

高等学校教材

测量学

CELIANGXUE

余代俊 | 主编

YUDAIJUN



电子科技大学出版社

测 量 学

余代俊 主编

余代俊 宋皑雪 郑平元 编著

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书是普通高等院校非测绘专业的测量学教材。全书共十一章, 主要内容包括: 测量学的基本知识、主要测量仪器的认识与使用、测量误差的基本知识、小地区控制测量、地形图的测绘与应用、航测与遥感基础、施工测量的方法与应用等。

本书内容新颖全面, 实用易读, 可供非测绘工程专业本科(专科)作为测量课程教材, 也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/余代俊主编。—成都: 电子科技大学出版社, 2004.1

ISBN 7-81094-134-8

I. 测... II. 余... III. 测量学—高等学校—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002708 号

测 量 学

余代俊 主编

出 版: 电子科技大学出版社(成都建设北路二段四号 邮编: 610054)

责任编辑: 许宣伟

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都理工大学印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印 张 13.125 字 数 305 千字

版 次: 2004 年 2 月第一版

印 次: 2004 年 2 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-81094-134-8/TU·1

印 数: 1—2000 册

定 价: 18.00 元

前 言

本教材是在总结、完善多年地学类专业的“测量学”课程教材内容,为适应素质人才培养的新形势、新理念、新要求,在广泛征求同行专家和其它相关专业人士意见的基础上编写的。本教材的编写注重以基本理论和基本概念为核心,以基本技能训练和熟练应用地形图为目的,强调现代电子测绘仪器和测绘新技术对传统测绘方法的更新替代作用,内容由浅入深,力求精炼。

本教材共分 11 章,第 1、2、3、4、5、6 章及第 7 章之 § 7.5 “数字化测图概述”由余代俊编写;第 7、8 章由宋皑雪编写;第 9、10、11 章由郑平元编写。全书由余代俊担任主编并整理定稿。本书插图由曾涛、余代俊负责绘制。

本书分别由成都理工大学胡崇金教授和西南交通大学张献洲教授进行了认真、细致的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此谨致谢意!在编写过程中,众多测绘同仁对本书的编写也提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限,书中难免存在不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

第一章 绪 论	1
§1.1 测量学的任务及作用	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	7
第二章 水准测量	10
§2.1 水准测量原理	10
§2.2 普通水准仪及水准尺	11
§2.3 普通水准测量的外业	15
§2.4 普通水准测量的内业	19
§2.5 微倾式水准仪的检验与校正	20
§2.6 水准测量误差分析	23
§2.7 精密水准仪及水准尺	25
§2.8 自动安平水准仪	27
第三章 角度测量	33
§3.1 角度测量原理	33
§3.2 方位角与罗盘仪	34
§3.3 普通光学经纬仪	38
§3.4 水平角观测	40
§3.5 竖直角观测	44
§3.6 经纬仪的检验与校正	46
§3.7 水平角测量误差分析	50
§3.8 电子经纬仪	52
第四章 距离测量	56
§4.1 钢尺量距	56
§4.2 视距测量	58
§4.3 光电测距	61
§4.4 全站仪简介	65
第五章 测量误差的基本知识	69
§5.1 测量误差概述	69
§5.2 衡量精度的标准	71
§5.3 误差传播定律	73
§5.4 算术平均值及其中误差	75
§5.5 加权平均值及其中误差	77
第六章 小地区控制测量	80
§6.1 控制测量概述	80

