

高等学校土木工程专业规划教材

○ 赵同龙 主编

测量学

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业规划教材

测 量 学

赵同龙 主编
于承新 主审

中国建筑工业出版社

前 言

随着现代科学技术，尤其是计算机技术、现代通信技术、信息技术和传感技术的发展，测量学已由传统的模拟时代发展到数字化时代，目前正向信息化时代发展，在国民经济建设和国防建设中发挥着越来越重要的作用。

在时代背景下，测量学作为高等学校土木工程、建筑工程管理、工程造价等土建类专业的一门重要技术基础课，其教学内容、教学形式也需要不断更新和完善，以适应时代发展和培养各类专门人才的需要。以此为出发点，我们组织山东建筑大学测绘工程教研室的教师，总结多年来测量教学经验，结合时代发展进程，编写了本教材。

全书共分十章，章末附有复习思考题。第一章绪论，主要讲述了测量学的任务、内容、原则和地面点位的确定以及测量工作的基本原则和基本程序。第二章至第六章主要讲述了测量的基本原理、技术和方法。第七章讲述了地形图应用的内容。第八章至第十章讲述了施工测量技术以及测量在不同工程领域的应用。

本书由赵同龙主编，王倩、赵吉涛副主编，丁宁、郝光荣、王京卫参编。全书由于承新主审。具体分工情况如下：

第一章、第二章、第六章由赵同龙编写，第三章、第七章由王倩编写，第四章、第五章由赵吉涛编写，第八章由郝光荣编写，第九章、第十章由丁宁、王京卫、赵同龙、赵吉涛共同编写。

本书的部分图表和数据取自所列的参考文献，在此向原作者致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在谬误之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的任务及作用	1
1.2 测量常用坐标系及地面点位的确定	3
1.3 测量工作的程序及基本内容	9
1.4 测量的度量单位	10
复习思考题	11
第 2 章 水准测量	12
2.1 水准测量的原理	12
2.2 水准测量的仪器和工具	12
2.3 水准测量的外业实施	18
2.4 水准测量内业计算	24
2.5 微倾式水准仪的检验和校正	25
2.6 水准测量的误差及注意事项	28
复习思考题	29
第 3 章 角度测量	31
3.1 角度测量原理	31
3.2 角度测量的仪器	32
3.3 水平角观测	35
3.4 竖直角观测	40
3.5 经纬仪的检验与校正	43
3.6 水平角测量的误差及注意事项	46
复习思考题	48
第 4 章 距离测量与直线定向	50
4.1 钢尺量距的一般方法	50
4.2 钢尺量距的精密方法	52
4.3 视距测量	54
4.4 光电测距	56
4.5 电子全站仪简介	58
4.6 直线定向	59
复习思考题	62
第 5 章 控制测量	63
5.1 控制测量概述	63
5.2 导线测量	64
5.3 交会测量	71
5.4 高程控制测量	74
5.5 GPS 在控制测量中的应用	75
复习思考题	81

第6章 地形测量	82
6.1 地形图的基本知识	82
6.2 地物符号和地物注记	90
6.3 地貌符号	91
6.4 地形图测绘	94
复习思考题	108
第7章 地形图的应用	109
7.1 地形图的识读	109
7.2 地形图应用的基本内容	109
7.3 图形面积的量算	111
7.4 地形图在工程建设中的应用	115
复习思考题	121
第8章 测设的基本工作	122
8.1 水平距离、水平角度、高程的测设	122
8.2 点的平面位置的测设	124
8.3 已知坡度直线的测设	127
复习思考题	128
第9章 工业与民用建筑中的施工测量	129
9.1 施工测量概述	129
9.2 建筑施工控制测量	129
9.3 建筑施工测量	134
9.4 建筑工程变形观测	141
9.5 建筑工程竣工测量	149
复习思考题	151
第10章 道路、桥梁与地下工程测量简介	152
10.1 道路工程测量概述	152
10.2 道路中线测量	152
10.3 道路曲线测设	154
10.4 路线纵横断面测量	158
10.5 桥梁工程测量概述	161
10.6 桥梁控制测量	161
10.7 桥梁施工测量	162
10.8 地下工程测量概述	163
10.9 地下工程控制测量	164
10.10 联系测量	165
10.11 地下工程施工测量	168
复习思考题	169
主要参考文献	170

第1章 绪 论

1.1 测量学的任务及作用

1.1.1 测量学的任务和内容

测量学是测绘学科的一门技术基础课，也是土木工程、交通工程、市政工程、土地管理等专业的一门专业基础课。学习本课程的目的为了掌握测量基本数据的获取、地形图的测绘、地形图的应用、工程建筑物施工放样以及变形观测的基本理论和方法。

人们在长期的劳动和实践过程中，在面对大小、高下、远近、方圆，在面对点、线、面、体、方向、位置等的日常生活中，已经自觉和不自觉的用到了测量知识。

远近可以对应于测量中的距离测量，高下可以对应于测量中的高程测量，方向可以对应于测量中的角度测量与直线定向工作。运用测量原理，通过高程测量、角度测量、距离测量与直线定向工作，我们可以确定一个点在空间中的位置。点之间可以连成线，线的组合可以构成面，面之间再组合可以构成体。于是物体的大小、形状以及它所在的位置就可以确定出来。当然，与此有关的高程、距离、角度、面积、体积、方向等指标也可以通过测量方法进行量化。

