

本书为高职高专非测绘类专业教材。全书分为三大部分：测量的基本理论、地形测量、施工测量。第一部分包括第1章至第5章，主要对传统测量仪器和当代测绘新仪器的基本概念、基本原理、使用方法及其基本的误差理论进行详细的介绍。第二部分包括第6章至第8章，主要讲述小地区控制测量、大比例尺地形图的测绘和地形图的应用，使读者理解测绘地形图的基本原理以及如何使用地形图，同时也介绍了全站仪数字测图和现代测绘新技术的应用。第三部分包括第9章至第18章，先介绍测设的基本方法，然后根据工业与民用建筑、道路与桥梁工程、给排水工程、地下工程、水利工程、输电线路工程、地质勘探工程、园林工程等各行业不同工程类型的具体特点，分别讲述其施工测量方法及新仪器、新技术的应用。

本书可作为高职高专工科类院校非测量专业工程测量教材，也可作为测绘工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量/郝海森主编. —北京：中国电力出版社，2007.

ISBN 978-7-5083-5483-5

I. 工… II. 郝… III. 工程测量—高等学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 055209 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

策划编辑：王晓蕾 责任编辑：侯伟

责任印制：陈焊彬 责任校对：付珊珊

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2007 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·19.75 印张·489 千字

定价：40.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权所有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

本书是根据高等职业技术教育和专科的培养目标，以“理论够用、注重专业技能实用”为原则，结合各行业工程特点编写的，可以作为水利工程、工业与民用建筑、公路与桥梁、市政工程、给水排水、输电线路工程、城市规划、地质勘探工程等非测绘类的工程测量教材，也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书注重测量的基本理论、基本计算、基本操作，理论联系实际，编写内容贴近工程实际，适应工程需要，兼顾传统技术与新技术的结合，突出“实践、实用”的特点，利于自学，满足一线生产岗位对工程测量技术知识的需要。

本书由郝海森主编，杨晓平、王勇智、马国锋、周宏达任副主编。参加编写的人员有：郝海森（第1章，第5章，第16章，第19章）、王勇智（第14章，第20章）、杨晓平（第6章，第7章，第8章，第9章，第10章）、张俊红（第11章，第12章）、周宏达（第4章，第17章）、曹志勇（第2章，第3章）、高永芹（第13章）、洪波（第18章）、姬晓东（第15章）。全书由郝海森统稿。

东华理工学院熊助国教授审阅了本书书稿，并提出了许多宝贵意见。在此谨向熊老师表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，作者收集了大量的资料，借鉴了同类教材的相关内容。由于编者水平有限，书中缺点和不足之处在所难免，恳请使用教材的师生、读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 测量学概述和工程测量的基本任务	1
1.2 地面点位的确定	2
1.3 用水平面代替水准面的限度	7
1.4 测量工作概述	8
小结	8
习题	8
第 2 章 水准测量	9
2.1 水准测量的原理	9
2.2 水准测量的仪器和工具	10
2.3 DS ₃ 微倾式水准仪的构造和使用	11
2.4 普通水准测量	14
2.5 微倾式水准仪的检验和校正	19
2.6 水准测量误差及注意事项	21
2.7 自动安平水准仪、精密水准仪、电子水准仪和激光水准仪	24
小结	26
习题	26
第 3 章 角度测量	28
3.1 角度测量原理	28
3.2 光学经纬仪的构造和使用	28
3.3 水平角测量的方法	33
3.4 竖直角测量	36
3.5 经纬仪的检验和校正	38
3.6 角度测量误差及注意事项	42
小结	44
习题	44
第 4 章 距离测量与直线定向	45
4.1 钢尺量距	45
4.2 视距测量	49
4.3 光电测距仪及其使用	52
4.4 直线定向	56
小结	59
习题	59

第 5 章	测量误差理论	61
5.1	观测误差	61
5.2	衡量精度的标准	63
5.3	误差传播定律	64
5.4	算术平均值及其中误差	67
	小结	68
	习题	68
第 6 章	小地区控制测量	69
6.1	控制测量概述	69
6.2	导线测量	75
6.3	交会定点测量	85
6.4	高程控制测量	87
	小结	92
	习题	92
第 7 章	大比例尺地形图测绘	94
7.1	地形图的要素	94
7.2	大比例尺地形图的测绘	101
7.3	房产图测绘	105
	小结	107
	习题	108
第 8 章	大比例尺地形图的应用	109
8.1	地形图基本的应用	109
8.2	地形图在工程中的应用	112
8.3	地形图在平整土地中的应用	114
	小结	116
	习题	117
第 9 章	测设的基本方法	118
9.1	已知水平角度、已知水平长度的测设	118
9.2	已知高程及坡度线的测设	120
9.3	平面点位的测设	122
	小结	124
	习题	125
第 10 章	工业与民用建筑工程测量	126
10.1	建筑场地上的施工控制测量	127
10.2	一般民用建筑施工测量	132
10.3	工业厂房控制网和柱列轴线测设	139
10.4	高层建筑施工测量	149
10.5	建筑物变形监测	153
10.6	竣工测量及竣工总平面图的编绘	163

