



普通高等教育“十二五”规划教材

工程测量

孔达 吕忠刚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

工程测量

孔达 吕忠刚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分十五章：第一章至第九章为测量技术与方法，主要介绍绪论、水准仪及水准测量、经纬仪及角度测量、距离测量与直线定向、GPS 定位技术、测量误差及数据处理基础、控制测量、地形图测绘、地形图的应用；第十章至第十五章为工程应用测量，主要介绍工程测设基本方法、线路工程测量、桥梁与隧道工程测量、建筑工程测量、水利工程测量、建筑物变形测量等。

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、农业水利工程、水文及水资源工程、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参考。

图书在版编目（C I P）数据

工程测量 / 孔达, 吕忠刚编著. — 北京 : 中国水利水电出版社, 2011. 1

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-8252-1

I. ①工… II. ①孔… ②吕… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第012672号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 工程测量
作 者	孔达 吕忠刚 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 20.5 印张 486 千字
版 次	2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	37.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

近年来,随着计算机、电子及通信技术的不断进步,测绘科学技术也取得了突飞猛进的发展。与传统测量相比,现代测量在技术手段、观测方法和相应的理论方面都发生了质的飞跃。以全站仪、GPS等为代表的新技术正在逐步替代常规的测量方法,数字化测图也已在实践中得到普及。本教材正是在这样的背景下,密切结合时代的发展,并针对高等学校非测量专业教育教学改革与发展的需要而组织编写的。

教材在编写时顾及了目前工科院校土建类各专业《工程测量》课程教学大纲的基本要求,详细地介绍了现代测量技术、理论和方法。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,具有较强的实用性。本书共分两篇,第一篇为测量技术与方法,为各专业通用;第二篇为工程应用测量,可结合各自的专业方向选用。

本书第一章、五章、六章、八章、十四章由孔达编写;第十章、十一章、十二章、十三章、十五章由吕忠刚编写;第二章、四章由窦世卿编写;第三章由王笑峰编写;第七章中的第一节、二节、三节、四节、五节由周启朋编写;第七章中的第六节由张婷婷编写;第九章由伊晓东编写;此外,龚文峰、马学武也参加了本书的编写工作。全书由孔达统稿。杨国范教授担任本书副主编并审阅了全书内容。

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

2011年1月

目 录

前 言

第一篇 测量技术与方法

第一章 绪论	3
第一节 测量学概述	3
第二节 地球的形状与参考椭球定位的概念	4
第三节 地面点位的表示方法	6
第四节 地球曲率对水平距离与高程的影响	9
第五节 测量工作概述	11
思考题与习题	13
第二章 水准仪及水准测量	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	21
第四节 水准测量成果计算	24
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	26
第六节 水准测量误差分析及注意事项	29
第七节 自动安平水准仪	32
第九节 精密水准仪与精密水准尺	34
第十节 数字水准仪和条码水准尺	35
思考题与习题	37
第三章 经纬仪及角度测量	39
第一节 角度测量原理	39
第二节 光学经纬仪及使用	40
第三节 水平角观测	45
第四节 竖直角观测	49
第五节 经纬仪的检验与校正	51

第六节 角度测量误差分析及注意事项	57
第七节 电子经纬仪	59
思考题与习题	62
第四章 距离测量与直线定向	65
第一节 钢尺量距	65
第二节 视距测量	70
第三节 电磁波测距	74
第四节 直线定向与坐标计算	79
第五节 全站仪及其使用	84
思考题与习题	95
第五章 GPS 定位技术	97
第一节 概述	97
第二节 GPS 系统的组成	97
第三节 GPS 定位的基本原理	100
第四节 GPS 定位方法	101
第五节 GPS 的应用	103
思考题与习题	104
第六章 测量误差及数据处理基础	105
第一节 测量误差及其分类	105
第二节 衡量观测值精度的标准	108
第三节 误差传播定律	110
第四节 等精度直接观测平差	113
第五节 不等精度直接观测平差	117
第六节 最小二乘法原理及其应用	122
思考题与习题	124
第七章 控制测量	126
第一节 概述	126
第二节 导线测量	129
第三节 交会定点	136
第四节 三等、四等水准测量	140
第五节 三角高程测量	143
第六节 GPS 控制测量	144
思考题与习题	147
第八章 地形图测绘	150
第一节 地形图的基本知识	150
第二节 地形图的传统测绘方法	161