因此，说得简单一点，测量学就是确定地面点位（包含空中、地下和水下）的科学。说得抽象一点，测量学就是研究地球空间（包括地面、地下、水下、空中）具体几何形体的测量描绘和抽象几何实体的测设实现的理论、方法和技术的一门应用性学科。它主要以建筑工程和机械设备为研究对象。

具体几何实体是指一切被测对象，它们是业已存在的一切几何实体（包括原始自然地貌、人工建筑及其有关的目标）；抽象几何实体是指一切设计好的、还仅存在于图纸上的、尚未建成的各项工程。

另外，在生产实践中，人们有时候需要明确建筑物在施工和运营期间其形状、位置等是否产生了变化？如果变化了，这些变化量到底有多大？它影响不影响建筑物的安全？解决这些疑问，就要用到测量中变形观测的理论和方法。因此，变形观测也是测量工作的一项重要内容。

就测量目的的实现而言，测量学的主要内容包括描绘性测量（测定）、实现性测量（施工测设）、监视性测量（变形观测）和验证性测量（测量检测）。

描绘性测量就是利用测量仪器和工具，通过测量和计算，测量出具体几何实体的形状、大小和位置，从而获取想要的测量数据；或者根据需要，将几何实体的集合，运用一定的符号系统，根据地图制图理论绘制出地形图，供规划设计、信息管理、经济建设和国防建设等部门使用。

施工测设实际上是指抽象几何实体的实现问题。将抽象的几何实体按照其设计好的位置在地面上标定出来，作为后续施工的依据，称为测设（又称放样）。机械设备的安装也

是一种放样。放样可以归纳为点、线、面、体的放样，其中点放样是基础。放样与描绘性测量的原理相同，使用的仪器和方法也相同，只是实现的目的不一样。

变形观测就是周期性地对建筑物上的观测点进行重复观测，求得其在两个及两个以上周期的变化量，以便能正确反映出建筑物的变化情况，达到监视建筑物的安全运营，了解其变形规律的目的。为了能反映出建筑物的微小变形量，变形观测通常要用精密测量仪器和专用测量仪器才能实现。除了实现目的和对仪器的精度有特殊要求以外，变形观测与描绘性测量的原理、方法也是相同的。

验证性测量实质上是对工程建筑物及其构件的安装进行测量方面的质量控制，通过测量，可以验证其几何尺寸是否符合设计要求，其变形量是否符合建筑限差的要求等等。验证性测量的成果是工程建筑物成果验收的重要依据，其测量原理、测量方法与描述性测量、变形观测基本相同。

1.1.2 测量学的地位和作用

测量学是测绘学科的一门技术基础课，测绘科学与技术的应用范围非常广泛，在国民经济建设、国防建设和科学研究等领域都占有重要地位，对国家的可持续发展发挥着越来越重要的作用。

在国民经济建设领域，测绘信息是国民经济建设和社会发展规划中最重要的基础信息之一。在资源开发与利用、城市规划与建设、交通工程、水利工程、工业设备与安装、甚至农业、环境保护等诸多方面，都离不开测绘信息（资料）的支持。譬如修一条路，首先要根据地形条件，按照一定的限制坡度选择线路走向；要知道作物的产量，就要先知道作物的种植面积；进行土方计算，实际上就是要计算挖土和填土的体积；机械设备的安装，必须保证足够的精度；相向开挖的隧道，必须保证能够正确贯通等等，所有这些，都需要测量工作的支持和参与。

在国防建设方面，测量工作更有不可替代的作用。各种国防工程的规划、设计与施工必然用到测量工作。战略部署、战役指挥、兵力投送等离不开军事地图，导弹、卫星、航天器的发射与精确定轨等离不开测量工作。目前，现代军事科学技术与现代测绘科学技术已经紧密地结合在一起。仅在卫星导航领域，目前世界上就有美国的 GPS、欧盟的 Galileo、俄罗斯的 GLONASS、中国的“北斗”等。

在科学研究方面，航天技术、极地探索、地壳形变、灾害监测、资源评估等诸多领域以及其他科学中，都要用到测绘科学技术，都需要测量工作的参与和配合。地理信息系统、数字城市、数字中国乃至数字地球的建设，都需要现代测绘科学技术提供基础数据信息。

近几十年来，随着空间科学、信息科学的飞速发展，3S（GPS、RS、GIS）技术已经成为当前测绘科学的核心技术。测量工作已从单纯的与地形有关的测绘和资料收集发展到数据采集、传输、存储、处理的自动化，测绘领域早已从陆地扩展到海洋、空间和地下，测绘成果已从三维扩展到四维、从静态发展到动态，测量工作正向着“测量内外业作业的一体化、数据获取及处理的自动化、测量过程控制和系统行为的智能化、测量成果和产品的数字化、测量信息管理的可视化、信息共享和传播的网络化”六化方向发展。

