km	$\Delta D, \text{cm}$	$\Delta D/D$
10	1	1:1 000 000
20	7	1:300 000
50	102	1:49 000
100	821	1:12 000

为了表明用水平面代替水准面对高程的影响, 我们仍以图 1-6 来说明:

地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB , 用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$, 两者之差为 Δh , 此即用水平面代替水准面所引起的高程误差:

$$\Delta h = bB - b'B = ob' - ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-4)$$

同样, 已知 $\sec \theta = 1 + \frac{1}{2} \theta^2 + \frac{5}{24} \theta^4 + \dots$, 因 θ 角值很小, 只取其前两项代入式 (1-4) 而得:

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{1}{2} \theta^2 - 1 \right) = \frac{R \left(\frac{D}{R} \right)^2}{2} = \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

若用不同的距离代入式 (1-5) 中, 便可得如表 1-2 所示的结果。

表 1-2

D, km	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h, \text{cm}$	0.31	2	8	31	71	125	196

从表中可以看出: 用水平面代替水准面, 引起的高程误差还是很大的, 距离 200m 就有 0.31cm 的误差, 这是不能允许的。因此, 在高程测量时, 即使距离很短, 也应考虑地球曲率对高程的影响。

五、高程

综上所述, 均为确定空间某点在基准面上的投影位置。除此而外, 尚需确定该点沿投影方向到基准面的垂直距离, 即该点的高程。

如图 1-7 所示, H_A, H_B, \dots 等为 A, B, C, D, E 等点的高程。若已知该点的坐标位置, 这样, 该点的空间位置才算最终确定。

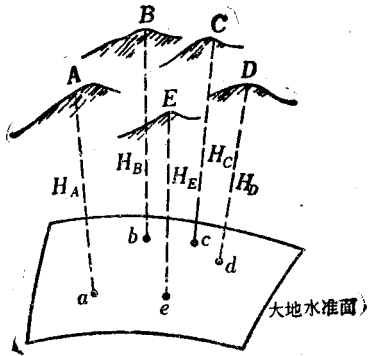


图 1—7

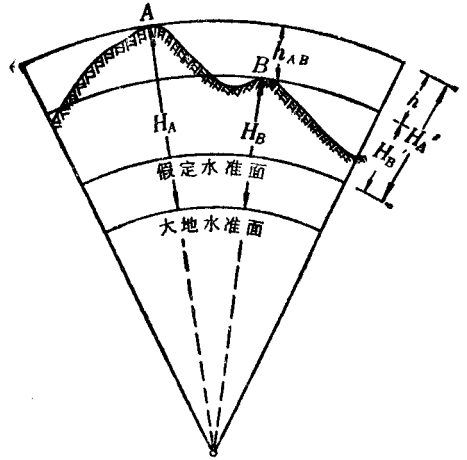


图 1—8

高程按起算的基准面不同而有绝对高程和相对高程之分：

(一) 绝对高程

地面某点至大地水准面的垂直距离称为该点的绝对高程或海拔。图1—8中 H_A 、 H_B 分别为 A 、 B 两点的绝对高程。我国的绝对高程是以青岛港所设立的验潮站，经长期观测和记录黄海海水面的高低变化，取其平均海水面的高程为零，作为大地水准面的位置，并作为我国计算高程的基准面。在青岛市内一个山洞里，建立了水准原点，其高程为72.289m。全国各地的高程都是以它为基准测算出来的。这就是我国规定的1956年黄海高程系统。

1975年我国登山队登上珠穆朗玛峰，测得其高程为8848.13m，这就是指珠峰峰顶距黄海平均海面间的垂直距离。

(二) 相对高程

当有些地区引用绝对高程有困难时，可以采用假定高程系统，即采用任意水准面为起算高程的基准面。在该地区内，地面某点至任一假定水准面的垂直距离，称为该点的相对高程或假定高程。图1—8中的 H'_A 、 H'_B ，分别为 A 、 B 两点的相对高程。

(三) 高差

两个地面点之间的高程差称为高差。地面点 A 、 B 之间的高差为 h_{AB} 如图1—8所示：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

由此可见，两点间的高差与起算的水准面无关。

§ 1—4 测量工作概述

由于地表的外形高低起伏，极为复杂，根据测量工作的需要，我们将地表外形分为地物和地貌两大类。如人工建筑物、道路、水坝和河流水系、岩层露头等称为地物。而地形高低起伏的变化则称为地貌，如山岭、谷地、悬崖等。

测量工作的主要目的就是如何按规定要求测定地物、地貌的相对位置和绝对位置。并按选定的投影方式转绘到图纸上，成为一张地形图。测量工作的作业过程简述如下：

(一) 在实际工作中必须本着“先控制后碎部，从整体到局部全面控制”的思想出

...次基点测量，这样虽然最后也能将全测区的点都测定...产生一些误差，若经一点一点地传递积累，最终将...首先在一测区内选出若干个具有控制意义的点，用精度...确定这些点的位置，以作为下一步测量工作的根据。我们把这样的...（详见第二篇第五章）。