第三节	全站仪数字测图技术	167
第四节	水下地形测量	173
第五节	地籍图、房产图及其测量	176
思考题与习题		180
第九章	地形图的应用	181
第一节	地形图的识读	181
第二节	地形图应用的基本内容	182
第三节	地形图在工程规划设计中的应用	184
第四节	面积量算	188
第五节	GIS与数字地图	191
思考题与习题		196

第二篇 工程应用测量

第十章	工程测设基本方法	201
第一节	概述	201
第二节	水平距离和水平角的测设	202
第三节	点的平面位置测设	203
第四节	点的高程及已知坡度线的测设	205
第五节	全站仪测设方法简介	208
思考题与习题		214
第十一章	线路工程测量	216
第一节	概述	216
第二节	线路中线测量	217
第三节	曲线测设	222
第四节	线路纵横断面测量	231
第五节	公路施工测量	237
第六节	管道施工测量	241
思考题与习题		243
第十二章	桥梁与隧道工程测量	246
第一节	概述	246
第二节	施工控制测量	249
第三节	桥梁施工测量	256
第四节	隧道施工测量	261
思考题与习题		267
第十三章	建筑工程测量	269
第一节	概述	269
第二节	民用建筑施工测量	272

第三节	高层建筑施工测量	278
第四节	工业厂房施工测量	280
第五节	竣工总平面图编绘	285
思考题与习题		286
第十四章	水利工程测量	288
第一节	概述	288
第二节	土坝施工测量	290
第三节	混凝土坝施工测量	294
第四节	水闸施工测量	296
第五节	渠道测量	298
思考题与习题		303
第十五章	建筑物变形测量	304
第一节	概述	304
第二节	建筑物变形测量的精度和频率	305
第三节	沉降观测	308
第四节	水平位移观测	310
第五节	变形观测资料的整理与汇编	313
思考题与习题		315
参考文献		317

第一篇

测量技术与方法

第一章 绪 论

第一节 测量学概述

一、测量学的概念

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图，以及确定地球的形状和大小等的科学。其主要内容包括测定和测设两大部分。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。

二、测量学的分类

测量学按照所研究的领域和服务对象的不同分为以下几个分支学科。

(1) 普通测量学，是研究地球表面小区域，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。

(2) 大地测量学，是研究和确定整个地球形状与大小，解决大区域控制测量和地球重力场等问题的学科。由于人造地球卫星的发射和空间技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学、天文大地测量学、重力大地测量学和卫星大地测量学等。

(3) 摄影测量与遥感学，是研究利用摄影相片及各种不同类型的非接触传感器，获取模拟的或数字的影像，通过解析和数字化方式提取所需的信息，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。

(4) 工程测量学，是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项测量工作的理论、技术和方法的学科。

(5) 地图制图学，是研究各种地图的制作理论、工艺技术和应用的学科。

(6) 海洋测绘学，是研究海洋和陆地水域的测量和绘图的学科。

三、测量学的发展简介

测量学是一门古老的科学，有着悠久的历史。远在 4000 多年前，夏禹治水就利用简单的工具进行了测量。春秋战国时期发明的指南针，至今仍在广泛地使用。东汉张衡创造了世界上第一架地震仪——候风地动仪，他所创造的天球仪正确地表示了天象，在天文测量史上留下了光辉的一页。在世界上，17 世纪初望远镜发明以后，人们利用光学仪器进行测量，使测量技术又向前迈进了一大步。20 世纪 60 年代以来，随着光电技术和微型电子计算机的兴起，对测绘仪器和测量方法的变革起了很大的推动作用。如利用光电转换原理及微处理器