§6.2	导线测量	83
§6.3	交会定点	90
§6.4	三、四等水准测量	95
§6.5	三角高程测量	98
§6.6	GPS 全球定位系统简介	100
第七章	大比例尺地形图测绘	107
§7.1	比例尺	107
§7.2	地形图符号	108
§7.3	测图前的准备工作	115
§7.4	碎部测量	117
§7.5	地形图绘制	120
§7.5	数字化测图概述	122
第八章	地形图的应用	126
§8.1	地形图的分幅与编号	126
§8.2	高斯平面直角坐标系	133
§8.3	地形图的图外注记	135
§8.4	地形图上的量测作业	138
§8.5	野外使用地形图的基本内容和方法	147
第九章	航空摄影测量与遥感技术	151
§9.1	摄影测量概述	151
§9.2	航空摄影与航摄像片	152
§9.3	立体观察	157
§9.4	立体测图	160
§9.5	影像判读	161
§9.6	遥感技术	165
第十章	测设的基本工作	171
§10.1	水平距离、水平角和高程的测设	171
§10.2	点的平面位置测设	174
§10.3	已知坡度直线的测设	176
§10.4	圆曲线的测设	176
第十一章	施工测量	182
§11.1	施工测量概述	182
§11.2	民用建筑施工测量	183
§11.3	线路工程的中线及纵横断面测量	187
§11.4	道路施工测量	197
§11.5	管道施工测量	200

第一章 绪 论

§ 1.1 测量学的任务及作用

测量学是研究对地球整体及其表面和外层空间中的各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用的科学和技术。它的主要任务有三个方面：一是研究确定地球的形状和大小，为地球科学提供必要的数据和资料；二是将地球表面的地物地貌测绘成图；三是将图纸上的设计成果测设至现场。根据研究的具体对象及任务的不同，传统上又将测量学分为以下几个主要分支学科：

大地测量学——研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动和地面点的几何位置以及它们的变化的理论和技术的学科。其基本任务是建立国家大地控制网，测定地球的形状、大小和重力场，为地形测图和各种工程测量提供基础起算数据；为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同，大地测量学又分为常规大地测量、卫星大地测量及物理大地测量等。

地形测量学——研究如何将地球表面局部区域内的地物、地貌及其它有关信息测绘成地形图的理论、方法和技术的学科。按成图方式的不同，地形测图可分为模拟测图和数字化测图。

摄影测量与遥感学——研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据，从中提取语义和非语义信息，并用图形、图像和数字形式表达的学科。其基本任务是通过摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译，以测定物体的形状、大小和位置，进而制作成图。根据获得影像方式的不同，本学科又分为水下摄影测量、地面摄影测量、航空摄影测量和航天遥感等。

工程测量学——研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论与技术的学科。

地图制图学——研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法以及应用的学科。它的基本任务是利用各种测量成果编制各类地图，其内容主要包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等分支。

在 21 世纪的信息社会中，测绘资料是重要的基础信息之一。测绘工作承担着重要的信息采集、加工、整理及信息建库的任务。在国民经济建设、国防建设和科学研究方面，测绘工作被称为建设的尖兵。城乡规划与建设，国土整治，公路、铁路的修建，农林、水利建设，资源调查，矿产的勘探和开发，环境监测等都离不开测绘工作。在国防建设中，军事测量和军用地图是现代大规模诸兵种协同作战不可缺少的重要保障，而且对诸如远程

导弹、空间武器、人造卫星和航天器的发射也起着重要的作用。测绘技术对于空间科学技术的研究,地壳形变,地震预报,地球动力学研究等是不可缺少的工具。由诸多测绘成果集成的地理信息系统现已成为现代行政管理和军事指挥的重要工具。

随着科学技术的日益发展,测量学正朝着数字化、自动化、信息化和网络化的方向迈进。测量对象已由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态;测量内容和手段已由常规大地测量发展到卫星大地测量(GPS),由摄影测量发展到遥感技术(RS),由常规制图发展到数字化制图进而延伸为地理信息系统(GIS),现代测量学的概念已被拓宽而注入了新的内容,成为一门名副其实的地球空间信息学。本教材的主要内容是地形图的测绘与应用以及一般工程建设的施工测量。