小结.....	165
习题.....	165
第 11 章 道路与桥梁工程测量	167
11.1 概述.....	167
11.2 初测阶段的测量工作.....	167
11.3 定测阶段的测量工作.....	171
11.4 道路纵横断面测量.....	181
11.5 道路施工测量.....	185
11.6 桥梁施工测量.....	190
小结.....	193
习题.....	193
第 12 章 给排水工程测量	194
12.1 概述.....	194
12.2 管道中线测量及纵横断面测量.....	194
12.3 管道施工测量.....	199
12.4 顶管施工测量.....	201
小结.....	203
习题.....	203
第 13 章 地下工程测量	204
13.1 地面控制测量.....	204
13.2 地下控制测量.....	205
13.3 联系测量.....	206
13.4 隧道施工测量.....	208
13.5 硐室施工测量.....	209
13.6 竣工图的测绘.....	209
小结.....	210
习题.....	210
第 14 章 河渠道工程测量	211
14.1 渠道测量.....	211
14.2 水位测量和水深测量.....	213
14.3 河道纵横断面测量.....	214
14.4 水下地形测量.....	217
小结.....	218
习题.....	218
第 15 章 水工建筑物测量	219
15.1 概述.....	219
15.2 重力坝的放样.....	219
15.3 水闸施工测量.....	226
15.4 水库淹没界桩的测设.....	228

小结	230
习题	230
第 16 章 架空输电线路测量	231
16.1 架空输电线路的基本知识	231
16.2 路径方案的选择和定线测量	232
16.3 平断面测量	233
16.4 杆塔定位测量	235
16.5 线路施工测量	235
小结	240
习题	240
第 17 章 地质勘探工程测量	241
17.1 勘探工程测量概述	241
17.2 勘探矿区控制网测量和地形测量	241
17.3 勘探网的设计与布设	245
17.4 地质点、探井和钻孔的定位测量	246
17.5 勘探线剖面测量	248
小结	250
习题	250
第 18 章 园林工程测量	251
18.1 概述	251
18.2 场地平整测量	252
18.3 园林道路测量	256
18.4 园林施工放样测量	259
18.5 其他园林工程施工放样	263
小结	266
习题	266
第 19 章 全站仪及数字化测图	267
19.1 全站仪概述	267
19.2 南方 NTS—660 系列全站仪	269
19.3 数字化测图	275
小结	278
习题	278
第 20 章 卫星定位技术在测量中的应用	279
20.1 卫星定位技术概述	279
20.2 卫星定位原理	284
20.3 GPS 控制测量技术设计与实施	288
20.4 GPS 控制测量数据处理	296
20.5 GPS 实时动态定位——RTK 技术	299
小结	304
习题	304
参考文献	306

第 1 章 绪 论

本章主要介绍测量学的概念、分类以及工程测量的基本任务；讲解确定地面点位置的坐标系；讨论用水平面代替水准面的限度、测量的基本工作和基本原则。本章的重点：测量学的概念；高斯平面坐标系；大地水准面、大地体、高程等概念。本章的难点：高斯平面坐标系；水平面代替水准面的限度。

1.1 测量学概述和工程测量的基本任务

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地物、地貌及其他信息绘制成图，确定地球的形状、大小的学科。它的内容包括两个部分，即测定和测设。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，得到一系列测量数据；或把地球表面的地形缩绘成地形图，供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同，可分为如下几个分支学科。

大地测量学：研究整个地球的形状和大小，解决大范围地区的控制测量、地壳变形以及地球重力场变化和问题的学科。

普通测量学：不顾及地球曲率的影响，研究小范围地球表面形状的测绘工作的学科。

摄影测量与遥感学：研究利用摄影或遥感的手段来测定目标物的形状、大小和空间位置，判断其性质和相互关系的理论技术的学科。

海洋测量学：研究以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和制图工作的学科。

工程测量学：研究各种工程建设在设计、施工和管理阶段时的测量工作理论和技术的学科。

本教材主要介绍普通测量学及部分工程测量学的内容。

按工程建设的进行程序，工程测量可分为规划设计阶段的测量，施工兴建阶段的测量和竣工后的运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是提供地形资料，取得地形资料的方法是在所建立的控制测量的基础上进行地面测图或航空摄影测量。施工兴建阶段的测量的主要任务是按照设计要求，在实地准确地标定建筑物各部分的平面位置和高程，作为施工与安装的依据。一般也要求先建立施工控制网，然后根据工程的要求进行各种测量工作。竣工后的运营管理阶段的测量，包括竣工测量以及为监视工程安全状况的变形监测与维修养护等测量工作。

按工程测量所服务的工程种类，也可分为建筑工程测量、线路测量、桥梁与隧道测量、矿山测量、城市测量和水利工程测量等。此外，还将用于大型设备的高精度定位和变形监测称为高精度工程测量；将摄影测量技术应用于工程建设称为工程摄影测量；而将以电子全站仪或地面摄影仪作为传感器在电子计算机支持下的测量系统称为三维工业测量。

测量学是国家经济建设的先行，随着科学技术的飞速发展，测量学在国家经济建设和发

展的各个领域发挥着越来越重要的作用。工程测量是直接为工程建设服务的，它的服务和应用范围包括城建、地质、铁路、交通、房地产管理、水利电力、能源、航天和国防等各种工程建设部门。

1.2 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的位置。确定地面点的位置要了解地球的形状、大小和地面点位的表示方式。

