

全国高等教育土木工程类精品教材


# 土木工程测量

(含实验与实习指导)

TUMUGONGCHENG CELIANG

孔 达 主 编  
杜继亮 杨国范 主 审



 黄河水利出版社

全国高等教育土木工程类精品教材

# 土木工程测量

主 编 孔 达

副主编 吕忠刚 窦世卿 伊晓东 周启朋

主 审 杜继亮 杨国范

黄河水利出版社

· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书是全国高等教育土木工程类精品教材。全书共分 14 章, 主要内容包括绪论、水准仪及水准测量、经纬仪及角度测量、距离测量、测量误差的基本知识、小地区控制测量、大比例尺地形图测绘、地形图的应用、工程测设的基本方法、线路工程测量、桥梁与隧道工程测量、建筑工程施工测量、水利工程施工测量、建筑物变形观测等。

本书主要供土木工程、建筑学、城市规划、建筑环境与设备工程、给水排水工程、道路桥梁与渡河工程、水利水电工程、环境工程、交通工程、工程管理等专业本科生教学使用, 也可供从事土建工程的技术人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量/孔达主编. —郑州: 黄河水利出版社,  
2008. 8

全国高等教育土木工程类精品教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 480 - 3

I. 土… II. 孔… III. 土木工程 - 工程测量 - 高等  
学校 - 教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123837 号

策划组稿: 马广州 电话: 13849108008 E-mail: magz@yahoo. cn

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126. com

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 27. 00

字数: 624 千字

版次: 2008 年 8 月第 1 版

印数: 1—4 100

印次: 2008 年 8 月第 1 次印刷

定价: 48. 00 元

# 前 言

本书是全国高等教育土木工程类精品教材,依据土木工程类各专业“土木工程测量”教学大纲编写而成。本书的编写注重于基本知识、基本理论和基本技能的掌握,有重点地吸纳了具有实际应用价值的现代测量技术和方法,力争突出“立足实用、打好基础、强化能力”的教学原则,体现科学性、趣味性和前瞻性。本书共分两部分,第一部分为测量技术与方法,为各专业方向通用;第二部分为工程应用测量,可结合各自的专业方向选用。

本书第一、五、九章及第四章中的第五节、第七章中的第三节由孔达编写;第六章中的第一、三、四、五、六、七节及第十、十一、十四章由吕忠刚编写;第二章、第四章中的第一、二、三、四节及第六章中的第二节由窦世卿编写;第七章中的第一、二、四、五、六节及第八章由伊晓东编写;第三章由周启朋编写;第十二章由郑丽娜编写;第十三章由王笑峰编写;此外,龚文峰、马学武、左淑红也参加了本书的编写工作。本书由孔达任主编,吕忠刚、窦世卿、伊晓东、周启朋任副主编,杜继亮、杨国范教授任主审。

本书配有《土木工程测量实验与实习指导》(另册)。由于编者水平有限,书中难免存在错误和疏漏,热忱希望广大读者批评指正。

编 者

2008年5月

# 目 录

## 前 言

## 第一篇 测量技术与方法

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 测量学与土木工程测量 .....	(1)
第二节 地面点位的确定 .....	(2)
第三节 用水平面代替水准面的限度 .....	(8)
第四节 测量工作概述 .....	(9)
第五节 现代测绘科学技术发展简介 .....	(12)
思考题与习题 .....	(12)
<b>第二章 水准仪及水准测量</b> .....	(14)
第一节 水准测量原理 .....	(14)
第二节 水准测量的仪器及工具 .....	(15)
第三节 普通水准测量 .....	(22)
第四节 水准测量成果计算 .....	(26)
第五节 微倾式水准仪的检验与校正 .....	(29)
第六节 水准测量的误差分析与注意事项 .....	(32)
第七节 自动安平水准仪 .....	(35)
第八节 精密水准仪与精密水准尺 .....	(37)
第九节 数字水准仪和条码水准尺 .....	(38)
思考题与习题 .....	(41)
<b>第三章 经纬仪及角度测量</b> .....	(43)
第一节 角度测量原理 .....	(43)
第二节 光学经纬仪及使用 .....	(44)
第三节 水平角观测 .....	(49)
第四节 竖直角观测 .....	(52)
第五节 经纬仪的检验与校正 .....	(55)
第六节 角度测量中的误差分析与注意事项 .....	(60)
第七节 电子经纬仪 .....	(63)
思考题与习题 .....	(66)
<b>第四章 距离测量</b> .....	(68)
第一节 钢尺量距 .....	(68)
第二节 视距测量 .....	(74)