...布设好的控制网点的平面坐标和高程来测定与之邻近的所有地物、地...物、地貌的分布及其形态均具有明显的轮廓、走向和反映地形坡度变化和...特征线或特征点，并且都是按地面实际情况相互衔接，连成一整体的。所以，我们...定这些地物、地貌特征点的平面坐标和高程，再按一定比例予以缩小，用规定的...图符号画在图上，就形成一幅局部地区的地形图（详见第三篇第六章）。

总之，测量工作可分为两个阶段：即首先是用控制测量进行控制点网的敷设（包括观...、计算），从而得到控制点的平面坐标和高程；其次是以控制点为基础的地形测图。测制...图的方法可以在地面上以人工测量方法，一点一点地测制成图，也可利用航空摄影测...量技术的成图方法。地质工作者通过学习《测量学》，了解地形图的成图过程后，就能更好...地熟练应用地形图，从而编制出高质量的地质图。

§ 1—5 测量学的发展概况

测量学和所有的自然科学一样，是人类长期与大自然斗争，同时为解决实际生产的需...要，经过多次反复实践而逐步发展起来的。

我国测量学的发展，历史悠久。早在春秋战国时代，已有利用磁石制成最早的指南工...具“司南”，即现今仍被广泛应用的指南针。4千年前，夏禹治水时就已发明和使用了“准、...绳、规、矩”四种测量工具和方法。于1973年从长沙马王堆三号汉墓中出土的公元前130...年西汉初期的《地形图》及《驻军图》，为目前所发现我国最早的地图。东汉张衡创造了水运...浑象仪（也称天球仪），把天象正确地表示出来；他又制造了候风地动仪，为世界上第一...架地震仪；还著有《灵宪》等书，总结了当时的“浑天说”。3至4世纪，魏晋时期的刘徽著...《海岛算经》，论述了有关测量和计算海岛距离及高度的方法。西晋的裴秀（224~271年）...提出了绘制地图的六条原则，即《制图六体》，是世界上最早的制图理论。在唐代开元年间，...我国就进行过地球形状和大小的测量工作，当时由南官说等人在河南开封等地组织的子午...线弧长测量要比阿拉伯人所做类似的工作约早100年。到了宋代，沈括曾在1076~1087年...间绘制《天下州县图》，在他《梦溪笔谈》著述中曾记载有磁偏角的现象，这要比哥伦布对磁...偏角的发现早400年左右。在元代郭守敬（1231~1316年）的倡议下曾进行了大规模的天...文测量，拟定了全国纬度的测量计划，并实测了27个点。18世纪初，即清代初年，进行了...大地测量，在这个基础上开展了全国测图工作，于1708~1718年间完成了《皇舆全图》。康...熙年间，规定200里合经线1度，每里为1800尺，每尺即合经线上百分之一的弧长，这比...法国在1792年建立以米为长度单位的时间还早90年。纵观几千年来，我国劳动人民对世界...文化的发展作出了卓越的贡献。然而近3个世纪以来，我国在日益腐朽的清封建王朝，北...洋军阀和国民党反动统治下，测绘科学也和其它学科一样，得不到应有的发展，甚至处于...停滞状态。

自新中国成立后，随着社会主义经济建设和国防建设发展的需要，我国测绘科学进入了一个蓬勃发展的崭新阶段。40年来，测绘事业成绩卓著：已在全国范围内测定了统一的大地测量控制网；基本上统一了全国的平面坐标和高程系统；同时进行了大规模的航空摄影工作，并完成了大量不同比例尺的地形图。我国的测绘仪器制造事业也有了很大的发展，过去依赖进口仪器，现在从无到有，已能自制各种测绘仪器，高精度的经纬仪，自动安平的水准仪亦均已试制成功。大地测量、电磁波测量和航空摄影测量仪器也正在逐步推广使用。

近年来由于航天遥感、激光技术和电子计算机的发展和应用，国际上测绘科学发展迅速，对于人造卫星观测成果的综合利用和研究，利用卫星遥测资料来绘制各类专业图件，快速、高精度地进行资源调查和勘测，乃是当今测绘工作者的一个新的任务。可以预计，在不远的将来，测绘科学技术将朝着测图自动化、计算电子化及测量资料数字化的方向发展，在把竞争机制引进科学技术领域的新形势下，迫切要求我们努力开展测绘新技术的研究和推广工作，以立足于世界之林，尽快地赶上国际先进水平，为早日实现祖国四化的宏伟蓝图而作出我们应有的贡献。

复 习 题

1. 什么叫做大地水准面？什么叫做绝对高程、相对高程？
2. 天文坐标和大地坐标有何区别？
3. 用水平面代替水准面、对距离和高差有什么影响？在多大范围内允许用水平面代替水准面？
4. 测量工作的原则是什么？