

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

主编 王 梅
徐洪峰



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书内容主要包括测量基础知识、标高测量、建筑物定位、竣工总平面图的测绘、建筑物变形观测、管道工程测量和道路工程测量。同时本书还介绍了各种测绘仪器的使用方法。本书重点突出、难度适中,力求反映测绘学科的新技术。

本书适合作为高等院校土木建筑工程专业的教材,也可作为建筑工程施工单位岗位培训教材或参考书,亦可作为其他有关专业从事工程测量的技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量 / 王梅, 徐洪峰主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-5640-7413-5

I. ①建… II. ①王… ②徐… III. ①建筑测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第026471号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1 / 16

印 张 / 10.5

字 数 / 219千字

版 次 / 2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

印 数 / 1~1500

定 价 / 35.00元

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前言

Preface

本书根据高等院校教育的特点，从培养应用型人才目标出发，突出了技能型紧缺人才培养的特点，体现了技能型紧缺人才培养的要求。本书在论述基本理论和方法的同时，重视基本技能培养和实践的教学环节，叙述简明、通俗易懂、注重实用、图文并茂，突出了课程的科学性、基础性、实用性、技能性。在保留必要的测绘基本知识和理论的前提下，本书摒弃陈旧的教学内容，介绍了先进的测量技术与方法。在编写过程中，编者收集了大量资料，并借鉴了同类教材的相关内容，在总结实践教学经验的基础上打破了学科理论体系，以工作过程为核心，注重各项技能的培养。

本书适合作为土木建筑专业教材，建议教学学时数为76学时，其中包含36学时操作训练。另外，不同专业在使用时，可根据自身专业的特点和需要加以取舍。

本书共分六个项目，具体编写分工如下：王梅编写绪论、任务1.1的部分内容、任务1.2、任务2.1的部分内容、项目3；徐洪峰编写任务2.3、项目4、项目5、项目6；郑学芬编写任务1.1、任务1.3的部分内容；孟黎编写任务2.1的部分内容；范丽编写任务2.1的部分内容；郭圆编写任务1.3；魏传志编写任务2.2。

本书在编写的过程中得到了北京理工大学出版社的大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者及同行批评指正。

编 者

目录

Contents

0

绪论 测量基础知识 / 1

0.1 测量学简介 / 1

0.2 工程测量的任务和作用 / 1

0.3 地面点位的确定 / 3

0.4 测量工作概述 / 11

1

项目1 标高测量 / 14

任务1.1 高程控制测量与计算 / 14

任务1.2 标高测量与计算 / 33

任务1.3 土石方量测量与计算 / 38

2

项目2 建筑物定位 / 45

任务2.1 平面控制测量 / 45

任务2.2 建筑物定位与放线 / 82

任务2.3 全站仪定位 / 105

3

项目3 竣工总平面图的测绘 / 120

任务3.1 竣工测量和竣工总平面图 / 120

任务3.2 竣工总平面图编绘 / 122

4

项目4 建筑物变形观测 / 124

任务4.1 沉降观测 / 124

任务4.2 倾斜观测和裂缝观测 / 129

5

▶ **项目5 管道工程测量 / 133**

任务5.1 管道中线测量 / 133

任务5.2 管道纵横断面图绘制 / 136

任务5.3 管道施工测量 / 141

6

▶ **项目6 道路工程测量 / 145**

任务6.1 道路中线测量 / 145

任务6.2 道路施工测量 / 156

▶ **参考文献 / 160**

绪论 测量基础知识

学习内容

本部分主要介绍测量学的基础知识，包括建筑工程测量的基本任务和作用、地面点的表示方法以及测量工作的基本原则和程序等内容。

学习目标

了解工程测量的任务和作用；掌握一些基本概念；熟悉测量坐标系与数学中的平面直角坐标系的区别；了解地面点位的确定方法和测量工作的原则和程序，为后续的学习打下良好的基础。

0.1 测量学简介

随着科学技术的日益发展，测绘科学在国民经济建设中的作用也日益增大。目前，工程建设项目越来越多，规模越来越大，内容越来越复杂，对测量工作的要求也越来越高。下面首先对测量学作一下简单介绍。

测量学是研究地球的形状与大小，确定地球表面各种物体的形状、大小和空间位置的科学。测量学把地球表面上的物体分为地物和地貌两大类。

地物是指地面上天然形成或人工修建的物体，包括江、河、湖、海、房屋、道路、桥梁等。地貌是指地面高低起伏的形态，它包括山地、丘陵和平原等。地物和地貌总称为地形。

测量学按研究内容和研究方法的不同可以分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、海洋测绘、工程测量学等，所以，工程测量学是测量学的一个分支学科。