测绘科学与技术在土建类专业中的应用可以从工程建设的规划设计、施工建设和运营管理三个阶段来考虑。

在工程建设的规划设计阶段（也称勘测设计阶段），测量工作主要提供与规划设计有关的各种测量数据和各种比例尺的地形图。

在工程建设的施工阶段，测量工作者首先要将所设计的工程建筑物按照施工的要求在现场标定出来（即定线放样），作为实际修建的依据。然后再按照施工的需要，采用各种不同的放样方法，将图纸上所设计的内容转移到实地。此外，还要进行施工质量控制（如高层建筑的竖直度、梁的挠度及弯曲等）、设备安装、竣工测量等工作。

在工程建设的运营管理阶段，为了保证建筑物的安全，还要对建筑物的水平位移、沉降、倾斜、裂缝以及摆动等进行变形观测。

非测绘工程专业的学生，学习本课程之后，应该掌握测量学的基本理论和基本方法；能够正确使用测量仪器获取测量数据；了解大比例尺地形图的成图原理和方法；掌握地形图在本专业方面的应用；具备一定的施工放样能力；了解现代测绘科学与技术的发展动态，以便能灵活运用所学到的测量知识为其专业服务。

测量学是一门实践性很强的学科，除课堂教学外，还有实验课和教学实习。在掌握课堂教学内容的同时，学生还要认真参加实验课和教学实习，达到验证所学理论和学以致用的目的，要自始至终完成各项实习任务，规范操作、忠实记录、认真计算，通过实习培养理论联系实际、分析问题和解决问题的能力，通过实习提高实际动手能力和团结协作精神，培养严谨、求实的作风，为以后的工作打下良好的基础。

1.2 测量常用坐标系及地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作主要是在地球自然表面进行的，因此，地球整体的形状和大小与测量工作密切相关。首先，地球表面是极不规则的，有高山大川，也有湖泊海洋，珠穆朗玛峰高达8844.43m，马里亚那海沟深达11022m，但这与地球约6371km的半径相比，只能算是极小的起伏。其次，地球表面约71%的面积为海洋，约29%的面积为陆地，海洋占了绝大多数。因此，测量中把地球的形状看作是由静止的海水面向陆地延伸并包绕整个地球所形成的某种形状（如图1-1）。

地球上任一质点在静止状态下都会受到两个力的作用：一是地球自转产生的惯性离心力，二是整个地球质量产生的万有引力。这两个力的合力称为重力。万有引力方向指向地球的质心，惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外。重力方向则是两者合力的方向（如图1-2）。重力的作用线又称为铅垂线，铅垂线是测量外业所依据的基准线。用细线系一重锤，其静止时所指的方向即为重力的方向。由于惯性离心力在赤道处最大，随纬度的升高而逐渐减小，在两极处为零，因此如图1-1所示，地球形体为赤道较为突出而两极较为扁平的椭球体。

处于静止状态的水面称为水准面。水准面是一个重力等位面，水准面上任意一点的垂线都垂直于该点的水面。在地球表面重力作用的空间，通过任意高度的点都有一个水准面，因此，水准面有无数个。为了统一高程计算的基准面，设想全球的海水面都静止下来，形成一个平均海水面，并假设该平均海水面穿过大陆和岛屿包围了整个地球，形成一个闭合曲面，这个闭合曲面就是大地水准面。因此，大地水准面就是假想的、与静止的平

均海水面相吻合，并向大陆和岛屿延伸而形成的闭合的特定重力等位面，它是测量外业所依据的基准面。需要指出的是，出于某种需要，在不同的国家和地区，大地水准面所采用的平均海水面是不同的，我国的大地水准面采用黄海的平均海水面，因此这个大地水准面应称为“似大地水准面”。



图 1-1 地球的形状

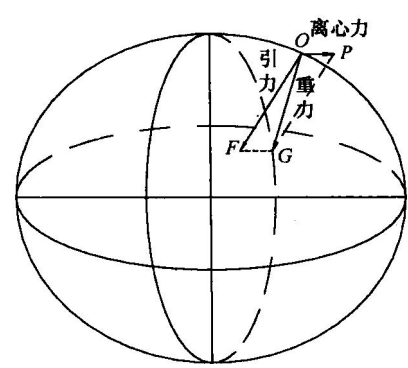


图 1-2 引力、离心力和重力

由于地球表面的起伏不定和地球内部质量分布的不均匀，使得重力作用线的方向产生不规则的变化，根据水准面的特性，可以判断出大地水准面是一个不规则的曲面（如图 1-3），因此大地水准面所包围的地球形体“大地体”也是不规则的，它难以用数学公式准确表达。测绘地形图时，需要将地球表面上的几何实体投影到平面上，由于地球曲面的不规则，致使投影计算变得十分困难。

经过长期测量实践表明，地球形状及其近似于一个两极稍扁的旋转椭球，即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体（如图 1-4）。旋转椭球面可以用数学公式准确表达。因此，在测量工作中用一个规则的旋转椭球面来代替大地水准面作为测量内业计算的基准面。