1.2.1 地球的形状和大小

地球的自然表面是很不规则的，其上有高山、深谷、丘陵、平原、江湖、海洋等，最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m，最深的太平洋马里亚纳海沟低于海平面 11022m，其相对高差不足 20km，与地球的平均半径 6371km 相比，是微不足道的。就整个地球表面而言，陆地面积仅占 29%，而海洋面积占了 71%。因此，可以设想地球的整体形状是被海水所包围的球体，即设想将一静止的海洋面扩展延伸，使其穿过大陆和岛屿，形成一个封闭的曲面，如图 1-1 所示，静止的海水面称作水准面。由于海水受潮汐、风浪等影响而时高时低，故水准面有无穷多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称作大地水准面，由大地水准面所包围的形体称为大地体。通常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。同一水准面上各点的重力位相等，故又将水准面称为重力等位面，它具有几何意义及物理意义。水准面和铅垂线就是实际测量工作所依据的面和线。

由于地球内部质量分布不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化，所以，大地水准面是一个不规则的无法用数学式表述的曲面，在这样的面上是无法进行测量数据的计算及处理的。因此人们进一步设想，用一个与大地体非常接近的又能用数学式表述的规则球体即旋转椭球体来代表地球的形状，如图 1-2 所示。它是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而成，旋转椭球体的形状和大小由椭球基本元素确定，即

$$\begin{aligned} \text{长半轴} & a \\ \text{短半轴} & b \\ \text{扁率} & \alpha = \frac{a-b}{a} \end{aligned}$$

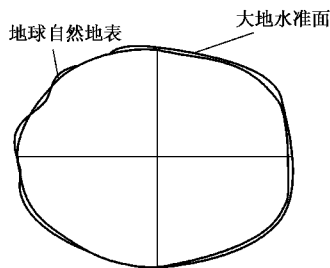


图 1-1 地球自然表面

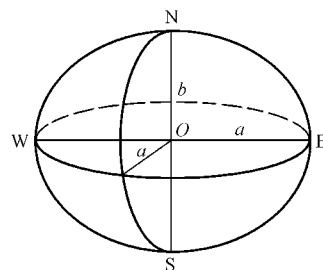


图 1-2 旋转椭球体

某一国家或地区为处理测量成果而采用与大地体的形状大小最接近，又适合本国或本地区要求的旋转椭球，这样的椭球体称为参考椭球体。确定参考椭球体与大地体之间的相对位置关系，称为椭球体定位。参考椭球体面只具有几何意义而无物理意义，它是严格意义上的

测量计算基准面。

表 1-1 列出了几个著名的椭球体。我国的 1954 年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球，1980 年国家大地坐标系采用的是 1975 国际椭球，而全球定位系统（GPS）采用的是 WGS—84 椭球。由于参考椭球的扁率很小，在小区域的普通测量中可将地（椭）球看作圆球，其半径 $R=(a+a+b)/3=6371\text{km}$ 。

表 1-1 世界上著名的椭球体参数

椭球名称	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	计算年代和国家	备 注
贝塞尔	6377397	6356079	1 : 299.152	1841 德国	
海福特	6378388	6356912	1 : 297.0	1910 美国	1942 年国际第一个推荐值
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3	1940 前苏联	中国 1954 年北京坐标系采用
1975 国际椭球	6378140	6356755	1 : 298.257	1975 国际 第三个推荐值	中国 1980 年国家大地坐标系采用
WGS—84	6378137	6356752	1 : 298.257	1979 国际 第四个推荐值	美国 GPS 采用

1.2.2 地面点位置的确定

地面点的位置需用坐标和高程来确定。坐标是指地面点投影到基准面上的位置，高程表示地面点沿投影方向到基准面的距离，根据不同的需要可以采用不同的坐标系和高程系。

1.2.2.1 地理坐标

当研究和测定整个地球的形状或进行大区域的测绘工作时，可用地理坐标来确定地面点的位置。地理坐标是一种球面坐标，依据球体的不同可分为天文坐标和大地坐标。

1. 天文坐标

以大地水准面为基准面，地面点沿铅垂线投影在该基准面上的位置，称为该点的天文坐标。该坐标用天文经度和天文纬度表示。如图 1-3 所示，将大地体看作地球，NS 即为地球的自转轴，N 为北极，S 为南极，O 为地球体中心。包含地面点 P 的铅垂线且平行于地球自转轴的平面称为 P 点的天文子午面，天文子午面与地球表面的交线称为天文子午线，也称经线。而将通过英国格林尼治天文台埃里中星仪的子午面称为起始子午面，相应的子午线称为起始子午线或零子午线，并将其作为经度计量的起点。过点 P 的天文子午面与起始子午面所夹的两面角就称为 P 点的天文经度，用 λ 表示，其值为 $0^\circ\sim 180^\circ$ ，在起始子午线以东的叫东经，以西的叫西经。

通过地球体中心 O 且垂直于地轴的平面称为赤道面，它是纬度计量的起始面。赤道面与地球表面的交线称为赤道，其他垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。过点 P 的铅垂线与赤道面之间所夹的线面角就称为 P 点的天文纬度，用 φ 表示，其值为 $0^\circ\sim 90^\circ$ ，在赤道以北的叫北纬，以南的叫南纬。