0.2 工程测量的任务和作用

0.2.1 工程测量的任务

任何一项工程建设，一般都要经过规划设计、施工建设、管理运营等几个阶段。在整

个工程建设过程中，每个阶段都需要进行各种不同目的、不同要求的测量工作。工程测量学就是一门研究工程建设与自然资源开发中在规划、勘测、施工与管理各个阶段进行的测量理论与技术的学科。

工程测量的内容极为广泛，按照工程建设的对象可分为建筑工程测量、水利工程测量、铁路及公路工程测量、桥梁及隧道工程测量、矿山及地下工程测量、城市建设和国防工程测量等。虽然工程性质不同，各类工程对测量的要求不同，但其测量的基本原理与基本方法却有许多共同点。不论什么样的工程建设，在规划、建设及管理运营阶段，工程测量的主要任务可以概括为两个方面：测定和测设。

(1) 测定（又称测图）：使用测量仪器和工具，通过测量和计算，并按照一定的测量程序和方法将地面上局部区域的各种地物、地貌的位置，按一定的比例尺和特定的符号缩绘成地形图。

(2) 测设（又称放样）：使用测量仪器和工具，按照设计要求，通过测量的定位、放线、安装，将其平面位置和高程标定到施工作业面上，作为工程施工的依据。

具体来说，工程测量有以下几个方面的任务：

(1) 测绘大比例尺地形图。把将要进行工程建设地区的各种地物和地貌通过外业测量和内业数据计算整理，按照一定的比例尺绘制成各种地形图、断面图，或用数字表示出来，为工程建设的各个阶段提供必要的图纸和数据资料。

(2) 建筑物或构筑物的施工放样。将图纸上设计好的各种工程的建筑物或构筑物，按照设计与施工的具体要求在实地标定出来，作为施工的依据。另外，在建筑物施工和设备的安装过程中，也要进行各种测量工作，以配合指导施工，确保施工和安装的质量。

(3) 绘制竣工总平面图。为了检查工程施工、定位的质量等，在工程竣工后，必须对建筑物、各种生产生活管道等设施，特别是对隐蔽工程的平面位置和高程位置进行竣工测量，绘制竣工总平面图，为建（构）筑物交付使用前的验收以及以后的改建、扩建和检修提供必要资料。

(4) 观测建筑物的沉降、变形。在建筑物的施工和使用阶段，为了监测其基础和结构的安全稳定状况，了解设计施工是否合理，必须定期对其位移、沉降、倾斜以及变形进行观测，为工程质量的鉴定、工程结构和地基基础的研究以及建筑物的安全保护等提供资料。

0.2.2 工程测量的作用

从上述工程测量的任务不难看出，工程测量在工程建设的各个阶段都起着重要的作用。具体来说就是：在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺地形图和测绘资料；在工程设计阶段，应用地形图进行总体和详细规划设计；在工程施工阶段，要将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设到实地，以此作为施工的依据；在施工过程中的土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和

安装工作进行检验、检核，以保证工程符合设计要求；工程竣工后，还要进行竣工测量，测绘工程竣工平面图，供日后工程的扩建和维修之用；在工程管理运营阶段，要对建筑物和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。由此可见，工程测量服务于工程建设的每一个阶段，贯穿于工程建设的始终。测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度，因此工程技术人员必须掌握工程测量的基本理论、基本知识和基本技能，掌握常用的测量仪器的使用方法，初步掌握小地区大比例尺地形图的测绘方法，正确掌握地形图应用的方法，具备一定的施工测量的能力。

0.3 地面点位的确定

无论测定还是测设，都需要通过确定地面点的空间位置来实现。空间是三维的，因而表示地面点在某个空间坐标系中的位置需要三个参数，确定地面点的实质就是确定其在某个空间坐标系中的三维坐标。测量中将空间坐标系分为参心坐标系和地心坐标系。“参心”是指参考椭球的中心，“地心”是指地球的质心，由于参考椭球的中心一般不与地球的质心重合，所以它属于非地心坐标系。下面简单介绍一下参心坐标系。

地球自然表面的形状是极其复杂的，要将地面上的各种地物和地貌用特定的符号表示在图纸上，就需要在地物和地貌的轮廓线上选择一些能表示地物或地貌特征点（特征点），只要将这些点测绘到图纸上，就可以参照实地情况比较准确地将地物、地貌描绘出来，从而获得地形图。从图 0-1（a）中可以看出，房屋的平面位置是由 1、2、3 等点表示房屋轮廓的转折点，因此，只要将 1、2、3 等点的平面位置测绘在图纸上并连接这些点，就可以获得房屋在图上的平面位置。