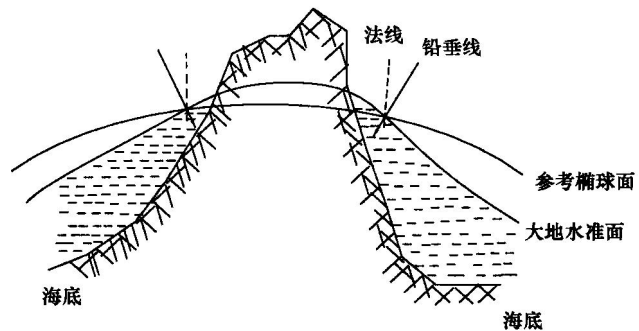


图 1-3 大地水准面

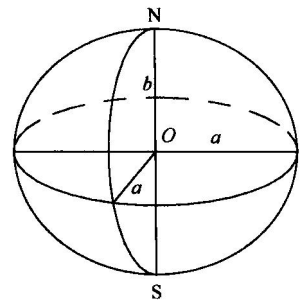


图 1-4 旋转椭球体

在几何大地测量中，椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 f 来表示：

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

式中 a ——椭球的长半轴；

b ——椭球的短半轴；

f ——椭球的扁率。

代表地球形状的总地球椭球（与全球大地水准面最为接近的地球椭球）只有一个，但世界上不同的国家和地区使用的却是与自己国家和地区的似大地水准面最为接近的椭球，称为参考椭球。几个世纪以来，许多学者曾测算出参考椭球体的参数值，表 1-1 为几次有代表性的测算成果。

地球椭球几何参数

表 1-1

椭球名称	年代	长半轴 a (m)	扁率 f	备 注
德兰布尔	1800	6375653	1: 334.0	法国
白塞尔	1841	6377397.155	1: 299.152 812 8	德国
克拉克	1880	6378249	1: 293.459	英国
海福特	1909	6378388	1: 297.0	美国
克拉索夫斯基	1940	6378245	1: 298.3	前苏联
1975 大地测量参考系统	1975	6378140	1: 298.257	IUGG 第 16 届大会推荐值
1980 大地测量参考系统	1979	6378137	1: 298.257	IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS-84 系统	1984	6378137	1: 298.257 223 563	美国国防部制图局 (DMA)

注：IUGG——国际大地测量与地球物理联合会 (International Union of Geodesy and Geophysics)。

由于参考椭球的扁率很小，当测区面积不大时，在普通测量中可以把地球近似的看作圆球体，其半径为：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \approx 6371\text{km}$$

1.2.2 测量常用坐标系

为了确定地面点的位置，需要建立坐标系。一个点在空间的位置需要三维坐标来表示，在测量工作中，点的空间位置由球面或平面上的坐标（二维）加高程（一维）三个数据来表示，即用一个二维坐标系（投影面为球面或平面）和一个一维坐标系（高程）的组合来表示，它们分别属于大地坐标系、平面直角坐标系和高程系；在卫星测量中，采用的是空间直角坐标系。同一个点在不同坐标系之间的坐标彼此可以相互换算。

1. 大地坐标系

地面上一点的空间位置可用大地坐标 (B, L, H) 来表示。参考椭球面是大地坐标系的基准面，在参考椭球面上确定一点投影位置的两个参考面是赤道面和起始子午面。

在图 1-5 中，过地面点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角，称为该点的大地经度，用 L 表示。规定从起始子午面起算，向东为正，由 0° 到 180° 为东经；向西为负，由 0° 到 180° 为西经。

过地面点 P 的椭球面法线与赤道面的夹角称为该点的大地纬度，用 B 来表示。规定从赤道面起算，向北为正，由 0° 到 90° 为北纬；向南为负，由 0° 到 90° 为南纬。

P 点沿椭球面法线到椭球面的距离称为大地高程，用 H 来表示。从椭球面起算，向

外为正，向内为负。

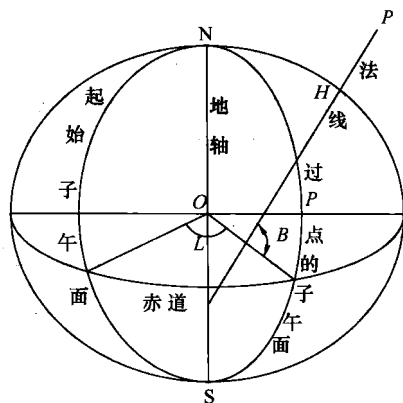


图 1-5 大地坐标系

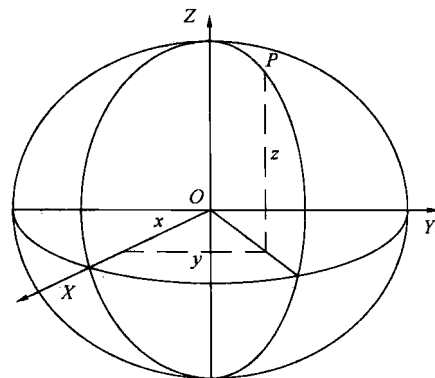


图 1-6 空间直角坐标系

2. 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点，起始子午面与赤道面交线为 X 轴，赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴，椭球体的旋转轴为 Z 轴，构成右手直角坐标系 $O-XYZ$ ，在该坐标系中， P 点的位置用 OP 在这三个坐标轴上的投影 x 、 y 、 z 来表示（如图 1-6）。