天文坐标 (λ, φ) 是用天文测量的方法实测得到的。

2. 大地坐标

以参考椭球面为基准面，地面点沿椭球面的法线投影在该基准面上的位置，称为该点的大地坐标。该坐标用大地经度和大地纬度表示。如图 1-4 所示，包含地面点 P 的法线且通过

椭球旋转轴的平面称为 P 的大地子午面。过 P 点的大地子午面与起始大地子午面所夹的两面角就称为 P 点的大地经度，用 L 表示，其值分为东经 $0^\circ \sim 180^\circ$ 和西经 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。过点 P 的法线与椭球赤道面所夹的线面角就称为 P 点的大地纬度，用 β 表示，其值分为北纬 $0^\circ \sim 90^\circ$ 和南纬 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。我国 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系就是分别依据两个不同的椭球建立的大地坐标系。

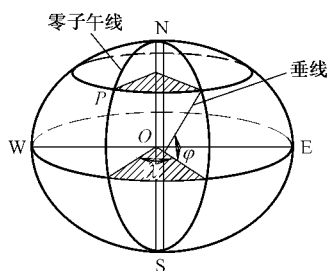


图 1-3 天文坐标

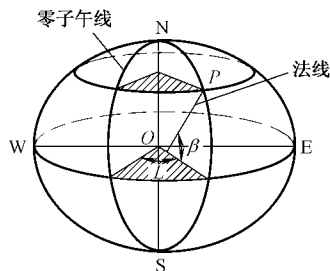


图 1-4 大地坐标

大地坐标 (L, β) 因所依据的椭球体面不具有物理意义而不能直接测得，只可通过计算得到。它与天文坐标有如下关系式：

$$\left. \begin{aligned} L &= \lambda - \frac{\eta}{\cos \varphi} \\ \beta &= \varphi - \xi \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 η ——过同一地面点的垂线与法线的夹角在东西方向上的垂线偏差分量；

ξ ——在南北方向上的垂线偏差分量。

1.2.2.2 平面直角坐标

在实际测量工作中，若用以角度为度量单位的球面坐标来表示地面点的位置是不方便的，

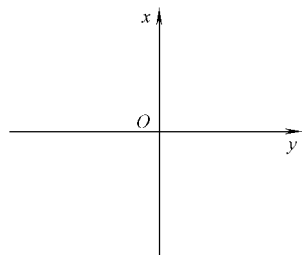


图 1-5 测量平面直角坐标系

通常是采用平面直角坐标。测量工作中所用的平面直角坐标与数学上的直角坐标基本相同，只是测量工作以 x 轴为纵轴，一般表示南北方向，以 y 轴为横轴，一般表示东西方向，象限为顺时针编号，直线的方向都是从纵轴北端按顺时针方向度量的，如图 1-5 所示。这样的规定，使数学中的三角函数在测量坐标系中完全适用。

1. 独立测区的平面直角坐标

当测区的范围较小，能够忽略该区地球曲率的影响而将其当作平面看待时，可在此平面上建立独立的直角坐标系。一般选定子午线方向为纵轴，即 x 轴，原点设在测区的西南角，以避免坐标出现负值。测区内任一地面点用坐标 (x, y) 来表示，它们为独立的平面直角坐标系，与本地区统一坐标系没有必然的联系。如有必要可通过与国家坐标系联测而纳入统一坐标系。

2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时，要建立平面坐标系，就不能忽略地球曲率的影响，为了解决球面与平面这对矛盾，则必须采用地图投影的方法将球面上的大地坐标转换为平面直角坐标。目前我国采用的是高斯投影，高斯投影是由德国数学家、测量学家高斯提出的一种横轴等角切椭圆柱投影，该投影解决了将椭球面转换为平面的问题。从几何意义上看，就是假设一个椭圆

柱横套在地球椭球体外并与椭球面上的某一条子午线相切，这条相切的子午线称为中央子午线。假想在椭球体中心放置一个光源，通过光线将椭球面上一定范围内的物象映射到圆柱柱的内表面上，然后将圆柱面沿一条母线剪开并展成平面，即获得投影后的平面图形，如图 1-6 所示。

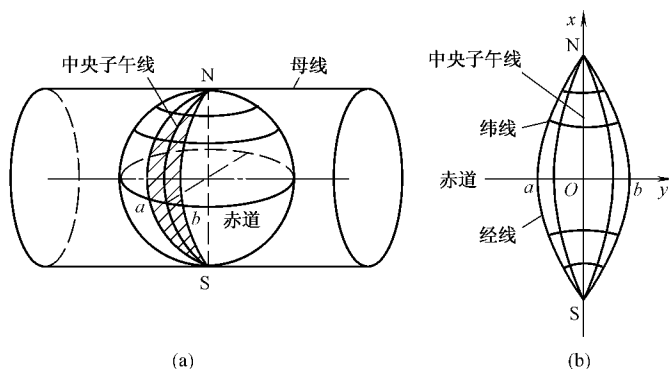


图 1-6 高斯投影概念

该投影的经纬线图形有以下特点：

(1) 投影后的中央子午线为直线，无长度变化。其余的经线投影为凹向中央子午线的对称曲线，长度较球面上的相应经线略长。

(2) 赤道的投影也为一直线，并与中央子午线正交。其余的纬线投影为凸向赤道的对称曲线。

(3) 经纬线投影后仍然保持相互垂直的关系，说明投影后的角度无变形。

高斯投影没有角度变形，但有长度变形和面积变形，离中央子午线越远，变形就越大，为了对变形加以控制，测量中采用限制投影区域的办法，即将投影区域限制在中央子午线两侧一定的范围，这就是所谓的分带投影，如图 1-7 所示。投影带一般分为 6°带和 3°带两种，如图 1-8 所示。