制成电子经纬仪，可迅速地测定水平角和竖直角；利用电磁波在大气中的传播原理制成各种光电测距仪，可迅速精确地测定两点间的距离；将电子经纬仪与电磁波测距仪融为一体的全站仪，可迅速测定和自动计算待测点的三维坐标，自动保存观测数据，并将观测数据传输到计算机自动绘制地形图，实现数字化测图。20 世纪 80 年代以来发展了一种利用卫星定位的新技术——全球定位系统（Global Positioning System，简称 GPS），人们只需在待测点上安置 GPS 接收机，通过接收卫星信号，利用专门的数据处理软件，即可迅速获得该点的三维坐标。这种技术彻底改变了传统的测量控制点坐标的方法，极大地促进了测量学的发展。目前测量技术正向着多领域、高精度、自动化、数字化方向发展。

四、测量技术在工程建设中的作用

在各种工程建设中，测量技术的应用十分广泛。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，以确保其安全。

由此可见，测量工作贯穿于工程建设的始终，作为一名工程技术人员，只有掌握必要的测量科学知识和技能，才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理各项任务。

本教材着重介绍测量技术与方法以及土建工程在各个阶段所进行的测量工作。通过学习本课程，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；了解变形观测的基本内容。

第二节 地球的形状与参考椭球定位的概念

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 8844.43m 的珠穆朗玛峰，有低于海平面 11022m 的马里亚纳海沟，地形起伏很大。但是，由于地球半径很大（约 6371km），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，仍然可以将地球看作为圆滑球体。地球表面大部分是海洋，占地球面积的 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：一是地球引力；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 [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来代替大地体。

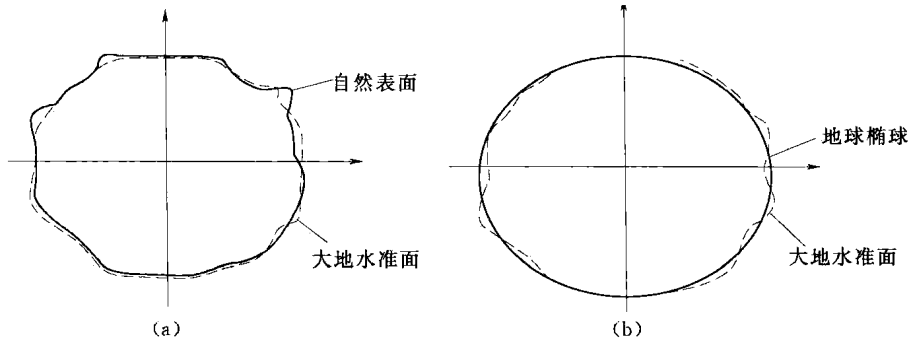


图 1-1 地球形状示意图

(a) 大地水准面与地球自然表面; (b) 大地水准面与地球椭球面

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。地球椭球的形状及大小由其长半轴 a 和扁率 α 确定, 如图 1-2 所示。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 $a = 6378140\text{m}$, $\alpha = 1/298.257$ 。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作圆球体, 其半径为 6371km 。

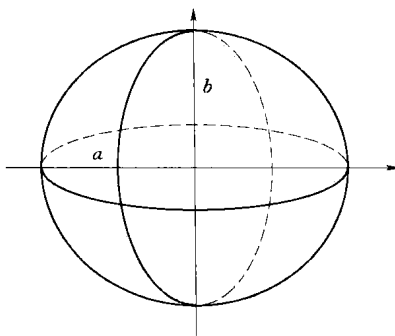


图 1-2 参考椭球

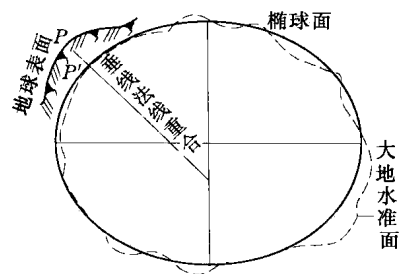


图 1-3 参考椭球体的定位

二、参考椭球的定位与国家大地坐标系

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。如图 1-3 所示, 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, 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。

目前, 我国使用的是“1980 年国家大地坐标系”, 大地原点设在陕西省泾阳县内。新中国成立初期使用的坐标系称为“1954 年北京系”, 大地原点在前苏联, 根据多年的测量数据, 发现该坐标系与我国的实际情况相差较大。