3. 独立的平面直角坐标系

根据上面介绍，地面点在椭球面上的坐标可以用大地坐标和空间直角坐标表示，但是，由于工程建设规划设计是在平面上进行的，需要将点的位置和地形图表示在平面上，因此工程建设中，通常采用平面直角坐标系。测量中采用的平面直角坐标系有独立的平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系。

大地水准面虽然是曲面，但当测量区域（如半径不大于 10km 的范围）较小时，可以用通过测区中心点的切平面来代替曲面，地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。这个“切平面”就是独立平面直角坐标系的“平面”，其坐标原点一般选在测区的西南角，以使测区内各点的坐标值均为正值；以纵轴作为 X 轴，表示南北方向，向北为正；以横轴作为 Y 轴，表示东西方向，向东为正；象限顺序以顺时针方向排列（如图 1-7）。应当注意，测量中的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系（如图 1-8）是有区别的，比如坐标轴、象限的规定等。但是，由于测量中表示点的位置时其角度是以北方向为准按照顺时针计算的，因此，当 X 轴与 Y 轴如此互换后，全部平面三角公式均可用于测量计算中。

4. 高斯平面直角坐标系

当测区较大时，就不能把大地水准面当作水平面来看待。此时，要将球面坐标和曲面图形转换成相应的平面坐标和图形，必然会产生变形，为了使变形小于测量误差，就必须采用适当的方法来解决。测量中通常采用高斯投影方法。

如图 1-9 所示，设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面，使它与椭球上某一子午线（该子午线称为中央子午线）相切，椭圆柱的中心通过椭球体中心，然后用一定的投影方法，将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上，再将此柱面展开即成为投影面。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。高斯投影具有以下特点：

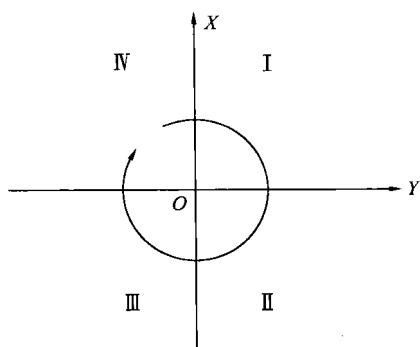


图 1-7 测量平面直角坐标系

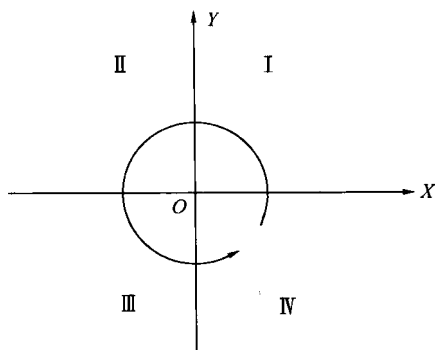


图 1-8 数学平面直角坐标系

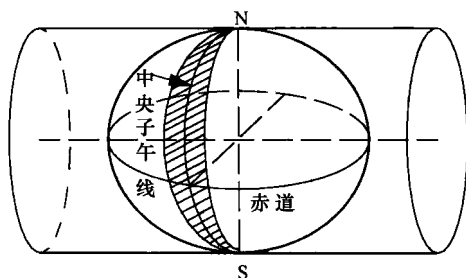


图 1-9 高斯投影

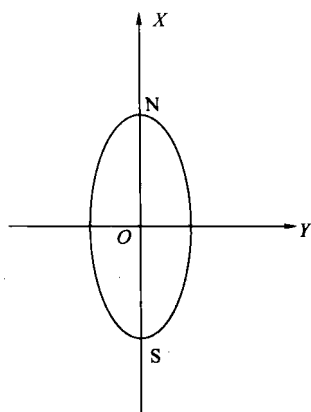


图 1-10 高斯平面直角坐标系

(1) 高斯投影是正形投影的一种，投影前后的角度相等。

(2) 中央子午线投影后为直线，且长度不变。距离中央子午线越远的子午线，投影后弯曲程度越大，长度变形也越大。

(3) 椭球面上除中央子午线外，其他子午线投影后均向中央子午线弯曲，并向两极收敛，对称于中央子午线和赤道。

(4) 在椭球面上对称于赤道的纬圈，投影后仍成为对称的曲线，并与中央子午线的投影线互相垂直且凹向两极。

在投影面上，中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线和赤道的交点 O 作为坐标原点，以中央子午线的投影为纵坐标轴 X ，规定 X 轴向北为正；以赤道的投影为横坐标轴 Y ，规定 Y 轴向东为正，这样就建立了高斯平面直角坐标系（如图 1-10）。

根据高斯投影的特点，为了控制长度变形，将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带，称为投影带。投影带的带宽（即经差）一般分为 6° 和 3° ，它们分别称为 6° 带和 3° 带（如图 1-11）。

6° 带：从 0° 子午线起，每隔经差 6° 自西向东分带，依次编号 1, 2, 3, ..., 60，每带中间的子午线称为轴子午线或中央子午线，各带相邻子午线称为分界子午线。我国领土跨 13~23 共 11 个 6° 带。带号 N 与相应中央子午线经度 L_0 的关系为：