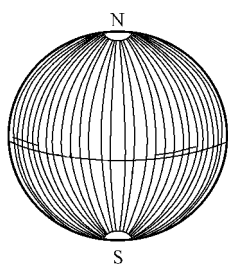


图 1-7 投影分带

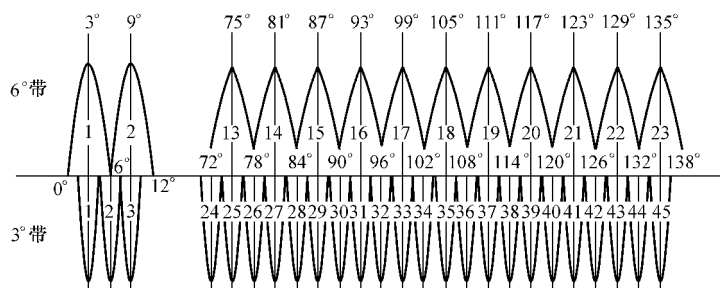


图 1-8 6°带和 3°带投影

6°带投影是从英国格林尼治起始子午线开始，自西向东，每隔经差 6°分为一带，将地球分成 60 个带，其编号分别为 1, 2, …, 60。每带的中央子午线经度可用下式计算

$$L_6 = (6n - 3)^\circ \quad (1-2)$$

式中 n ——6°带的带号。

6°带的最大变形在赤道与投影带最外一条经线的交点上，长度变形为 0.14%，面积变

形为 0.27%。

3°投影带是在 6°带的基础上划分的。每 3°为一带，共 120 带，其中央子午线在奇数带时与 6°带中央子午线重合，每带的中央子午线经度可用下式计算

$$L_3 = 3^\circ n' \quad (1-3)$$

式中 n' ——3°带的带号。

3°带的边缘最大变形现缩小为长度 0.04%，面积 0.14%。

我国领土位于东经 72°~136°，共包括了 11 个 6°投影带，即 13~23 带；22 个 3°投影带，即 24~45 带。成都位于 6°带的第 18 带，中央子午线经度为 105°。

通过高斯投影，将中央子午线的投影作为纵坐标轴，用 x 表示，将赤道的投影作为横坐标轴，用 y 表示，两轴的交点作为坐标原点，由此构成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系，如图 1-9 所示。对应于每一个投影带，就有一个独立的高斯平面直角坐标系，区分各带坐标系则利用相应投影带的带号。

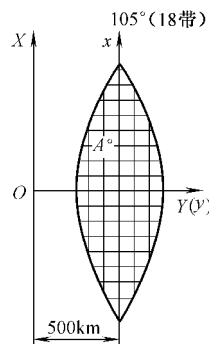


图 1-9 高斯平面直角坐标

在每一投影带内， y 坐标值有正有负，这对计算和使用均不方便，为了使 y 坐标都为正值，故将纵坐标轴向西平移

500km（半个投影带的最大宽度不超过 500km），并在 y 坐标前加上投影带的带号。如图 1-9 中所示的 A 点位于 18 投影带，其自然坐标为 $x = 3395451\text{m}$ ， $y = -82261\text{m}$ ，它在 18 带中的高斯通用坐标则为 $X = 3395451\text{m}$ ， $Y = 18417739\text{m}$ 。

1.2.2.3 高程

在一般的测量工作中都以大地水准面作为高程起算的基准面。因此，地面任一点沿铅垂

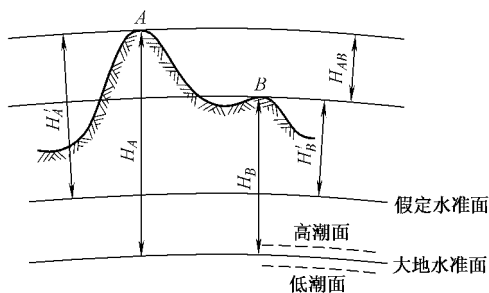


图 1-10 地面点的高程

线方向到大地水准面的距离就称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用 H 表示。如图 1-10 所示，图中的 H_A 、 H_B 分别表示地面上 A、B 两点的高程。我国规定以 1950~1956 年间青岛验潮站多年记录的黄海平均海水面作为我国的大地水准面，由此建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”。新的国家高程基准面是根据青岛验潮站 1952~1979 年间的验潮资料计算确定的，依此基准面建立的高程系称为“1985 年国

家高程基准”，其高程为 72.260m，并于 1987 年开始启用。

当测区附近暂时没有国家高程点可测时，也可临时假定一个水准面作为该区的高程起算面。地面点沿铅垂线至假定水准面的距离，称为该点的相对高程或假定高程。如图 1-10 中的 H'_A 、 H'_B 分别为地面上 A、B 两点的假定高程。