§ 1.2 地球的形状和大小

测绘工作大多是在地球表面上进行的,测量基准的确定,测量成果的计算及处理都与地球的形状和大小有关。

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 8848.13m,最深的太平洋马里亚纳海沟低于海平面 11022m,二者相对高差不足 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,我们可以设想地球的整体形状是被海水所包围的球体,即设想将静止的海水面扩展延伸,使其穿过大陆和岛屿,形成一个封闭的曲面,如图 1-1 所示。静止的海水面称为水准面。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为大地水准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。人们常用大地体来代表地球的真实形状和大小。

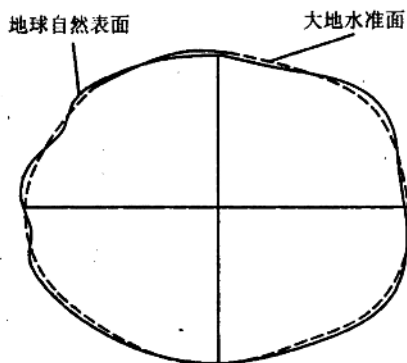


图 1-1 地球与大地体

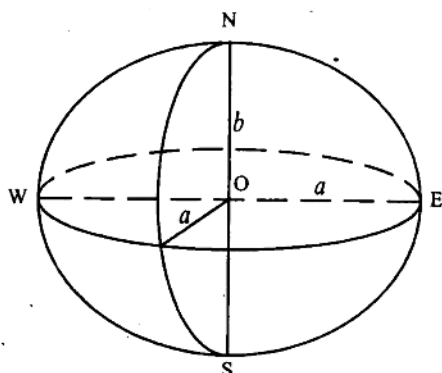


图 1-2 旋转椭球体

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,它既具有几何意义又具有物理意义。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,

处处与铅垂线垂直的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

长半轴 a

短半轴 b

扁率 $\alpha=\frac{a-b}{a}$

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。

几个世纪以来，许多学者分别测算出了多组椭球体元素值，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 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。

表 1-1

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	1984 美国	美国 GPS 采用

由于旋转椭球的扁率很小，在普通测量中可将地球当做圆球看待，其半径 $R=(a+a+b)/3=6371\text{ km}$ 。

§ 1.3 地面点位的确定

地面点的位置需用坐标和高程三维量来确定。坐标表示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来表示地面点的位置。

一、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，宜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，视球体不同而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。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，并作为经度计算的起点。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为东经，以西的为西经。

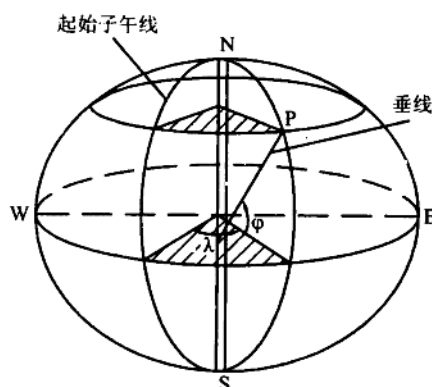


图 1-3 天文坐标

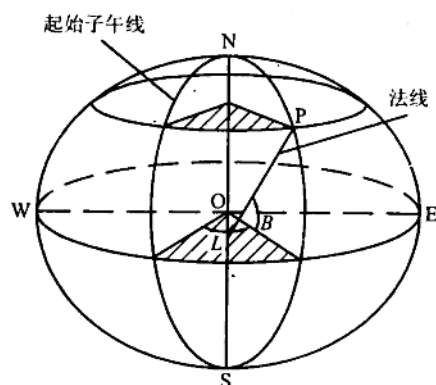


图 1-4 大地坐标

通过地球体中心且垂直于地轴的平面称为赤道面，它是纬度计算的起始面。赤道面与地球表面的交线称为赤道。其它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 $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北的为北纬，以南的为南纬。

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 B 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。