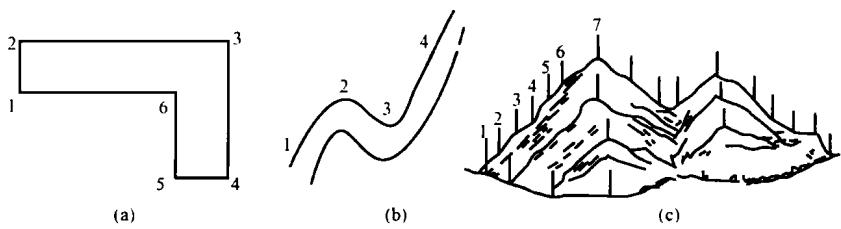


图 0-1 地物和地貌的特征点

如图 0-1（b）所示一条道路，它的边线是不规则的，但弯曲部分可以看成是由许多短直线组成的，若能确定 1、2、3 等路边转折点在图上的位置，再考虑到路宽和道路形状的变化，就可以在图上描绘出这条道路的平面位置。如图 0-1（c）所示，地面起伏形态可以用地形特征线上的坡度变化点所组成的线段来表示，也就是可以把各线段内的坡度看成是大体一致的，如图 0-1（c）所示的立尺点。首先把各个高低起伏的立尺点的位置测绘到平

面图上，再根据各点所测得的高程，用等高线的形式就可以把地貌描绘出来。

由此可见，测量工作的基本任务就是确定地面点的位置，无论是测绘地形图还是建筑物的施工放样，都可以归结为确定地面点的位置问题。下面讨论地面点的表示方法。

0.3.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，测量的成果又需要归算到一定的平面上，才能进行计算和绘图。所以，我们必须了解地球的形状和大小。我们都知道地球是一个南北极稍扁、赤道略鼓的椭球体，地球的自然表面上有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流、海洋等，呈现高低起伏的形态，其中海洋面积占 71%，陆地面积仅占 29%。我国的珠穆朗玛峰是世界的最高点，我国在 2005 年测得其高度为 8 844.43 m；而世界最低处为太平洋的马里亚纳海沟，其深度为 11 034 m。在地球表面上进行测量工作应掌握重力、铅垂线、水准面、大地水准面、参考椭球面和法线的概念及关系。

如图 0-2 (a) 所示，由于地球的自转，其表面的质点 P 除受万有引力的作用外，还受到离心力的影响。 P 点所受的万有引力与离心力的合力称为重力，重力的方向称为铅垂线方向，铅垂线是测量工作的基准线。

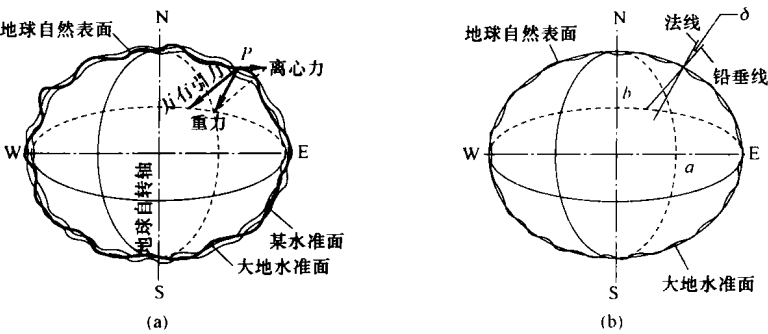


图 0-2 地球自然表面、水准面、大地水准面、参考椭球面、铅垂线、法线间的关系

假想静止不动的水面延伸穿过陆地，形成一个封闭的曲面，将整个地球包围起来，这个封闭的曲面被称为水准面。曲面上任意一点的铅垂线垂直于该点的曲面，也就是说水准面处处与铅垂线垂直。根据这一特点，水准面可以定义为：处处与铅垂线垂直的连续封闭曲面。由于水准面的高度可变，因此符合该定义的水准面有无数多个，其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面是唯一的，是测量工作的基准面。

大地水准面与地球表面相比，可以说是一个光滑的曲面，但由于地球内部物质的密度分布不均匀，地球各处万有引力的大小不同，致使重力方向发生不规则的变化，结果大地水准面就变成一个有微小起伏、不规则、很难用数学方程式表示的复杂曲面，如图 0-2 (a)。如果将地球表面上的物体投影到这个复杂的曲面上，计算起来非常困难。为了计算和绘图方便，通常选择一个与大地水准面非常接近、能用数学方程式表示的曲面来代