第三节	电磁波测距 .....	(77)
第四节	全站仪及其使用 .....	(83)
第五节	GPS 定位原理 .....	(96)
	思考题与习题 .....	(105)
<b>第五章</b>	<b>测量误差的基本知识 .....</b>	<b>(106)</b>
第一节	测量误差及其分类 .....	(106)
第二节	衡量观测值精度的标准 .....	(109)
第三节	误差传播定律 .....	(111)
第四节	等精度直接观测平差 .....	(114)
第五节	不等精度直接观测平差 .....	(118)
	思考题与习题 .....	(122)
<b>第六章</b>	<b>小地区控制测量 .....</b>	<b>(123)</b>
第一节	概 述 .....	(123)
第二节	直线定向与坐标正反算 .....	(126)
第三节	导线测量 .....	(132)
第四节	交会定点 .....	(139)
第五节	三、四等水准测量 .....	(144)
第六节	三角高程测量 .....	(147)
第七节	GPS 小地区控制测量 .....	(148)
	思考题与习题 .....	(151)
<b>第七章</b>	<b>大比例尺地形图测绘 .....</b>	<b>(155)</b>
第一节	地形图的基本知识 .....	(155)
第二节	地形图的传统测绘方法 .....	(165)
第三节	数字测图 .....	(172)
第四节	水下地形测量 .....	(187)
第五节	地籍图、房产图及其测量 .....	(190)
第六节	摄影测量与航片成图 .....	(194)
	思考题与习题 .....	(200)
<b>第八章</b>	<b>地形图的应用 .....</b>	<b>(201)</b>
第一节	地形图的识读 .....	(201)
第二节	地形图的基本用法 .....	(203)
第三节	面积量算与电子求积仪 .....	(206)
第四节	场地平整时的土方量计算 .....	(209)
第五节	规划设计时的用地分析 .....	(213)
第六节	数字地形图与地理信息系统(GIS) .....	(215)
	思考题与习题 .....	(220)

## 第二篇 工程应用测量

<b>第九章 工程测设的基本方法</b> .....	(221)
第一节 概 述 .....	(221)
第二节 水平距离和水平角的测设 .....	(222)
第三节 点的平面位置测设 .....	(224)
第四节 点的高程及已知坡度线的测设 .....	(226)
第五节 全站仪测设方法简介 .....	(228)
第六节 GPS-RTK 测设方法简介 .....	(235)
思考题与习题 .....	(237)
<b>第十章 线路工程测量</b> .....	(239)
第一节 概 述 .....	(239)
第二节 线路测量 .....	(240)
第三节 曲线测设 .....	(246)
第四节 全站仪在道路测设中的应用 .....	(260)
第五节 线路纵横断面测量 .....	(261)
第六节 公路施工测量 .....	(269)
第七节 管道施工测量 .....	(271)
思考题与习题 .....	(274)
<b>第十一章 桥梁与隧道工程测量</b> .....	(277)
第一节 概 述 .....	(277)
第二节 施工控制测量 .....	(280)
第三节 桥梁施工测量 .....	(288)
第四节 隧道施工测量 .....	(294)
思考题与习题 .....	(300)
<b>第十二章 建筑工程施工测量</b> .....	(302)
第一节 概 述 .....	(302)
第二节 民用建筑施工测量 .....	(305)
第三节 高层建筑施工测量 .....	(312)
第四节 工业厂房施工测量 .....	(314)
第五节 安装测量 .....	(317)
第六节 竣工总平面图的编绘 .....	(320)
思考题与习题 .....	(322)
<b>第十三章 水利工程施工测量</b> .....	(323)
第一节 概 述 .....	(323)
第二节 土坝的施工测量 .....	(325)
第三节 混凝土坝的施工测量 .....	(330)
第四节 水闸的施工测量 .....	(333)



思考题与习题 .....	(335)
<b>第十四章 建筑物变形测量 .....</b>	<b>(336)</b>
(14.1) 第一节 概 述 .....	(336)
(14.2) 第二节 建筑物变形观测的精度和频率 .....	(337)
(14.3) 第三节 沉降观测 .....	(340)
(14.4) 第四节 水平位移观测 .....	(343)
(14.5) 第五节 变形观测资料的整理与汇编 .....	(345)
(14.6) 思考题与习题 .....	(348)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(349)</b>