大地坐标 (L, B) 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：

$$L = \lambda - \frac{\eta}{\cos \varphi} \quad (1-1)$$

$$B = \varphi - \xi$$

式中的 η 为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 为在南北方向上的垂线偏差分量。

二、平面直角坐标

在实际测量工作中，若用以角度为计量单位的球面坐标来表示地面点的位置是不方便的，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实质上相同而形式不同，测量上的平面直角坐标以纵轴为 x 轴，一般表示南北方向，以横轴为 y 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，使数学中的三角公式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，能够忽略地球曲率对该区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，它们与本地区统一坐标系没有必然的联系而为独立的平面直角坐标系。如有必要可通过与国家坐标系联测而纳入统一坐标系。经过估算，在面积为 300km^2 的多边形范围内，可以忽略地球曲率的影响建立独立的平面直角坐标系，当测量精度要求较低时，这个范围还可以扩大数倍。

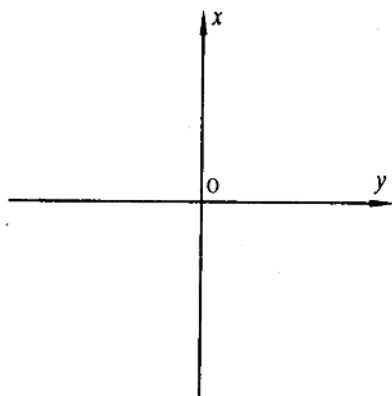


图 1-5 测量平面直角坐标系

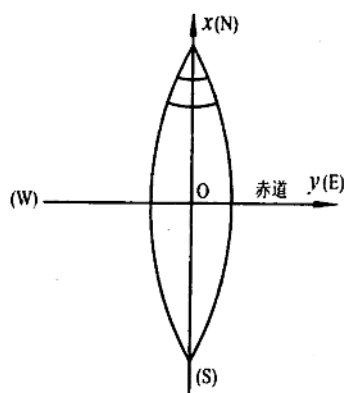


图 1-6 高斯平面直角坐标

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-克吕格投影，建立了高斯-克吕格平面直角坐标系，简称高斯平面直角坐标系，如图 1-6 所示。对应任一地面点的大地坐标 (L, B) ，应用高斯投影公式可

将其转换成高斯平面直角坐标 (x, y) 。但球面上的地物转换到平面上总是会产生变形的, 为了限制这种投影变形, 一般是控制依子午线划分成的瓜瓣投影带的经差大小, 例如, 规定其经差为 6° 、 3° 或 1.5° 等。有关高斯投影的原理及建立高斯平面直角坐标系的详细情况, 请参见 § 8.2 “高斯平面直角坐标系”。

三、地心坐标系

卫星大地测量是利用空中卫星的位置来确定地面点的位置。由于卫星围绕地球质心运动, 所以卫星大地测量中需采用地心坐标系。该系统一般有两种表达式, 如图 1-7 所示。

1. 地心空间直角坐标系

坐标系原点 O 与地球质心重合, Z 轴指向地球北极, X 轴指向格林尼治平均子午面与地球赤道的交点 E , Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手坐标系。

2. 地心大地坐标系

椭球体中心与地球质心重合, 椭球短轴与地球自转轴相合, 大地经度 L 为过地面点的椭球子午面与格林尼治平均子午面的夹角, 大地纬度 B 为过地面点的法线与椭球赤道面的夹角, 大地高 H 为地面点沿法线至椭球面的距离。

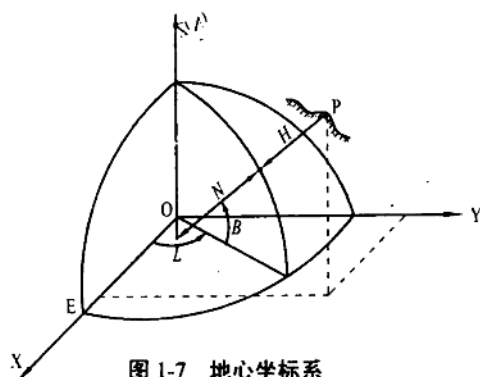


图 1-7 地心坐标系

于是, 任一地面点 P 在地心坐标系中的坐标, 可表示为 (X, Y, Z) 或 (L, B, H) 。二者之间可用下式进行换算:

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中, N 为椭球体卯酉圈的曲率半径, e 为椭球的第一偏心率。

当由空间直角坐标转换为大地坐标时, 则用下式

$$\left. \begin{aligned} L &= \arctg\left(\frac{Y}{X}\right) \\ B &= \arctg\left(\frac{Z + Ne^2 \sin B}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \\ H &= \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2) \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

在纬度 B 的计算中, 需用逐次趋近法作迭代计算。

美国的全球定位系统 (GPS) 采用的 WGS-84 坐标就属这类坐标。

四、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 1-8 所示，图中的 H_A 、 H_B 分别表示地面上 A、B 两点的高程。我国原以 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，由此建立的高程系统称为“1956 年黄海高程系”，在青岛市内一山洞里建立本系统的起算点——水准原点，其高程为 72.289m。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统称为“1985 国家高程基准”，该基准的水准原点高程为 72.260m，并于 1987 年开始启用。

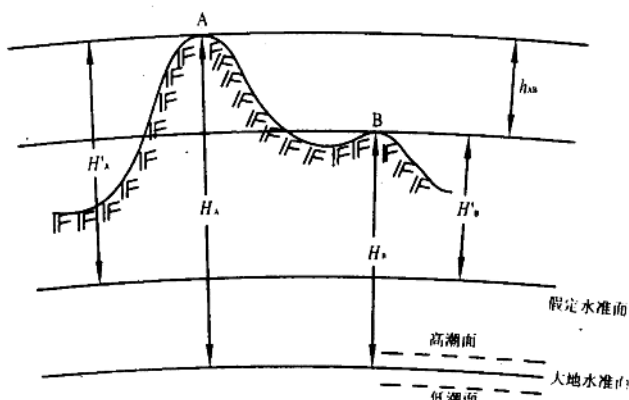


图 1-8 地面点的高程

当测区附近暂时没有国家高程点可利用时，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 1-8 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 点的高差可写成

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

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。

§ 1.4 测量工作概述

测量工作的基本任务是要确定地面点的几何位置。确定地面点的几何位置需要进行哪些测量工作呢？为了保证测量成果的精度及质量需遵循哪些工作原则呢？

一、测量的基本工作

如图 1-9 所示，A、B、C、D、E 为地面上高低不同的一系列点，它们构成空间多边形 ABCDE，图下方为水平面，从 A、B、C、D、E 分别向水平面作铅垂线，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；水平面上相邻两边构成的水平角就是包含空间两斜边的两面角在水平面上的投影。地形图是将地面点正射投影到水平面上后再按一定的比例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高

程 H ，则可借助 D 、 β 和 h 将其它点的坐标和高程算出。因此，水平距离和水平角是确定地面点平面位置的基本要素，高差是确定地面点高程的基本要素。距离测量、角度（方向）测量和高程（高差）测量就是测量的基本工作。

二、测量工作的原则

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。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，这些点被称为控制点，由控制点构成的几何图形称为控制网，再根据这些控制点分别测量各自周围的碎部点，进而拼接绘制成一幅完整的地形图，如图 1-10 所示的多边形 ABCDEF 就是该测区的控制网。