第三节 地面点位的表示方法

在测量工作中, 地面点的位置由三维坐标来表示, 即由平面坐标和高程表示。

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 (λ, φ) 表示 (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 (图 1-5)。

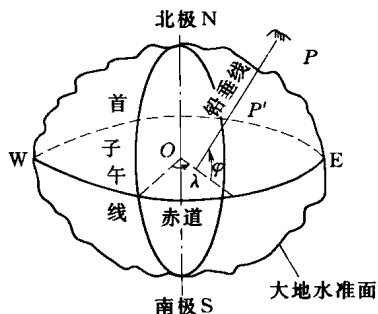


图 1-4 天文坐标系

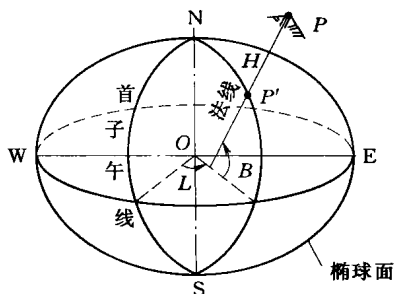


图 1-5 大地坐标系

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。

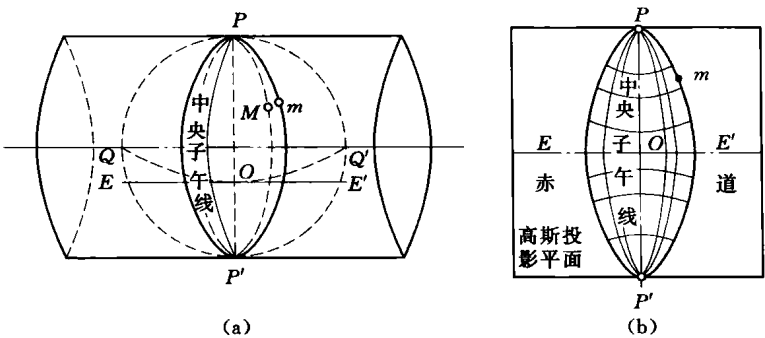


图 1-6 高斯投影

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。带宽一般为 6° 和 3° （也称为 6° 带和 3° 带），如图 1-7 所示。

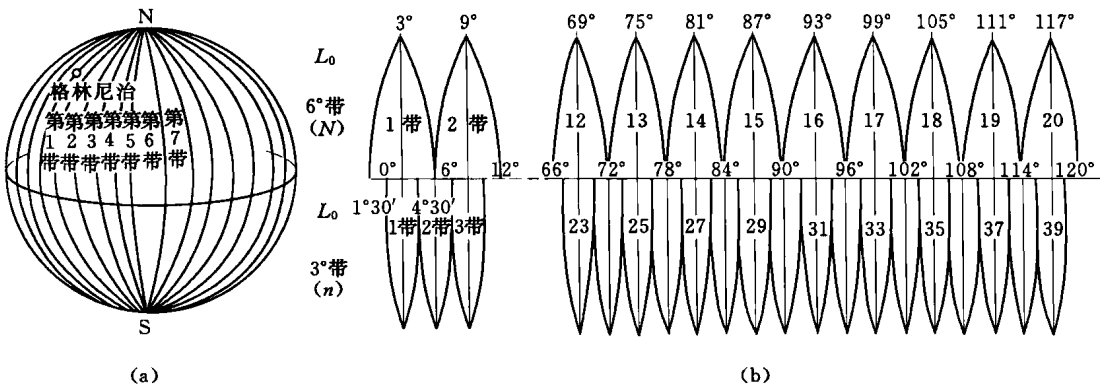


图 1-7 6° 带与 3° 带

6° 带是从格林尼治子午线起，自西向东每隔经差 6° 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 的关系可表示为