表地球的形状，这个曲面称为旋转椭球体或旋转椭球面。旋转椭球面的大小由长半轴 a 、短半轴 b 或由一个长半轴 a 和扁率 f 决定， f 由下式计算：

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (0-1)$$

式中， a 、 b 和 f 称为旋转椭球元素。旋转椭球又称参考椭球，其表面称为参考椭球面。

世界各国都采用适合本国的椭球元素，目前我国采用的椭球元素数值为：

$$a=6\,378\,140\text{ m} \quad b=6\,356\,755.3\text{ m} \quad f=1:298.257$$

由于地球椭球扁率较小，所以当测区范围不大时，可以将地球视为圆球体看待，其半径为 6 371 km，可以按下式计算：

$$R = \frac{a+a+b}{3} = 6\,371 \quad (0-2)$$

0.3.2 地面点位的表示方法

测量工作的基本任务是确定地面点的位置。确定地面点的空间位置需要平面坐标和高程。

1. 地面点平面位置的确定

(1) 地理坐标。在地球面上地面点的位置通常用该点的经纬度来表示。某点的经纬度称为该点的地理坐标。1884 年，在美国华盛顿召开的国际经度会议上，正式将经过格林尼治天文台的经线确定为 0° 经线，纬度以赤道为 0° ，分别向南北半球推算。

按坐标系所依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同，地理坐标又分为天文地理坐标和大地地理坐标两种。

1) 天文地理坐标。天文地理坐标又称天文坐标，表示地面点在大地水准面上的位置，其基准是铅垂线 and 大地水准面，它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示点在球面上的位置。

地面点的天文经度 λ 和天文纬度 φ 可以应用天文测量方法来测定。例如广州地区的概略天文地理坐标为东经 $113^\circ18'$ ，北纬 $23^\circ07'$ 。

2) 大地地理坐标。大地地理坐标又称大地坐标，是表示地面点在参考椭球面上的位置，其基准是法线和参考椭球面，它用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示地面点的位置。大地经、纬度是根据起始大地点（又称大地原点，该点的大地经纬度和天文经纬度一致）的大地坐标，按大地测量所得的数据推算所得。我国以陕西省泾阳县永乐镇石际寺村大地原点为起算点，由此建立的大地坐标系，称为“1980 年西安坐标系”，简称 80 西安系；通过与前苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测，经我国北京传算过来的坐标系称为“1954 年北京坐标系”，简称 54 北京系，其大地原点位于苏联的列宁格勒天文台。

经国务院批准，我国自 2008 年 7 月 1 日起启用“2000 国家大地坐标系”。

我国规定：2000 国家大地坐标系与 1980 年国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8~10 年。现有各类测绘成果，在过渡期内可沿用 1980 年国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新生产的各

类测绘成果应采用 2000 国家大地坐标系。现有地理信息系统，在过渡期内应逐步转换到 2000 国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新建设的地理信息系统应采用 2000 国家大地坐标系。

(2) 平面直角坐标系。地理坐标对局部测量工作来说是非常不方便的。测量计算最好在平面上进行，但地球是一个不可展开的曲面，应通过投影的方法将地球表面上的点位化算到平面上。下面介绍平面点位的表示方法。

1) 假定平面直角坐标系。在小范围内（如较小的建筑区域或厂矿区等）进行测量时，由于测量区域较小又相对独立，地球表面可以当作平面来看待，地面点在水平面内的投影位置，可以用该平面内假定坐标系中的 x 、 y 、 z 三个量来表示。《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011) 规定，面积小于 25 km² 的城镇，可不经投影采用假定的直角坐标系在平面上直接计算。坐标系的原点应选在测区西南角，以使测区内点的 x 、 y 坐标均为正值，以过测区中心的子午线为 x 轴方向，将测区内任一点 P 沿铅垂线投影到水平平面上得 P 点，通过测量，计算出的 P 点坐标 (x_p, y_p) ，就是 P 在假定平面直角坐标系中的坐标。

测量中所使用的平面直角坐标系和数学中的相似，只是坐标轴互换，而象限顺序相反(图 0-3)。测量工作中规定所有直线的方向都是从坐标轴北端顺时针度量的，这样既不改变数学计算公式，又便于测量中方向和坐标的计算。