# 第一篇 测量技术与方法

## 第一章 绪 论

### 第一节 测量学与土木工程测量

#### 一、测量学的概念

测量学研究的对象是地球整体及其表面和外层空间中的各种自然物体和人造物体的有关信息。它研究的内容是对这些与地理空间有关的信息进行采集、处理、存储、管理、更新与利用。其中包括测定地面点的空间位置、地球形状、地球重力场及各种动力现象,以及各种工程建设中的测量工作的理论、技术与方法。

测量学是测绘学科的重要组成部分,随着科学技术的发展,各方面对测绘学的要求不断变化和提高,测绘学的分科也越来越细,诸如以下学科:

(1)大地测量学。大地测量学主要研究地球表面及其外层空间点位的精密测定、地球的形状和大小、地球的重力场及其随时间变化的理论和方法。现代大地测量学与地球科学和空间科学的多学科交叉,已成为推动地球科学、空间科学和军事科学发展的前沿学科之一,其研究范围已从测量地球扩展到测量整个地球外空间。

(2)摄影测量与遥感学。作为一种图像信息学科,它由摄影测量、遥感和空间信息系统以及计算机视觉等交叉组成。主要研究利用各种不同类型的非接触传感器,获取模拟的或数字的影像,然后通过解析和数字化方式提取所需的信息,在空间信息系统中以数字形式加以存储、管理、分析和表达,以确定物体的形状、大小和空间位置等信息的理论和方法。摄影测量与遥感学分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

(3)工程测量学。研究各种工程建设在规划、设计、施工和运营管理等阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。传统的工程测量包括控制测量、地形测量、施工测量、竣工测量和变形监测五大部分。随着测绘技术的飞速发展,工程测量技术形成了两个发展趋势:一是在上述五部分不断出现新仪器、新方法和新手段;二是工程测量的应用领域不断扩展,出现了工业测量和地下管线探测等新的领域,并将测量新技术应用到了建筑测绘中。

(4)地图制图与地理信息工程学。地图制图与地理信息工程学主要研究以图形和数

字形式传输空间地理环境信息的学科。目前,以地理空间信息数据库、计算机地图制图、地理信息系统和计算机网络技术为主体的数字化地图制图,已经取代了传统手工地图制图,并正向以地理空间信息综合服务为核心的信息化地图制图与地理信息工程转变,地理空间信息获取的天、空、地一体化,信息处理智能化,信息服务网络化,正在成为信息时代地图制图与地理信息工程学科的新特征。

(5)海洋测绘学。海洋测绘是对整个海洋空间,包括海洋水体和海底进行全方位、多要素的综合测量以获取包括大气和水文以及海底地形、地貌、地质、重力、磁力、海底扩张等各种信息和数据并绘制各种用途的专题图片,为经济发展、国防建设和科学研究服务的综合性学科。

(6)普通测量学。普通测量学是研究地球局部区域,不考虑地球曲率的影响,使用常规测量仪器设备,进行测定和测设点位所涉及的测量理论、技术和方法的学科。

## 二、土木工程测量的任务

土木工程测量是研究土木工程建设的规划、设计、施工和运营管理等阶段各项测量工作的理论、技术和方法。其任务主要包括测定、测设和变形观测三部分。测定是指运用各种测量仪器和工具,通过测量和计算,获得地面点的测量数据,或者把地球表面的地形按一定比例尺缩绘成地形图,供工程建设使用。测设也称施工放样,是将图纸上设计好的建筑物、构造物的平面位置和高程用测量仪器按一定的测量方法在地面上标定出来,作为施工的依据。变形观测是指建筑物在施工过程中及工程建成后的运行管理阶段,需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测,以确保工程安全。

土木工程测量在各种工程建设中起着十分重要的作用。例如,在建筑工程、城市规划、道路与桥梁工程、水利工程、管道工程与地下建筑等的勘测设计阶段需要测绘各种比例尺地形图,供规划设计使用;在施工阶段需要将图纸上设计好的建筑物、构造物、道路、桥梁及管线的平面位置和高程,运用测量仪器和测量方法在地面上标定出来,以便进行施工;在工程结束后,还要进行竣工测量,供日后维修和扩建用,对于大型或重要建筑物、构造物还需要定期进行变形观测,确保其安全。