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

6° 带可以满足 1:25000 以上中、小比例尺测图精度的要求。

3° 带是在 6° 带基础上划分的，从东经 $1^\circ30'$ 子午线起，自西向东每隔经差 3° 为一带，编号为 1~120。带号 n 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系可表示为

$$L_0 = 3n \quad (1-3)$$

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

计 11 个 6° 带，带号在 13~23 之间；21 个 3° 带，带号在 25~45 之间。

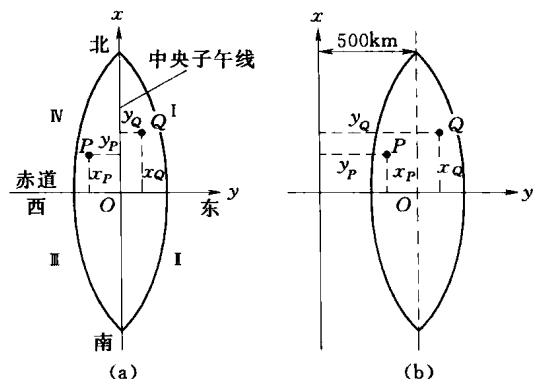


图 1-8 高斯平面直角坐标系

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 500km，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： $x_P = 3464215.106\text{m}$ ， $y_P = -432861.343\text{m}$ 。若该点位于第 19°带内，则 P 点的国家通用坐标值为： $X_P = 3464215.106\text{m}$ ， $Y_P = 19067138.657\text{m}$ 。

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。

3. 独立平面直角坐标

当测区的范围较小（半径小于 10km）时，可以把测区的球面当作水平面，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。

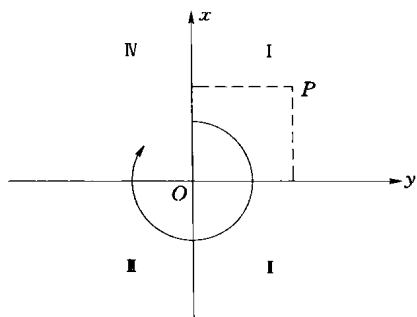


图 1-9 平面直角坐标系

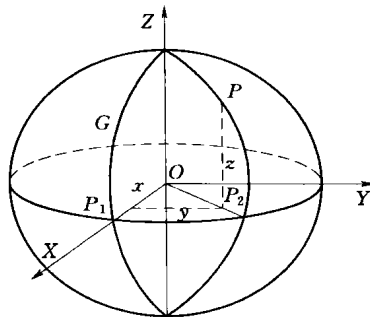


图 1-10 空间直角坐标系

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。

“WGS—84 坐标系”，WGS 全称“World Geodetic System”（世界大地坐标系），它是美国国防局为进行 GPS 导航定位，于 1984 年建立的地心坐标系，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。“WGS—84 地心坐标系”可以与“1954 年北京坐标系”或“1980 年国家大地坐标系”等参心坐标系相互转换。

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。如果某地面点沿铅垂线方向到某一指定水准面的距离，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，如图 1-11 所示。

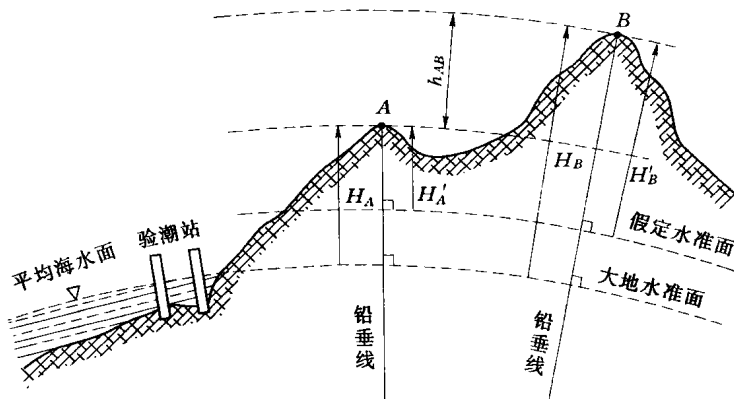


图 1-11 绝对高程与相对高程

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

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 72.289m。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 72.2604m，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。

第四节 地球曲率对水平距离与高程的影响

在测区范围不大的情况下，为简化一些复杂的投影计算，可将椭球面看作球面，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