

高等学校规划教材

建筑工程测量

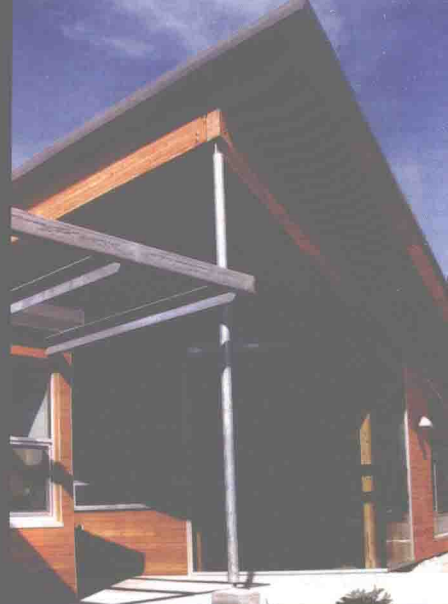
(配套有实训教材)

主 编 王国辉

副主编 岳崇伦 马 莉 廖国维



中国建筑工业出版社



高等学校规划教材

建筑工程测量

(配套有实训教材)

主 编 王国辉

副主编 岳崇伦 马 莉 廖国维

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量(配套有实训教材)/王国辉主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 12
高等学校规划教材
ISBN 978-7-112-18873-4

I. ①建… II. ①王… 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(2015)第 306679 号

本书根据内容的不同划分为项目和任务。项目一到项目八介绍了测绘学基本知识、测量的基本工作、测量仪器的使用及大比例尺地形图的测绘;项目九、项目十讲述了地形图应用和测设的基本工作;项目十一到项目十五着重论述了工业与民用建筑、道路、桥梁、隧道、管道工程的测量内容。为了加强学生实践能力的培养,本教材配有《建筑工程测量实训》教材,编写中紧密结合《工程测量规范》GB 50026—2007 和教材内容体系,力争做到实用、够用、易教易学。实训教材分为两个模块:模块一 建筑工程测量实训指导;模块二 建筑工程测量实训报告。

模块一 建筑工程测量实训指导,分为五个部分。第一部分:测量实训须知;第二部分:建筑工程测量课间实验指导,共设有 19 个基本的课间测量实验项目可供各学校进行课间实验选择;第三部分:建筑工程测量习题指导;第四部分:建筑工程测量综合实训指导(1~2 周任选);第五部分:附录,主要进行一些常用的电子仪器的简介和使用说明。

模块二 建筑工程测量实训报告,分为三个部分。第一部分:课间实验报告,包括相应的课间测量实验的记录、计算表格与思考题;第二部分:习题练习册。第三部分:综合实训报告,包含各种实训记录、计算表格及实习报告模板。

在编写内容上体现先易后难、循序渐进,便于学生的理解、掌握和自学;考虑到相关学校的差异,各学校可以根据本校的实训场地和设备情况自行选择实训项目。

本书立足于高等院校教学需求,结合现代测量技术的发展,并与实际工程密切结合;在内容上突出指导性、理论性与实践性、适用性相融合;充分体现了与时俱进的风格和特点。

本教材可供高等学校建筑工程、城市规划、市政工程、工程管理、道路与桥梁工程、房地产与土地管理等相关专业使用。同时,也可供相关专业的工程技术人员参考。

责任编辑:王 跃 吉万旺 仕 帅

责任设计:董建平

责任校对:陈晶晶 刘 钰

高等学校规划教材

建筑工程测量(配套有实训教材)