地面上两点之间的高程之差称为高差，用 h 表示，例如，A 点至 B 点的高差可写为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-4)$$

由上式可知，高差有正有负，并用下标注明其方向。在土木建筑工程中，又将绝对高程和相对高程统称为标高。

1.3 用水平面代替水准面的限度

在实际测量中，在一定的测量精度要求和测区面积不大的情况下，往往以水平面直接代替水准面，但是这必定会影响到高程、距离和角度的测量。

1.3.1 水准面曲率对水平距离的影响

如图 1-11 所示，设 DAE 是水准面， AB 为其上的一段圆弧，设长度为 S ，其所对圆心角为 θ ，地球半径为 R ，此时假定大地水准面为一个圆球面。另自 A 点作切线 AC ，设长为 t ，如果将切于 A 点的水平面代替水准面，即以相应的切线段 AC 代替圆弧 AB ，则在距离方面将产生误差 ΔS ，由图可得

$$\Delta S = S - t$$

其中， $t = R \tan \theta$ ， $S = R\theta$ ，因为 θ 角值一般较小，利用级数展开，略去 5 次方后以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入，整理得

$$\Delta S = \frac{1}{3} \frac{S^3}{R^2} \quad (1-5)$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R} \right)^2 \quad (1-6)$$

当水平距离为 10km 时，以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离的 $1/1217700$ ，现在最精密距离丈量的容许误差为其长度的 $1/1000000$ 。因此，在半径为 10km 的圆面积内进行长度的测量工作时，可以不必考虑地球曲率；在此范围内把水准面当作水平面看待，其误差可忽略不记。

1.3.2 水准面的曲率对水平角度的影响

由球面三角学可知，同一个空间多边形在球面上投影的各内角之和，较其在平面上投影的各内角之和大一个球面角超 ϵ 的数值。计算表明，对于面积在 100km^2 以内的多边形，只有在最精密的测量中才考虑地球曲率对水平角度的影响，一般在面积为 100km^2 范围内的水平角度测量可不顾及地球曲率影响。

1.3.3 地球曲率对高差的影响

由图 1-11 可知

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h} \quad (1-7)$$

当两点间投影的水平距离与在大地水准面上的弧长相差很小时，可用 S 代替 t ，同时考虑 Δh 比地球半径 R 小得多可忽略不记，故式 (1-7) 可写成

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (1-8)$$

当 $S = 10\text{km}$ 时， $\Delta h = 7.8\text{m}$ ；

当 $S = 100\text{m}$ 时， $\Delta h = 0.78\text{mm}$ 。

从上面计算表明，地球曲率的影响对高差而言，即使在很短的距离内也必须加以考虑。

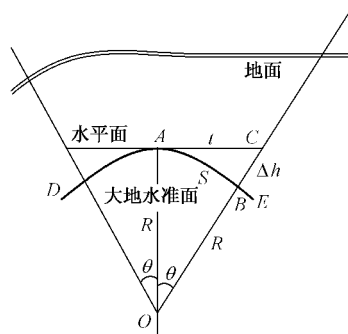


图 1-11 水平面代替水准面的影响

1.4 测量工作概述

测量工作的基本任务是要确定地面点的平面位置和高程。确定地面点的几何位置需要进行一些测量的基本工作，为了保证测量成果的精度及质量需遵循一定的测量原则。

1.4.1 测量的基本工作

如图 1-12 所示， A, B, C, D, E 为地面上高低不同的一系列点，构成空间多边形 $ABCDE$ ，图下方为水平面。从 A, B, C, D, E 分别

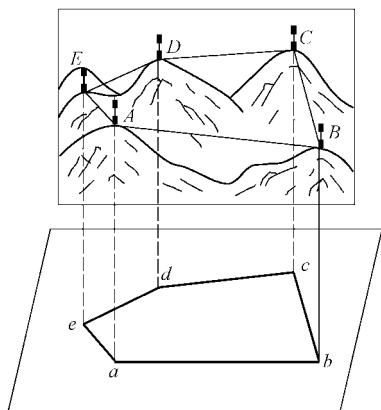


图 1-12 测量的基本工作

向水平面作铅垂线，这些垂线的垂足在水平面上构成多边形 $abcde$ ，水平面上各点就是空间相应各点的正射投影；水平面上多边形的各边就是各空间斜边的正射投影；水平面上的角就是包含空间两斜边的两面角在水平面上的投影。地形图就是将地面点正射投影到水平面上后再按一定的比例尺缩绘至图纸上而成的。由此看出，地形图上各点之间的相对位置是由水平距离 D 、水平角 β 和高差 h 决定的，若已知其中一点的坐标 (x, y) 和过该点的标准方向及该点的高程 H ，则可借助 D, β 和 h 将其他点的坐标和高程算出。因此，不论进行任何测量工作，在实地要测量的基本要素都包括：距离（水平距离或斜距）、角度（水平角和竖直角）、高程（高差）。

1.4.2 测量工作的原则

测量工作必须遵循的最基本原则是“从整体到局部”、“先控制后碎部”的原则。测量工作的目的之一是测绘地形图，地形图是通过测量一系列碎部点（地物点和地貌点）的平面位置和高程，然后按一定的比例，应用地形图符号和注记缩绘而成的。测量工作不能一开始就测量碎部点，而是先在测区内统一选择一些起控制作用的点，将它们的平面位置和高程精确地测量计算出来，这些点被称作控制点，由控制点构成的几何图形称作控制网，然后再根据这些控制点分别测量各自周围的碎部点，进而绘制成图。