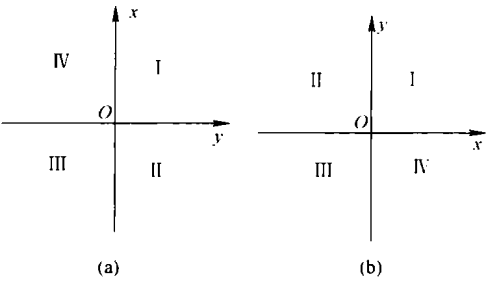


图 0-3 测量坐标系和数学坐标系
(a) 测量坐标系；(b) 数学坐标系

2) 高斯平面坐标系。在解决大范围的测量问题时，应将地面上的点投影到椭球体面上，再按一定的条件投影到平面上，形成统一的平面直角坐标系。地图投影有多种方法，我国采用的是高斯-克吕格正形投影，简称高斯投影。高斯投影的实质是椭球面上微小区域的图形投影到平面上后仍然与原图形相似，即不改变原图形的形状。例如，椭球面上一个三角形投影到平面上后，其三个内角保持不变。

如图 0-4 (a) 所示，高斯投影是一种横椭圆柱正形投影。设想用一个横椭圆柱套在参考椭球外面，并与某一子午线相切，称该子午线为中央子午线，横椭圆柱的中心轴 CC' 通过参考椭球中心 O 并与地轴 NS 垂直。将中央子午线东西各一定经差范围内的区域投影到横椭圆柱面上，再将该横椭圆柱面沿过南、北极点的母线切开展平，便构成了高斯平面坐标系，见图 0-4 (b)。

高斯投影是将地球按经线划分成若干带投影，带宽用投影带两边缘子午线的经度差表示，常用带宽为 6°、3°和 1.5°，分别简称为 6°、3°和 1.5°带投影。国际上对 6°、3°带投影的中央子午线经度有统一的规定，满足这一规定的投影称为统一 6°带投影和统一 3°带投影。

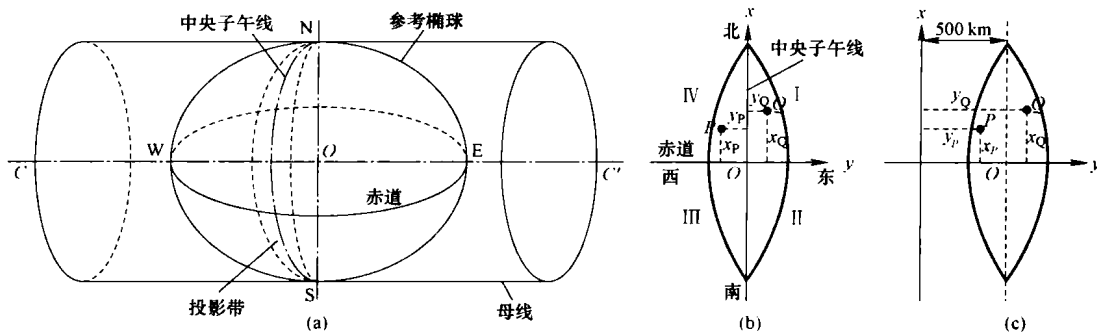


图 0-4 高斯平面坐标系投影图

①统一 6°带投影。从首子午线起，每隔 6°划分为一带，如图 0-5 所示，自西向东将整个地球划分为 60 个投影带，带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示。第一个 6°带的中央子午线的经度为 3°，任意带中央子午线的经度 L_0 与投影带号 N 的关系为：

$$L_0 = 6N - 3 \quad (0-3)$$

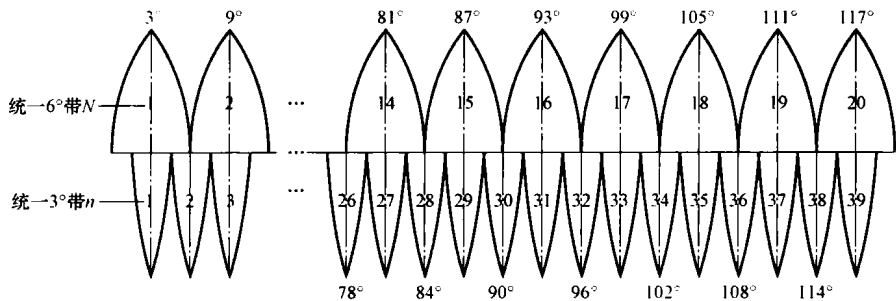


图 0-5 统一 6°带投影与统一 3°带投影高斯平面坐标系的关系

与数学上的坐标系比较，在高斯平面坐标系中，为了定向的方便，定义纵轴为 x 轴，横轴为 y 轴，象限则按顺时针方向编号，如图 0-3 所示，这样就可以将数学上定义的各类三角函数在高斯平面坐标系中直接应用，不需作任何变更。所以高斯平面直角坐标系的建立原则是： x 轴是中央子午线 NOS 的投影，北方为正方向；四个象限按顺时针顺序 I、II、III、IV 排列。