对于土木工程类各专业的学生,通过学习本课程,要求掌握普通测量学的基本知识和基础理论,以及工程测量学中的相关理论和方法;学会常用测量仪器的使用方法;掌握大比例尺地形图测绘的原理和方法;具有应用地形图的能力;掌握工程测量中各种测设数据的计算和测设方法。

## 第二节 地面点位的确定

### 一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面是极不规则的,在地球表面上分布着高山、丘陵、平原和海洋,有高于海平面 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰,有低于海平面 11 022 m 的马里亚纳海沟,地形起伏很大。但是,由于地球半径很大(约 6 371 km),地面

高低变化的幅度相对于地球半径只有 1/300,从宏观上看,仍然可以将地球看做圆滑球体。地球表面大部分是海洋,占地球面积 71%,陆地仅占 29%,所以人们设想由静止的海水面向大陆延伸形成的闭合曲面来代替地球表面。

地球上的每个质点都受两个力的作用,其一是地球引力,其二是地球自转产生的离心力,这两个力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

假想自由静止的海水面向陆地和岛屿延伸形成一个闭合曲面,这个闭合曲面称为水准面,水准面处处与铅垂线垂直。由于潮汐的影响,海水面有涨有落,水准面就有无数个,并且互不相交。在测量工作中,把通过平均海水面向陆地延伸而形成的闭合曲面称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。

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,因而大地水准面实际上是一个表面有微小起伏的不规则曲面(见图 1-1(a)),无法用数学公式表示,在这个曲面上无法进行测量数据的处理,为此必须选择一个与大地体非常接近的数学球体代替大地体。

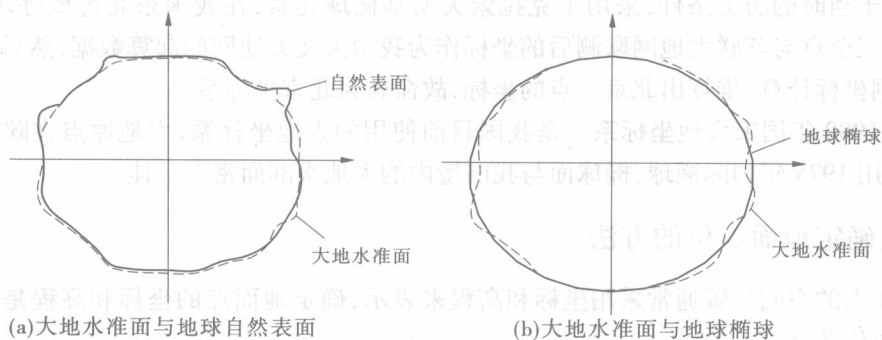


图 1-1 地球形状示意图

长期的测量实践表明,地球的形状近似于一个两极稍扁的椭球体,如图 1-1(b)所示,这个椭球体是一个旋转轴与地球自转轴重合的椭圆绕其短轴旋转而成的几何形体,因此又称为旋转椭球体。如图 1-2 所示,地球椭球的大小由其长半轴  $a$ (短半轴  $b$ )和扁率  $\alpha$  确定。它们之间的关系为

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

1979 年国际大地测量与地球物理联合会推荐的地球椭球参数  $a = 6\,378\,140\text{ m}$ ,  $\alpha = 1/298.257$ 。由于椭球的扁率很小,在小区域测量时,可以近似地将地球视做圆球体,其半径为  $6\,371\text{ km}$ 。

测量上把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球,把与某个地区大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。根据一定的条件,确定参考椭球面与大地水准面的相对位置所进行的测量工作,称为参考椭球体定位。在地面上选  $P$  点,将  $P$  点沿铅垂线投影到大地水准面  $P'$  点,使参考椭球在  $P'$  点与大地体相切,如图 1-3 所示,这样过  $P'$  点的法线与铅垂线重合,并使椭球的短轴与地球的自转轴平行,且椭球面与大地水准面差距尽量小,从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系。这里,

P 点称为大地原点。

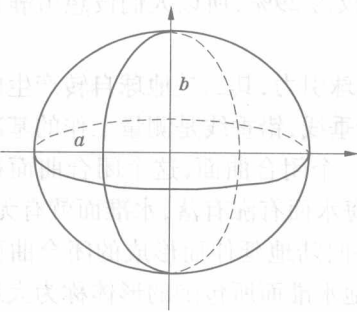


图 1-2 参考椭球

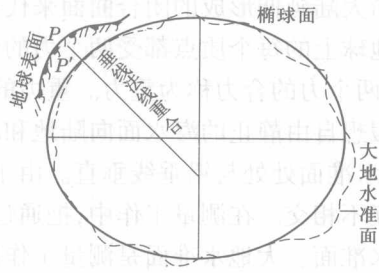


图 1-3 参考椭球体的定位

目前,我国常用的大地坐标系有:

(1) 1954 年北京坐标系。大地原点在苏联,20 世纪 50 年代,在我国天文大地网建立初期,鉴于当时的历史条件,采用了克拉索夫斯基椭球元素,在我国东北边境呼玛、吉林林、东宁三个点与苏联大地网联测后的坐标作为我国天文大地网的起算数据,然后通过天文大地网坐标计算,推算出北京一点的坐标,故命名为北京坐标系。

(2) 1980 年国家大地坐标系。是我国目前使用的大地坐标系,大地原点在陕西省永乐镇,采用 1975 年国际椭球,椭球面与我国境内的大地水准面密合最佳。

## 二、确定地面点位的方法

地面点的空间位置通常采用坐标和高程来表示,确定地面点的坐标和高程是测量工作的主要任务之一。

### (一) 地面点的坐标

(1) 地理坐标。用经度和纬度表示地面点的位置,可分为天文坐标与大地坐标。天文坐标是以铅垂线为基准线,以大地水准面为基准面,用天文经、纬度( $\lambda, \varphi$ )表示(见图 1-4)。大地坐标是以法线为基准线,以椭球体面为基准面,用大地经、纬度( $L, B$ )表示(见图 1-5)。

过地面上一点与地球南北极的平面称为子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线。过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面。首子午面与地球表面的交线称为首子午线。过地球表面上一点的子午面与首子午面之间的夹角称为经度。自首子午面起向东  $0^\circ \sim 180^\circ$  为东经,向西  $0^\circ \sim 180^\circ$  为西经。通过地球球心且与地球旋转轴垂直的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线为赤道。过地球表面上一点的铅垂线或法线与赤道面的夹角称为纬度。自赤道面起,向北  $0^\circ \sim 90^\circ$  为北纬,向南  $0^\circ \sim 90^\circ$  为南纬。

地面上任意一点的天文坐标可以通过天文测量方法直接测定,由于天文测量受环境条件限制,定位精度不高,天文坐标之间推算困难,所以工程测量中使用很少。大地坐标是根据大地原点坐标,按大地测量所得数据推算得到。

(2) 高斯平面直角坐标。地理坐标只能确定地面点位在球面上的位置,不能直接用于测绘地形图,因此应将点的地理坐标转换成平面直角坐标。在我国采用高斯投影的方

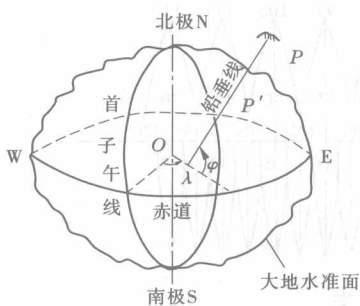


图 1-4 天文坐标系

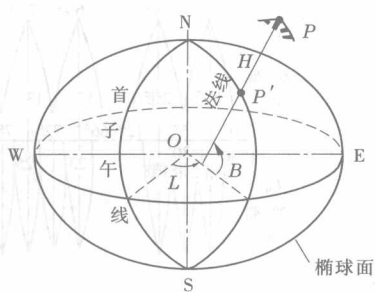


图 1-5 大地坐标系

法,将球面上的点位投影到高斯投影面上,从而转换成平面直角坐标。

高斯投影是设想一个圆柱面横套在地球椭球面外面,并与地球椭球面上某一子午线(该子午线称为中央子午线)相切,圆柱的中心轴通过地球椭球球心,然后按等角投影方法,将中央子午线两侧一定经差范围内的点、线投影到圆柱面上,再沿着过极点的母线展开即成为高斯投影面,如图 1-6 所示。