小 结

本章要求掌握测量学的基本概念，工程测量在工程建设中的作用，了解确定地面点位置的坐标系，掌握水平面代替水准面的限度和测量的基本方法和基本原则。

习 题

1. 测量学的概念是什么？
2. 测量在工程建设中的作用是什么？
3. 什么是绝对高程、相对高程？
4. 简述高斯坐标系与数学坐标系的异同。
5. 水平面代替水准面对距离和高程测量有何影响？
6. 测量的基本工作是什么？应遵循哪些基本原则？

第 2 章 水准测量

水准测量是进行高程控制的一种基本方法。本章教学内容包括水准测量的原理及水准测量所使用的仪器、工具；DS₃ 微倾式水准仪的构造及使用；水准测量的施测方法及内业计算；水准仪的检验与校正；水准测量误差及注意事项；自动安平水准仪、精密水准仪和电子水准仪的认识和使用。本章的重点和难点是 DS₃ 微倾式水准仪的使用，水准测量的施测方法及成果整理。本章要求了解水准测量的知识，DS₃ 微倾式水准仪的构造，掌握各类水准仪的使用，普通水准测量与四等水准测量的内外业。

2.1 水准测量的原理

2.1.1 水准测量原理

水准测量的原理是借助水准仪提供的水平视线，配合水准尺测定地面上两点间的高差，然后根据已知点的高程来推求未知点的高程。例如，图 2-1 中，为了求出 A、B 两点的高差 h_{AB} ，在 A、B 两个点上竖立水准尺，在 A、B 两点之间安置可提供水平视线的水准仪。当视线水平时，在 A、B 两个点的标尺上分别读得读数 a 和 b ，则 A、B 两点的高差等于两个标尺读数之差。即

$$h_{AB} = a - b \quad (2-1)$$

如果 A 为已知高程的点，B 为待求高程的点，则 B 点的高程为

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-2)$$

读数 a 是在已知高程点上的水准尺读数，称为“后视读数”；读数 b 是在待求高程点上的水准尺读数，称为“前视读数”。高差必须是后视读数减去前视读数。高差 h_{AB} 的值可能是正，也可能是负，正值表示待求点 B 高于已知点 A，负值表示待求点 B 低于已知点 A。此外，高差的正负号又与测量进行的方向有关，例如，图 2-1 中测量由 A 向 B 进行，高差用 h_{AB} 表示，其值为正；反之由 B 向 A 进行，则高差用 h_{BA} 表示，其值为负。所以，说明高差时必须标明高差的正负号，同时要说明测量进行的方向。

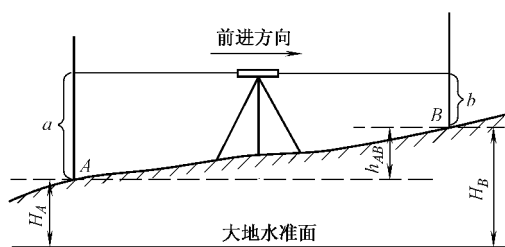


图 2-1 水准测量原理

当两点相距较远或高差太大时，可分段连续进行，从图 2-2 中可得

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\vdots \\ h_n &= a_n - b_n \end{aligned}$$

$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2-3)$$

即两点的高差等于连续各段高差的代数和，也等于后视读数之和减去前视读数之和。通常要同时用 $\sum h$ 和 $(\sum a - \sum b)$ 进行计算，用来检核计算是否有误。

图 2-2 中置仪器的点 I, II, ... 称为测站。立标尺的点 1, 2, ... 称为转点，它们在前一测站先作为待求高程的点，然后在下一测站再作为已知高程的点，转点起传递高程的作用。每相邻两水准点间称为一个测段。

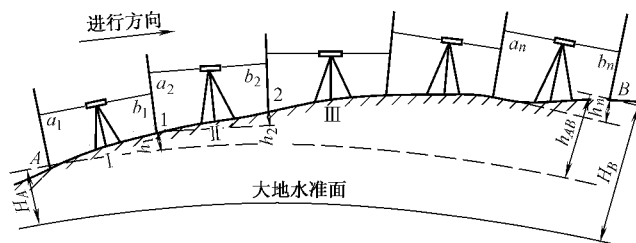


图 2-2 分段水准测量

从以上可见，水准测量的基本原理是利用水平视线来比较两点的高低，求出两点的高差。

2.1.2 计算高程的方法

如图 2-1 所示，B 点（未知点）的高程等于 A 点（已知点）的高程加上两点间的高差，即

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (a - b) \quad (2-4)$$

这就是由高差来计算未知点高程，式中 $(a - b)$ 为两点高差。

由图 2-1 可知，A 点高程加后视读数等于仪器视线的高程，设视线高程为 H_i ，即 $H_i = H_A + a$ ，则 B 点高程等于视线高程减去前视读数，即