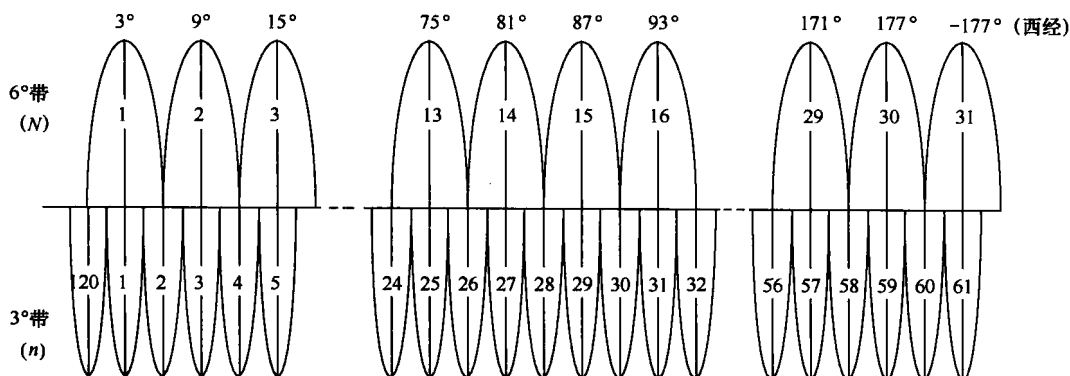


图 1-11 6°带与 3°带

$$L_0 = 6N - 3$$

3°带：从东经 1.5°子午线起，每隔经差 3°自西向东分带，依次编号 1, 2, 3, ...120。我国领土跨 24~45 共 22 个 3°带。带号 n 与相应中央子午线经度 l_0 的关系为：

$$l_0 = 3n$$

我国位于北半球， X 坐标均为正值，而 Y 坐标有正有负。为避免 Y 坐标出现负值，规定将坐标轴 X 向西平移 500km，即所有点的 Y 坐标值均加上 500km。此外，为便于区别某点位于哪一个投影带内，还应在横坐标前冠以带号。这种坐标称为国家统一坐标。

例如， P 点的坐标 $X_P = 3275611.188\text{m}$ ； $Y_P = -376543.211\text{m}$ ，若该点位于 19 带内，则 P 点的国家统一坐标为：

$$x_P = 3275611.188\text{m}, y_P = 19123456.789\text{m}.$$

1.2.3 地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的位置，通常地面点的位置要用三个量 (X, Y, H) 来表示 [当然也可以用 (L, B, H) 或 (X, Y, Z) 来表示]。其中 (X, Y) 是指地面点沿着铅垂线投影到投影面 (如高斯平面、独立平面、空间直角坐标系的 XOY 平面) 上的平面坐标； H 是指地面点到高度起算面的铅垂距离， H 又称为高程，高度起算面又称为高程基准面。选用不同的高程基准面，可以得到不同的高程系统。

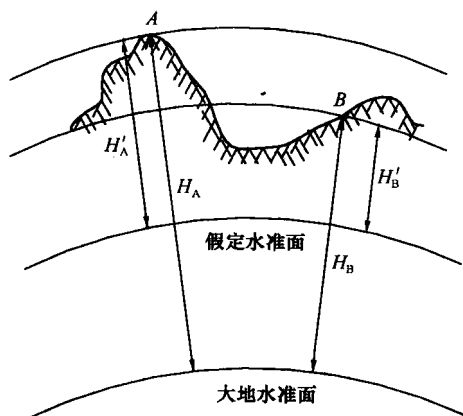


图 1-12 地面点高程的确定

地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为该点的绝对高程或海拔。地面点沿铅垂线方向到假定水准面的距离称为该点的相对高程或假定高程。高程用 H 表示。图 1-12 中的 H_A 和 H_B 分别为地面点 A, B 的绝对高程， H'_A 和 H'_B 分别为地面点 A, B 的相对高程。

为了统一全国的高程系统，我国根据长期验潮观测资料，求出了黄海平均海水面的位置作为我国绝对高程的起算面，并在青岛建立了水准原点，其高程为 72.260m，全国各地绝对高程都以它为基准进行测算。此即为我国目前采用的“1985 国家高程基准”。

1.3 测量工作的程序及基本内容

1.3.1 测量工作程序及基本原则

地球表面的外形是复杂多变的，在测量工作中，一般将其分为两大类：地面上自然形成的高低起伏等变化，如山岭、谷地、平原等称为地貌；地面上由人工建造的地面附着物，如房屋、道路、桥梁等称为地物；地物和地貌统称为地形。