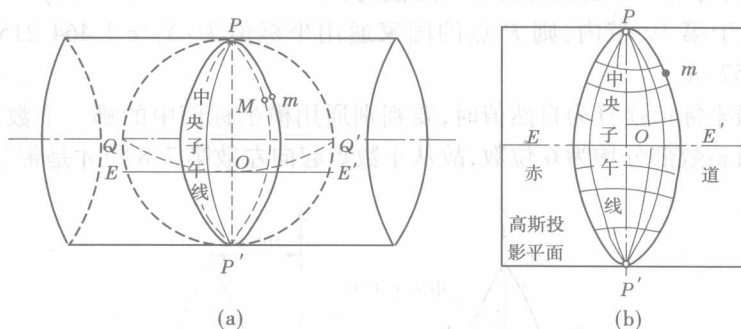


图 1-6 高斯投影

高斯投影面上的中央子午线和赤道的投影都是直线,且正交,其他子午线和纬线都是曲线。在高斯投影中,中央子午线的长度不变,其余子午线均凹向中央子午线,且距中央子午线越远,长度变形越大。为了把长度变形控制在测量精度允许的范围内,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。带宽一般分为经差  $6^\circ$  和  $3^\circ$ ,如图 1-7 所示。

$6^\circ$ 带是从格林尼治子午线起,自西向东每隔经差  $6^\circ$  为一带,共分成 60 带,编号为 1 ~ 60。带号  $N$  与相应的中央子午线经度  $L_0$  的关系可用下式计算:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

$6^\circ$ 带可以满足 1:25 000 以上中、小比例尺测图精度的要求。

$3^\circ$ 带从东经  $1^\circ 30'$ 子午线起,自西向东每隔经差  $3^\circ$  为一带,编号为 1 ~ 120。带号  $n$  与相应的中央子午线经度  $l_0$  的关系可用下式计算:

$$l_0 = 3n \quad (1-3)$$

我国地处东半球赤道以北,经度  $72^\circ \sim 138^\circ$ 、纬度  $0^\circ \sim 56^\circ$ 。中央子午线从  $75^\circ$ 起共计

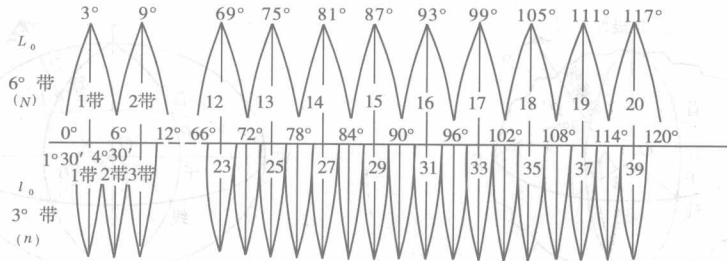


图 1-7 6°带与 3°带

11 个 6°带,带号在 13~23 之间;21 个 3°带,带号在 24~45 之间。

以中央子午线和赤道投影后的交点  $O$  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,从而构成高斯平面直角坐标系。我国位于北半球,在高斯平面直角坐标系中, $x$  坐标均为正值,而  $y$  坐标有正有负。为避免  $y$  坐标出现负值,将坐标纵轴向西平移 500 km,并在横坐标值前冠以带号。这种坐标称为国家通用坐标,如图 1-8 所示。

例如, $P$  点的高斯平面直角坐标自然值为: $x_p = 3\ 464\ 215.106\ \text{m}$ , $y_p = -432\ 861.343\ \text{m}$ 。若该点位于第 19 带内,则  $P$  点的国家通用坐标值为: $X_p = 3\ 464\ 215.106\ \text{m}$ , $Y_p = 19\ 067\ 138.657\ \text{m}$ 。

当通用横坐标值换算为自然值时,要判别通用横坐标值中的哪一个数是带号。由于通用横坐标值整数部分均为 6 位数,故从小数点起向左数第 7、8 位才是带号。

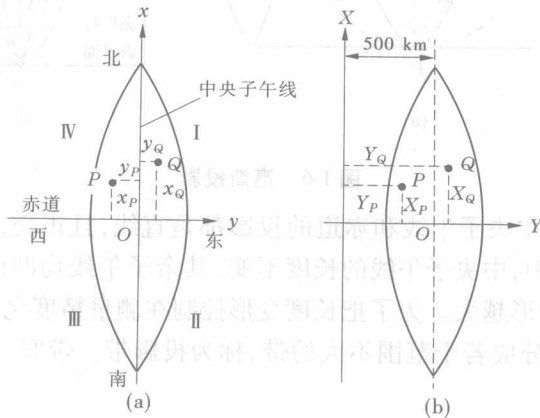


图 1-8 高斯平面直角坐标系

(3) 独立平面直角坐标。当测区的范围较小(半径小于 10 km)时,可以把测区的球面当做水平面,直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上,用平面直角坐标表示地面点的位置。为了避免坐标出现负值,一般将坐标原点选在测区西南角,使测区全部落在第一象限内。这种方法适用于测区没有国家控制点的地区, $x$  轴方向一般为该地区真子午线或磁子午线方向。