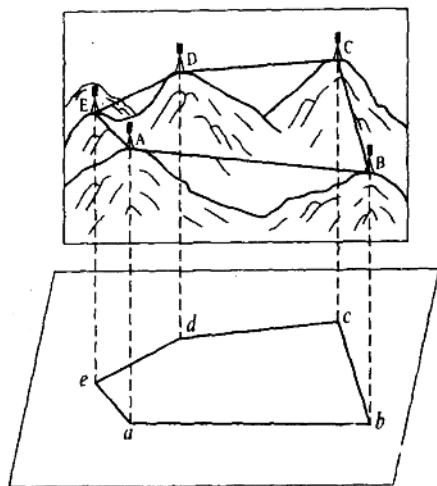


图 1-9 测量的基本工作

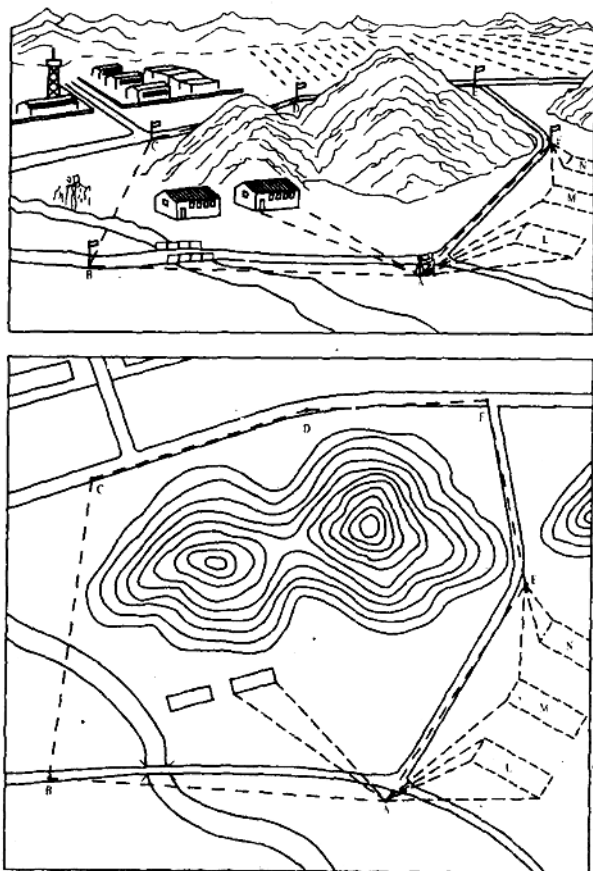


图 1-10 控制测量与碎部测量

这种先建控制网，然后以控制网（点）为基础再进行碎部测量的工作程序，是测量工作必须遵循的一条基本原则，习惯上称作“从整体到局部”、“先控制后碎部”原则；在测量精度上则遵循“从高级到低级”的原则。这些原则对工程测量的施工放样同样适用。

测量工作中，有些是在野外使用测量仪器获取数据，称为外业；有些是在室内进行数据处理或绘图，称为内业。无论是内业还是外业，为防止错误的发生，工作中必须步步“检核”。

思考题与练习题

1. 地球的形状为何要用大地体和旋转椭球体来描述？
2. 何谓水准面？何谓大地水准面？水准面的特性是什么？
3. 球面坐标与平面坐标有何区别？天文坐标与大地坐标有何区别？
4. 测量工作的基本原则是什么？

5. 何谓高程？何谓高差？若已知 A 点的高程为 498.525m，又测得 A 点至 B 点的高差为 -16.572m，试问 B 点的高程为多少？

第二章 水准测量

高程测量是测量的基本工作之一。按所使用的仪器及施测方法的不同,高程测量分为水准测量、三角高程测量、GPS 高程测量和气压高程测量。水准测量和三角高程测量是通过测定两点间的高差来计算待求点的高程;GPS 高程测量是通过转换地面点的三维坐标求定点的高程,气压高程测量是根据高程与大气压力成反比的原理,利用气压计测定地面点的高程。水准测量是目前精度最高也最常用的一种高程测量方法,被广泛应用于国家高程控制测量及各种工程测量中。水准测量按精度高低又分为普通(等外)水准测量和等级水准测量。本章将介绍普通水准测量,而等级水准测量和三角高程测量将在第六章“小地区控制测量”中介绍。

§ 2.1 水准测量原理

水准测量是利用水平视线来测定两点间的高差。如图 2-1 所示,在地面 A、B 两点上各竖立一根水准标尺,中间安置一台能提供水平视线的水准仪,水平视线分别截在标尺的 M、N 点上,读得尺上读数 a 和 b ,于是得 A 点至 B 点的高差