$$H_B = H_i - b = H_A + a - b \quad (2-5)$$

这就是由视线高程计算未知点高程，式中 $(H_A + a)$ 为视线高程。

2.2 水准测量的仪器和工具

水准仪是进行水准测量的主要仪器，它可以提供水准测量所必需的水平视线。目前通用

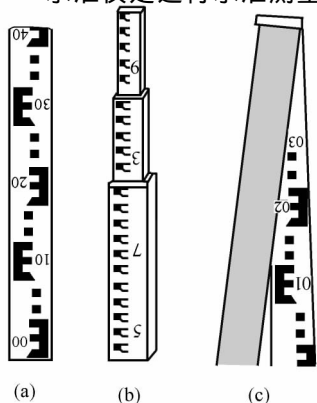


图 2-3 水准尺

(a) 直尺；(b) 塔尺；(c) 折尺

的水准仪从构造上可分为两大类：一类是利用水准管来获得水平视线的水准管水准仪，其主要形式称“微倾式水准仪”；另一类是利用自动补偿器来获得水平视线的“自动安平水准仪”。此外还有新型水准仪——电子水准仪、激光水准仪等，使测量更加方便、快捷。

我国的水准仪系列标准一般有 DS_{05} ， DS_1 ， DS_3 和 DS_{10} 几个等级。D 是大地测量仪器的代号，S 是水准仪的代号，角码的数字表示仪器的精度。其中 DS_{05} 和 DS_1 属于精密水准仪， DS_3 属于一般水准仪， DS_{10} 则用于简易水准测量。

水准尺用优质木材或铝合金制成，最常用的形状有直尺、塔尺和折尺三种（见图 2-3）。长度有 2m、3m 和 5m 几种。

塔尺和折尺多用于普通水准测量，用三节或两节构成。塔尺能伸缩，携带方便，但接合处容易产生误差；直尺比较坚固可靠。水准尺尺面绘有 1cm 或 5mm 黑白相间的分格，米和分米处注有数字。另外水准尺中还有双面尺，是一面为黑白相间刻度，另一面为红白相间刻度的直尺，每两根为一对。两根的黑面都以尺底为零，而红面常用的尺底刻度分别为 4.687m 和 4.787m。利用双面尺可对读数进行检核，用于较高等级的水准测量。

尺垫是用于转点上的一种工具，用钢板或铸铁制成（见图 2-4）。使用时把三个尖脚踩入土中，把水准尺立在突出的圆顶上。尺垫可使转点稳固，防止平移和下沉。

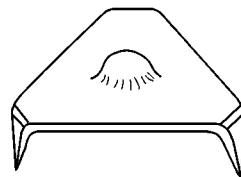
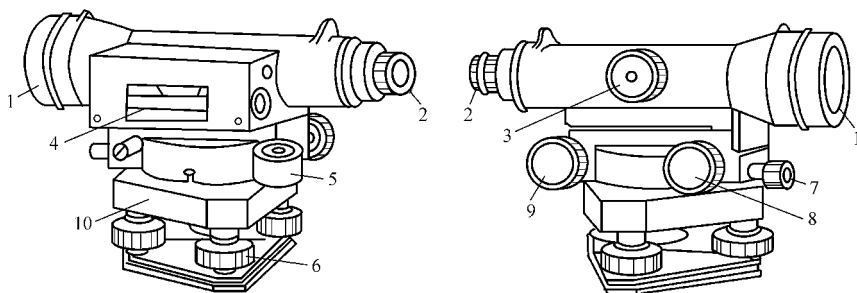


图 2-4 尺垫

2.3 DS₃ 微倾式水准仪的构造和使用

2.3.1 DS₃ 微倾式水准仪的构造

DS₃ 微倾式水准仪如图 2-5 所示，它由望远镜、水准器、基座三个主要部分组成。望远镜可以提供视线，并可读出远处水准尺上的读数；水准器用于指示仪器或视线是否处于水平位置；基座用于置平仪器，它支承仪器的上部并能使仪器的上部在水平方向转动。

图 2-5 DS₃ 微倾式水准仪构造

1—物镜；2—目镜；3—调焦螺旋；4—管水准器；5—圆水准器；6—脚螺旋；7—制动螺旋；
8—微动螺旋；9—微倾螺旋；10—基座

水准仪各部分的名称见图 2-5。基座上有 3 个脚螺旋，调节脚螺旋可使圆水准器的气泡移至中央，使仪器粗略整平。望远镜和管水准器与仪器的竖轴连接成一体，竖轴插入基座的轴套内，可使望远镜和管水准器在基座上绕竖轴旋转。制动螺旋和微动螺旋用来控制望远镜在水平方向的转动，制动螺旋松开时，望远镜能自由旋转；旋紧时望远镜则固定不动。旋转微动螺旋可使望远镜在水平方向作缓慢的转动，但只有在制动螺旋旋紧时，微动螺旋才能起作用。旋转微倾螺旋可使望远镜连同管水准器作俯仰微小的倾斜，从而可使视线精确整平。因此，这种水准仪称为微倾式水准仪。下面先说明微倾式水准仪上主要的部件——望远镜和水准器的构造和性能。

1. 望远镜

最简单的望远镜是由物镜和目镜组成的。物镜和目镜都是用两种不同材料的透镜组合而成的（见图 2-6）。

测量仪器上的望远镜还必须有一个十字丝分划板，它是刻在玻璃片上的十字丝，被安装