测量中使用的平面直角坐标系纵坐标轴为  $x$ ,向北为正,横坐标轴为  $y$ ,向东为正。象

限按顺时针方向编号,这些与数学上的规定是不同的,但数学上的三角和解析几何公式可以直接应用到测量中。如图 1-9 所示。

(4)空间直角坐标。以地球椭球体中心  $O$  作为坐标原点,起始子午面与赤道面的交线为  $X$  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,指向符合右手规则。在该坐标系中, $P$  点的点位用  $OP$  在这三个坐标轴的投影  $x, y, z$  表示。如图 1-10 所示。

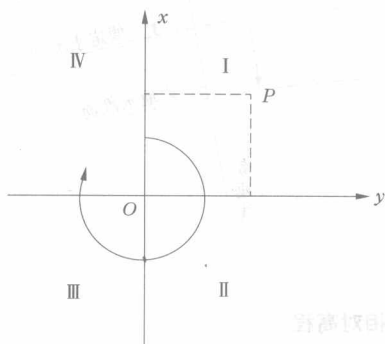


图 1-9 平面直角坐标系

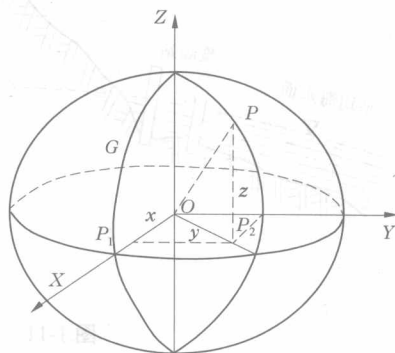


图 1-10 空间直角坐标系

利用 GPS 卫星定位系统得到的地面点位置,是 WGS-84 坐标,WGS(World Geodetic System)世界大地坐标系,该坐标系即为空间直角坐标系。空间直角坐标系可以统一各国的大地控制网,使各国的地理信息“无缝”衔接。空间直角坐标已在军事、导航及国民经济各部门得到广泛应用。

## (二)地面点的高程

某地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离称为绝对高程或海拔,简称高程,一般用  $H$  表示。某地面点沿铅垂线方向到任意水准面的距离,称为该点的相对高程或假定高程,用  $H'$  表示。地面上两点间高程之差称为高差,用  $h$  表示,见图 1-11。

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.4)$$

由于受潮汐、风浪等影响,海水面是一个动态的曲面。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,取海水面的平均高度作为高程零点。通过该点的大地水准面称为高程基准面。我国设在山东省青岛市的国家验潮站收集的 1950~1956 年的验潮资料,推算的黄海平均海面作为我国高程起算面,并在青岛市观象山建立了水准原点。水准原点到验潮站平均海面高程为 72.289 m。这个高程系统称为“1956 年黄海高程系”。

由于海洋潮汐长期变化周期为 18.6 年,20 世纪 80 年代初,国家又根据 1952~1979 年青岛验潮站的观测资料,推算出新的黄海平均海面作为高程零点。由此测得青岛水准原点高程为 72.260 4 m,称为“1985 年国家高程基准”,并从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