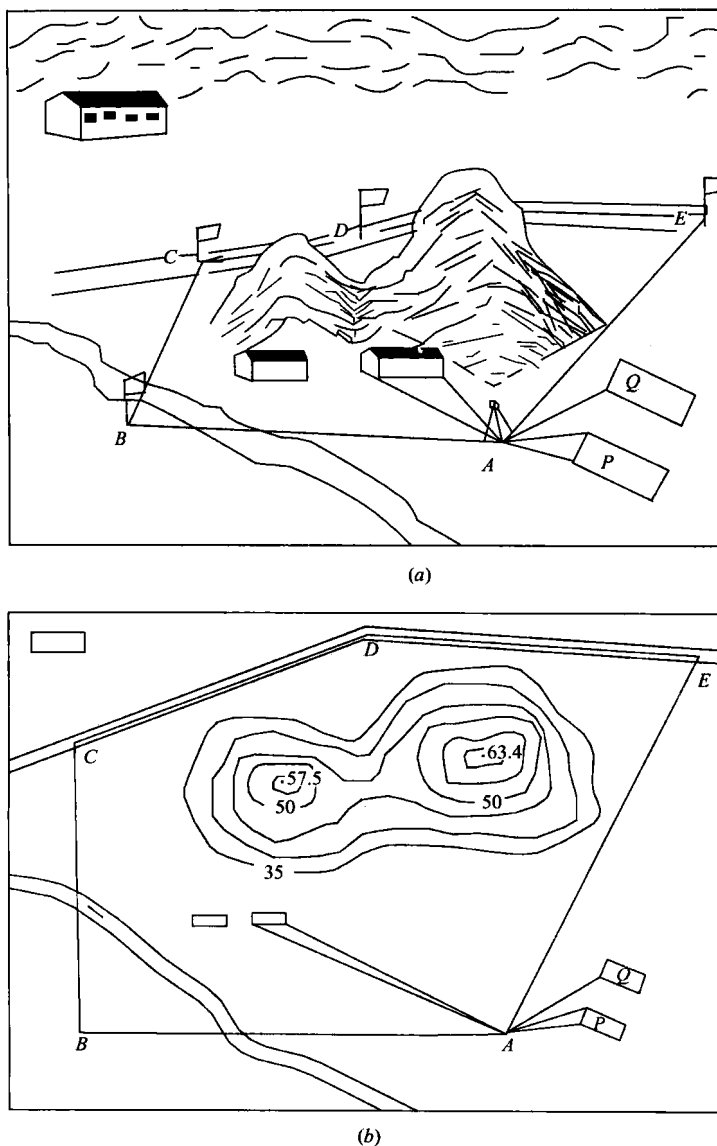


图 1-13 控制测量与碎部测量

测绘地形图时，在一个测站上用仪器测绘出测区内所有的地物和地貌是不可能的。同样，建筑施工放样工作也不可能在一个测站上完成。如图 1-13 (a) 所示，在 A 点设站，

只能测绘它周围的地物和地貌，对于山后和较远的地方就观测不到，因此，需要在若干点上分别施测，才能测绘拼接出一幅完整的地形图。同样，要放样设计房屋 P 、 Q 的位置，也可能需要在不同点上安置仪器才能完全放样出其位置。因此，进行某一个测区的测量工作时，首先要用较严格的方法和较精密的仪器，以较高的精度测定分布在全测区的少量控制点（如图 1-13 中的 A 、 B 、 C 、 D 、 E ）的点位，作为测图或施工放样的框架和依据，以保证测区的整体精度，称为控制测量。然后在每个控制点上，以较低但必要的精度测绘其周围的局部地形图或放样需要施工的点位，称为碎部测量。

以上讲的测量程序即为测量工作的基本原则之一：“先控制后碎部”。此外，在测量的布局上，还应把握“从整体到局部”的原则，在测量精度上要按照“从高级到低级”的原则，在实地测量过程中要按照“前一步工作未经检核不能进行下一步工作”的原则进行施测。采取这些测量原则的目的在于减少测量误差的积累，使测图或放样的点位精度均匀。

1.3.2 控制测量

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量，是先在测区选择一定数量的具有控制意义的控制点，由这一系列控制点构成控制网，然后用较高的精度测定出控制点的平面坐标和高程，作为后期碎部测量点位控制依据。

1.3.3 碎部测量

碎部测量是在控制测量的基础上进行的，即以控制点为依据，在不同的控制点上安置仪器，测定一系列地形特征点的平面位置和高程，以绘制地形图；或测设一系列设计建筑物的平面位置和高程，并作现场标定，作为后续施工的依据。

1.3.4 测量基本观测量

确定地面点位时，点与点之间的相对位置可以通过距离、角度、高差来确定，因此，这些量称为测量基本观测量。

距离分为水平距离（简称平距）和倾斜距离（简称斜距）。水平距离是指两点之间的连线投影到同一水平面上的长度；倾斜距离是指不在同一水平面上的两点之间连线的长度。

角度分为水平角和竖直角。水平角是指由一点发出的两条射线投影到水平面上之后的交角；竖直角是指在同一竖直面内水平线与倾斜线之间的交角。

高差为两点之间的高程之差，即两点之间沿铅垂线方向的距离。

1.4 测量的度量单位

测量上采用的长度、面积、体积、角度单位如下：

1. 长度单位

我国测量工作中法定的长度计量单位为米（meter）制单位：

1m （米） $=10\text{dm}$ （分米） $=100\text{cm}$ （厘米） $=1000\text{mm}$ （毫米）

1km （公里或千米） $=1000\text{m}$

2. 面积单位

我国测量工作中法定的面积计量单位为平方米（ m^2 ），大面积则用公顷（ hm^2 ）或平方公里（ km^2 ）。我国农业上常用亩（ mu ）为计量单位。

$$1\text{m}^2 = 100\text{dm}^2 = 10000\text{cm}^2 = 1000000\text{mm}^2$$

$$1\text{mu} = 666.6667\text{m}^2$$

$$1\text{hm}^2 = 10000\text{m}^2 = 15\text{mu}$$

$$1\text{km}^2 = 100\text{hm}^2 = 1500\text{mu}$$

3. 体积单位

我国测量工作中法定的体积计量单位为立方米 (m^3), 在工程上简称“立方”或“方”。

4. 角度单位

(1) 度分秒制

$$1\text{圆周} = 360^\circ (\text{度}), 1^\circ = 60' (\text{分}), 1' = 60'' (\text{秒})$$