我国位于北半球， x 坐标值恒为正值， y 坐标值则有正有负，当测点位于中央子午线以东时为正，以西时为负。例如图 0-4 (b) 中的 P 点位于中央子午线以西，其 y 坐标值为负值，为了避免 y 坐标值出现负值，我国统一规定将每带的坐标原点西移 500 km，也即给每个点的 y 坐标值加上 500 km，使之恒为正值，见图 0-4 (c)。

高斯平面直角坐标表示地面点位置，如 $x=2\,433\,586.693\text{ m}$ ， $y=38\,514\,366.157\text{ m}$ 表示的意义：表示点在高斯平面上至赤道的距离为 $2\,433\,586.693\text{ m}$ ；包括有投影带的带号、附加值 500 km 和实际坐标 Y 三个参数，即：

$$y = \text{带号 } N \text{ (或 } n) + 500\text{ km} + Y = 38\,514\,366.157\text{ m} \quad (0-4)$$

②统一 3° 带投影。在高斯平面直角坐标系中，离中央子午线越近的区域，其长度变形越小，离中央子午线越远的区域，其长度变形越大。在工程测量中要求长度变形较小时，应采用高斯投影 3° 带坐标系。统一 3° 带投影从东经 $1^\circ30'$ 起，每隔 3° 的经差划分为一带，如图 0-5 所示，自西向东将整个地球划分为 120 个投影带， 3° 带中的单数带的中央子午线与 6° 带的中央子午线重合，而双数带的中央子午线则与 6° 带的边界子午线重合。带号从第一带开始，用阿拉伯数字表示。统一 3° 带投影的中央子午线的经度为 L'_0 ，与带号 n 的关系为：

$$L'_0 = 3n \quad (0-5)$$

统一 6° 带投影与统一 3° 带投影的关系见图 0-6。

我国领土所处的概略经度范围为东经 $73^\circ27'$ ～东经 $135^\circ09'$ ，根据式 (3) 和式 (5) 求得的统一 6° 带投影与统一 3° 带投影的带号范围分别为 $13\sim23$ 、 $24\sim45$ 。可见我国领土范围内，统一 6° 带投影与统一 3° 带投影的带号是不重叠的。

2. 地面点高程位置的确定

要表示地面点的空间位置，除了应确定它在投影面上的平面位置外，还应确定沿投影方向到基准面的距离在一般的测量工作中都以大地水准面为基准面。

地面点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，通常用 H 加点名下标表示。如图 0-6 中 A 、 B 两点的高程表示为 H_A 、 H_B 。

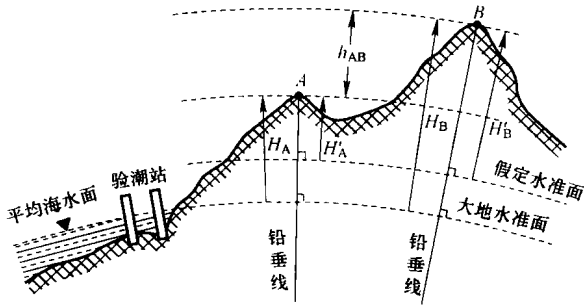


图 0-6 高程与高差的定义及其相互关系

确定地面点高程系的基准是大地水准面。由于海水面受潮汐、风浪等影响，它的高低时刻在变化。通常是在海边设立验潮站，进行长期观测，求得海水面的平均高度作为高程零点，以通过该点的大地水准面为高程基准，也即大地水准面上的高程恒为零。

我国境内所测定的高程点是以青岛大港一号码头验潮站历年观测的黄海平均海水面为

基准面，并于 1954 年在青岛市观象山建立水准原点，通过水准测量的方法将验潮站确定的高程零点引测到水准原点，求出水准原点的高程。

1956 年我国采用青岛大港一号码头验潮站 1950—1956 年验潮资料计算确定的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.289 m，以该大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”，简称“56 黄海系”。

20 世纪 80 年代中期，我国又采用青岛大港一号码头验潮站 1953—1979 年验潮资料计算确定的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.260 m，以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1985 年国家高程基准”，简称“85 高程基准”。