在测量工作中,一般应采用绝对高程,若在偏僻地区,附近没有已知的绝对高程点可以引测时,也可采用相对高程。



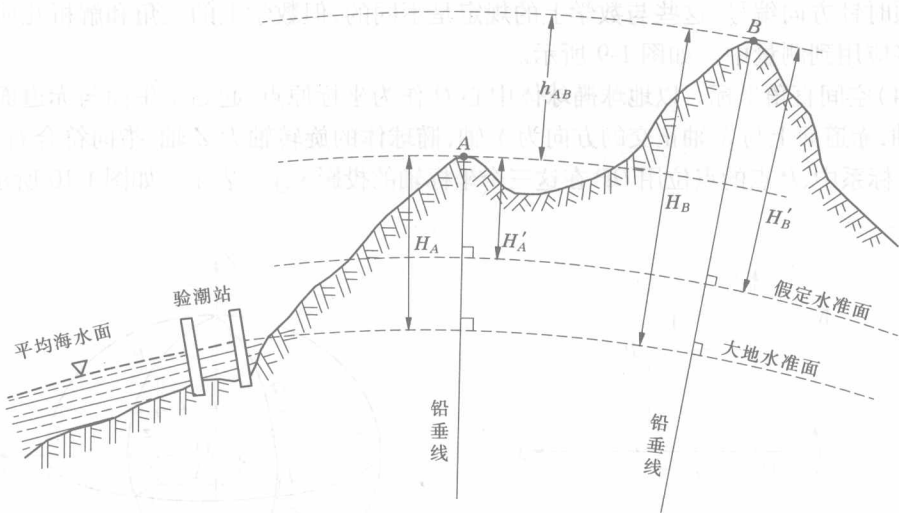


图 1-11 绝对高程与相对高程

### 第三节 用水平面代替水准面的限度

在测区范围不大的情况下,为简化一些复杂的投影计算,可将椭球面看做球面,甚至可视为水平面,即用水平面代替大地水准面。直接把地面点沿铅垂线投影到平面上,以确定其位置。不过以水平面代替水准面有一定限度,只有投影后产生的误差不超过测量和制图要求的限差才可采用。下面讨论用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响。

#### 一、地球曲率对水平距离的影响

如图 1-12 所示,在测区中部选一点 A,沿铅垂线投影到水准面 P 上为 a,过 a 点作切平面 P'。地面上 A、B 两点投影到水准面上的弧长为 D,在水平面上的距离为 D',则

$$\left. \begin{aligned} D &= R \cdot \theta \\ D' &= R \cdot \tan\theta \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

以水平面上长度 D' 代替水准面上弧长 D 产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (b)$$

将  $\tan\theta$  按级数展开得

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \quad (c)$$

将式(c)略去高次项代入式(b)并考虑  $\theta = \frac{D}{R}$ ,得

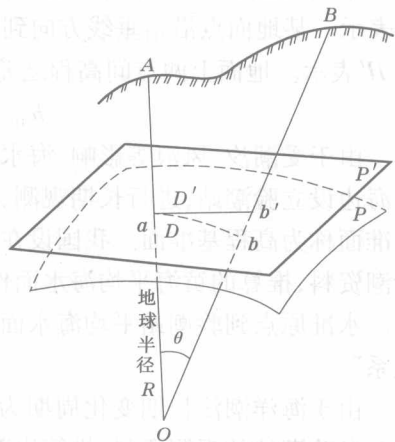


图 1-12 用水平面代替水准面

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{\theta^3}{3} + \dots - \theta\right) = R\frac{\theta^3}{3} = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-5)$$

上式两端同除以  $D$ , 得相对误差

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

地球半径  $R = 6\,371\text{ km}$ , 将  $D$  取不同值代入式(1-5)、式(1-6), 可计算出相应的  $\Delta D$  与  $\Delta D/D$ , 见表 1-1。

表 1-1 水平面代替水准面对距离的影响

距离 $D$ (km)	距离误差 $\Delta D$ (cm)	相对误差
1	0.00	—
5	0.10	1:5 000 000
10	0.82	1:1 220 000
15	2.77	1:540 000

从表 1-1 可见, 当  $D = 10\text{ km}$  时, 以水平面代替水准面所产生的距离误差为  $0.82\text{ cm}$ , 相对误差为  $1/1\,220\,000$ , 小于目前精密距离测量的容许误差。所以在半径为  $10\text{ km}$  的范围内进行距离测量时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差可忽略不计。

## 二、地球曲率对高程的影响

由图 1-12 可见,  $b'b$  为水平面代替水准面对高程产生的误差, 令其为  $\Delta h$ , 也称为地球曲率对高程的影响。

$$\begin{aligned} (R + \Delta h)^2 &= R^2 + D'^2 \\ \Rightarrow \Delta h &= \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \end{aligned}$$

上式中, 用  $D$  代替  $D'$ , 而  $\Delta h$  相对于  $2R$  很小, 可略去不计, 则

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

将  $D$  取不同值代入式(1-7), 可计算出高程误差, 见表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对高程的影响

$D$ (m)	10	50	100	200	500	1 000
$\Delta h$ (mm)	0.0	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

从表中可见, 当  $D = 200\text{ m}$  时,  $\Delta h = 3.1\text{ mm}$ , 这对高程来说影响是很大的, 所以进行高程测量时, 即使距离很短也应考虑地球曲率对高程的影响。

## 第四节 测量工作概述

### 一、测量的基本工作

地面点的坐标和高程通常不是直接测定的, 而是观测有关数据后计算而得。实际工