此外, 还有 100 等分的新度:

$$1\text{圆周} = 400^g (\text{新度}), 1^g = 60^c (\text{新分}), 1^c = 60^\circ (\text{新秒})$$

两者的换算公式是: $1\text{圆周} = 360^\circ = 400^g$, 故

$$1^g = 0.9^\circ \quad 1^\circ = 1.111^g$$

$$1^c = 0.54' \quad 1' = 1.852^c$$

$$1^\circ = 0.324'' \quad 1'' = 3.086^\circ$$

(2) 弧度制

圆心角的弧度为该角所对弧长与半径之比。规定把等于半径的弧长所对的圆心角称为一个弧度, 以 ρ 表示。由于整个圆周长为 2π 弧度, 故

弧度与角度的关系为: $2\pi\rho = 360^\circ$, 因此:

$$\rho^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57.3^\circ$$

$$\rho' = \frac{180^\circ}{\pi} \times 60 \approx 3438'$$

$$\rho'' = \frac{180^\circ}{\pi} \times 3600 \approx 206265''$$

知道一个角度的度、分、秒值, 可以按照下式将其化为弧度值:

$$\hat{\beta} = \frac{\beta^\circ}{\rho^\circ} = \frac{\beta'}{\rho'} = \frac{\beta''}{\rho''}$$

复习思考题

1. 测量学的任务是什么?
2. 测量学的内容有哪些?
3. 什么是水准面? 什么是大地水准面? 它们有何作用?
4. 测量坐标系有哪些? 高斯投影有哪些特点? 高斯平面直角坐标系是如何建立的?
5. 某点位于东经 $118^\circ 30'$, 则在高斯投影带中, 该点位于哪个 6° 带上? 所在 6° 带的中央子午线是多少? 3° 带呢?
6. 测量工作的基本原则是什么?
7. 测量工作的组织程序是什么? 测量工作的基本观测有哪些?

第2章 水准测量

测量地面上各点高程的工作称为高程测量。高程测量根据所使用的仪器和施测方法的不同,可分为水准测量、三角高程测量、气压高程测量和液体静力水准测量等。水准测量是高程测量中应用最普遍也是精度较高的一种测量方法,在国家高程控制测量、工程勘测和施工测量中被广泛应用。本章将着重介绍水准测量的原理、水准测量的仪器和工具、水准测量的施测方法及成果检核和数据处理方法。三角高程测量将在后续章节中介绍。

2.1 水准测量的原理

水准测量的原理是利用水准仪提供的一条水平视线,借助于两端水准尺的读数,测定地面两点之间的高差,这样就可以由已知点的高程推算出未知点的高程。如图 2-1 所示,欲测定 A、B 两点之间的高差 h_{AB} ,可在 A、B 两点上分别竖立带有刻划的尺子——水准尺,并在 A、B 两点之间安置一台能够提供水平视线的仪器——水准仪。根据仪器的水平视线,在 A 点尺上读数,设为 a ,在 B 点水准尺上读数,设为 b ,则 A、B 两点之间的高差为:

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

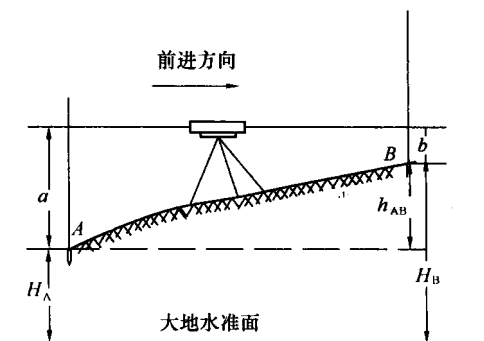


图 2-1 水准测量原理

如果水准测量的前进方向由 A 到 B,如图 2-1 中的箭头方向所示,假设 A 点的高程为已知,设为 H_A ,则在已知点上所立水准尺的读数 a 称为后视读数, B 为待求高程点,则在待求点上所立水准尺的读数 b 称为前视读数。高差等于后视读数减去前视读数。 $a > b$,高差为正;反之,高差为负。B 点的高程计算式为:

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

还可以通过计算仪器的视线高计算 B 点高程,即

$$\left. \begin{aligned} H_i &= H_A + a \\ H_B &= H_i - b \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式 (2-2) 称为高差法,式 (2-3) 称为视线高法。当安置一次仪器要求出若干个前视点的高程时,视线高法比高差法方便。

2.2 水准测量的仪器和工具

水准测量所使用的仪器称为水准仪,工具为水准尺和尺垫。