在局部地区，当无法知道绝对高程时，也可以假定一个水准面作为高程起算面，地面点到假定的水准面的铅垂距离称为该点的假定高程或相对高程，通常用 H' 加点名下标表示。如图 0-6 中 A、B 两点的相对高程表示为 H'_A 、 H'_B 。

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差，用 h 加两点点名下标表示。如 A、B 两点的高差为：

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \tag{0-6}$$

高差有正、负之分。

0.3.3 用水平面代替水准面的限度

在一定的测量精度要求或测区面积不大的情况下，实际测量工作往往以水平面直接代替大地水准面。那么在多大范围内才能允许用水平面代替大地水准面呢？下面就它对距离、角度和高程的影响来进行分析（为了方便，假设地球是一个圆球体）。

1. 水准面的曲率对水平距离的影响

如图 0-7 所示， DAB 为大地水准面， AB 为水准面上的一段弧，弧的长度为 S ，所对的圆心角为 θ ，地球半径为 R ，过水准面上的 A 点作切平面，即 A 点的水平面。如果用 A 点的水平面来代替水准面，那么 AC 直线（长度 l ）就代替了 AB 弧，则在距离上就会产生误差 ΔS ，由图 0-7 可知：

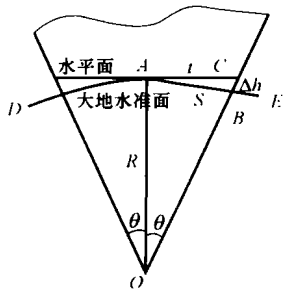


图 0-7 水准面的曲率对水平距离的影响

$$\Delta S = t - S$$

其中

$$t = R \cdot \tan \theta$$

$$S = R \cdot \theta$$

则:

$$\Delta S = t - S = R(\tan \theta - \theta) = R\left(\frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots\right)$$

因 θ 角一般较小, 所以略去五次方以上的各项, 并以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入, 可以得到:

$$\Delta S = \frac{1}{3} \frac{S^3}{R^2}$$

或者

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left(\frac{S}{R}\right)^2 \quad (0-7)$$

一般情况下, 最精密距离测量的容许误差为其长度的 1/1 000 000, 而根据上式计算当水平距离为 10 km 时 ($R = 6\,371\text{ km}$), 用水平面代替水准面所产生的距离相对误差是 1/1 217 700, 因此可以得出这样的结论: 在半径为 10 km 的圆的面积内进行距离测量工作时, 可以不必考虑地球曲率, 也就是说可以把水准面当作水平面来看待, 即实际沿圆弧丈量所得的距离作为水平距离, 其误差可以忽略不计。

2. 水准面的曲率对水平角度的影响

根据球面三角学可知, 同一个空间多边形在球面上投影所得到的多边形内角之和, 要大于它在平面上的投影所得到的多边形内角之和, 二者之差就是球面角超。由计算可知, 对于面积在 100 km² 以内的多边形, 地球曲率对水平角度的影响只有在最精密的测量中才需要考虑, 在一般的测量工作中是不必考虑的。

因此可以得出这样的结论: 在面积为 100 km² 范围内, 不论是进行水平距离测量还是水平角度测量, 都可以不考虑地球曲率的影响; 在精度要求较低的情况下, 这个范围还可以相应扩大。

3. 水准面的曲率对高程的影响

由图 0-7 可知:

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

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

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}$$

根据前面所述, 在一定范围内两点间在水平面上的投影长度可以代替在水准面上投影的弧长, 即可以用 t 来代替 S , 同时由于 Δh 与 2 倍的 R (地球半径) 相比可以忽略不计, 所以上式可以写成:

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (0-8)$$

由式 (0-8) 可知, 当 $S=10\text{ km}$ 时, $\Delta h=7.85\text{ m}$; 当 $S=5\text{ km}$ 时, $\Delta h=1.96\text{ m}$; 当 $S=100\text{ m}$ 时, $\Delta h=0.78\text{ mm}$ 。

从上面计算可以看出: 即使在较短的距离内, 用水平面代替水准面对高程的影响也是较大的, 它造成的高程影响在工程测量中是不允许的。因此, 在高程测量方面应考虑地球曲率对高程的影响。

0.4 测量工作概述

测量工作的实质是确定地面点的平面位置和高程, 以便根据这些数据绘制地形图。确定某点的空间位置就是确定该点的 x 、 y 坐标和高程 H , 但用普通的测量仪器不能直接测出其坐标和高程, 而是首先测出确定某点空间位置的几个基本要素, 然后根据所测的基本要素和已知数据计算出该点的平面坐标 x 、 y 和高程 H 。