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

如果测量的行进方向为 A 至 B,则称 A 为后视点, B 为前视点; a 为后视读数, b 为前视读数。当已知 A 点的高程 H_A 并测得高差 h_{AB} 时,可算出 B 点高程为

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

如果安置一次仪器要求测出若干个前视点 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 的高程时,也可通过仪器的视线高 H_i 来计算各点高程,即

$$\begin{aligned} H_i &= H_A + a \\ H_{B_1} &= H_i - b_1 \\ H_{B_2} &= H_i - b_2 \end{aligned} \quad (2-3)$$

.....

$$H_{B_n} = H_i - b_n$$

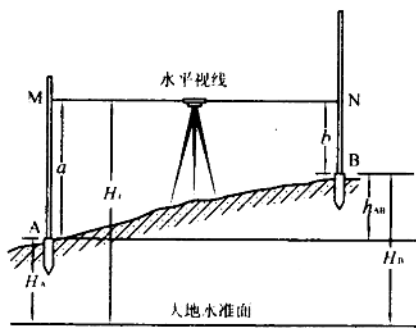


图 2-1 水准测量原理

如果 A、B 两点相距较远或高差较大,安置一次仪器无法测得高差时,就需在两点间增设若干个作为传递高程的临时转点,如图 2-2 中的 1、2、3 点,并连续地设站观测,测出高差 $h_{A1}, h_{12}, h_{23}, h_{3B}$,于是得 A、B 两点的高差为

$$h_{AB} = h_{A1} + h_{12} + h_{23} + h_{3B}$$

式中各测站的高差均为后视读数减前视读数，即

$$\begin{aligned} h_{AB} &= \sum_1^4 h = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) + (a_4 - b_4) \\ &= (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4) = \sum_1^4 a - \sum_1^4 b \end{aligned}$$

即两点间的高差等于各测站后视读数之和减去前视读数之和。若 A、B 两点间共设置了 n 个测站，测得 n 个高差，其总高差可写成

$$h_{AB} = \sum_1^n h_i = \sum_1^n a_i - \sum_1^n b_i \quad (2-4)$$

实际作业中，可先算出各站高差 h_i ，然后求其和 $\sum_1^n h_i$ 得到 h_{AB} ，再用 $\sum_1^n a_i$ 减去 $\sum_1^n b_i$ 之差来检核高差计算是否有错误。

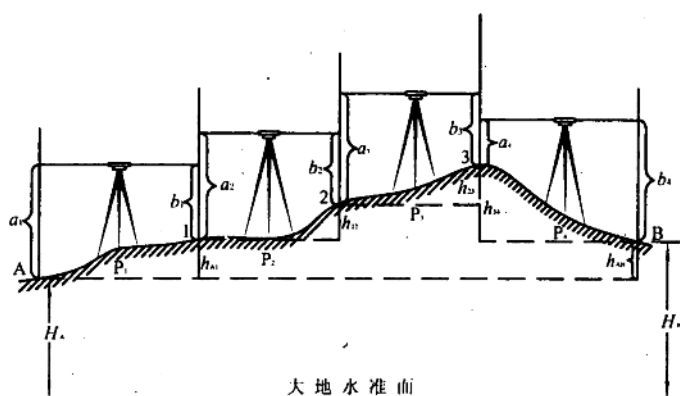


图 2-2 连续水准测量

因为传递高程的转点是临时性的，故转点上没有固定的标志。

§ 2.2 普通水准仪及水准尺

水准测量所使用的仪器为水准仪，工具有水准尺和尺垫。

一、水准仪

水准仪的主要作用是提供一条水平视线，并能照准一定距离外的水准尺。因此，水准仪主要由望远镜、管水准器（补偿器）和基座组成。按其结构的不同，水准仪可分为普通