0.4.1 确定地面点位基本要素

如图 0-8 所示, 欲确定地面点 P_1 和 P_2 的位置, 在实际测量工作中, 首先是通过观测得到水平角度 β_1 、 β_2 和水平距离 D_1 、 D_2 以及点与点之间的高差, 然后根据已知点 A 和 B 的坐标、方位和高程, 推算出 P_1 点和 P_2 点的坐标和高程。

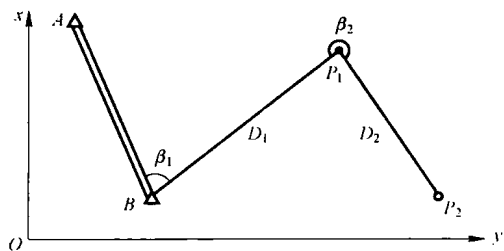


图 0-8 地面点平面位置的确定

由此可见, 地面点间的位置关系是以水平距离、水平角和高差来确定的。所以水平距离、水平角和高差是确定地面点位的三个基本要素, 而距离测量、角度测量和高差测量是测量工作的基本内容。

0.4.2 测量工作的基本原则和程序

测量工作从整体上分外业和内业两大部分。外业工作主要是指在室外进行的测量工作, 包括角度测量、距离测量、高差测量和测图, 以及一些简单的计算和绘图工作等。内业工作主要是指在室内进行的数据处理和绘图工作等, 包括整理并计算外业的测量数据, 以及

进行绘图工作等内容。

通常把需要测量的地区称为测区。现欲将如图 0-9 所示地区的地物、地貌测绘到如图 0-10 所示的图纸上。在测量工作中，误差会不可避免地产生。

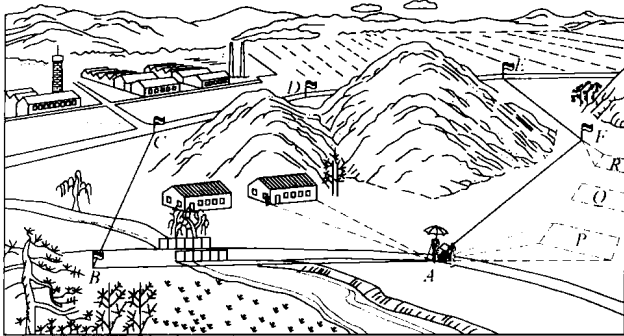


图 0-9 地物、地貌

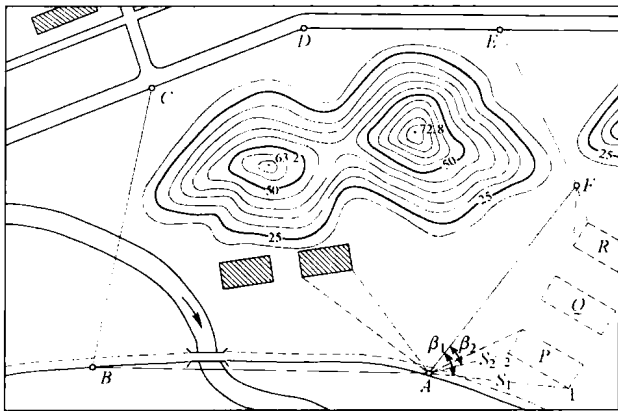


图 0-10 图纸

在测量地物或地貌时，假如从一点开始，再根据这一点测量下一点，逐点进行测量，这样前一点的测量误差就会传递到下一点，误差就会越积越大，最后虽然可以测得欲测各点的位置，但其位置误差可能已经达到不可容许的程度。因此测量工作必须采取正确的测量程序和方法，以防误差的积累。

正确的测量方法和程序是按照“由高级到低级、从整体到局部、先控制后碎部”的原则进行的。如图 0-9 所示，先在测区内选择若干个有控制意义的点（如 A，B，…，F 等，测量中把这些点称为控制点），并用比较精密的仪器和方法把它们的位置测定出来，然后再根据这些控制点测定附近区域地物和地貌的特征点（也称碎部点，如房屋、道路的转折点等），从而绘制成地形图。其中测定控制点位置的过程称为控制测量，测定地物和地貌的特征点（碎部点）的过程称为碎部测量。

如上所述，测量时应先测定控制点，然后测定碎部点，也就是应遵循“先控制后碎部”