主编 王国辉

副主编 岳崇伦 马 莉 廖国维

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:34 字数:786 千字

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月第一次印刷

定价:75.00 元

ISBN 978-7-112-18873-4

(28153)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

建筑工程测量是测绘科学的一个重要分支,是建筑工程各个阶段不可或缺的应用科学。本教材以培养“厚基础、宽口径、强能力、勇创新”的工程技术人才为指导,结合现代测绘科学技术的发展趋势,在测绘学的定义中突出了对测量信息的应用;在论述空间点位的表示方法中增加了我国 2000 地心坐标系统的内容;在述及测量和测设的基本工作中,密切结合现代测绘仪器,例如数字水准仪、全站仪、GPS 等,简要地介绍了测量新仪器的构造、测量原理及其使用方法;增加了数字地形图测绘方法及相关绘图软件的使用;在工程测量部分涵盖了建筑、道路、桥梁、隧道和管道等工程从勘测设计到竣工验收和运营管理各阶段的测量工作。特别是在公路、铁路的工程测量中,加入了全站仪测量、GPS 测量和利用数字地形图获取测设资料的内容。在教材编写中力求既能体现传统测量的基本理论和方法,又能展示现代测绘科学技术的研究成果,并将现代科学技术与工程实际需求密切结合,满足了现代工程建设需要以及与时俱进的风格和特点。本教材可供高等学校建筑工程、城乡规划、市政工程、工程管理、道路与桥梁工程、房地产与土地管理等相关专业使用。同时,也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书根据内容的不同划分为项目和任务。项目一到项目八介绍了测绘学基本知识、测量的基本工作和测量仪器的使用及大比例尺地形图的测绘;项目九、项目十讲述了地形图应用和测设的基本工作;项目十一到项目十五着重论述了工业与民用建筑、道路、桥梁、隧道和管道工程的测量内容。为了加强学生实践能力的培养,本教材配有《建筑工程测量实训》教材,其分为两部分内容,一部分为实训指导,一部分为实训报告,可方便教师和学生使用。

全书由王国辉教授、马莉教授、廖国维高级工程师统稿,白大茹副教授负责插图绘制,岳崇伦老师负责组织编写和协调工作。各项目及编写人员分别为:项目一(王国辉)、项目二(马莉)、项目三(黄佳宾)、项目四(吴海涛)、项目五(余金艳)、项目六(吴海涛)、项目七(岳崇伦, GPS 内容由吴海涛编写)、项目八(马莉)、项目九(岳崇伦)、项目十(陈运贵)、项目十一(王国辉、廖国维)、项目十二(王国辉、马莉)、项目十三(王国辉、陈运贵)、项目十四(王国辉)、项目十五(王国辉)。

本书在编写过程中得到广东工业大学张兴福、魏德宏、余旭老师的热心帮助和支持,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中疏漏、错误和不足恳请广大师生和读者批评指正。

目 录

项目一 建筑工程测量概述	1
任务一 测绘学的任务及作用	1
任务二 地面点位的表示方法	2
任务三 地球曲率对测量工作的影响	9
任务四 测量工作概述	10
习题	12
项目二 水准测量	13
任务一 水准测量的基本原理	13
任务二 DS ₃ 型水准仪及水准尺	14
任务三 水准仪的使用	17
任务四 等外水准测量外业	19
任务五 水准测量内业计算	23
任务六 DS ₃ 型微倾式水准仪的检验与校正	26
任务七 水准测量的误差来源及消减办法	29
任务八 自动安平水准仪简介	31
任务九 精密水准仪	33
任务十 数字水准仪简介	35
习题	38
项目三 角度测量	41
任务一 水平角及其测量原理	41
任务二 经纬仪的构造和使用	41
任务三 水平角观测方法	47
任务四 竖直角测量方法	51
任务五 经纬仪的检验与校正	54
任务六 水平角测量的误差分析	57
任务七 电子经纬仪简介	60
习题	62
项目四 距离测量	64
任务一 钢尺量距	64
任务二 视距测量	72
任务三 光电测距	74

任务四 全站仪简介	79
习题	92
项目五 直线定向与坐标计算	94
任务一 直线定向	94
任务二 平面坐标的正算与反算	97
习题	99
项目六 测量误差基本知识	101
任务一 测量误差	101
任务二 衡量精度的标准	104
任务三 误差传播定律	106
任务四 算术平均值及其中误差	110
任务五 加权平均值及其中误差	112
习题	115
项目七 小区域控制测量	117
任务一 概述	117
任务二 导线测量	119
任务三 导线测量的平差计算	122
任务四 三、四等水准测量	129
任务五 三角高程与光电三角高程测量	131
任务六 GNSS 测量技术简介	134
习题	144
项目八 大比例尺地形图的测绘	146
任务一 地形图基本知识	146
任务二 地物、地貌的表示方法	150
任务三 大比例尺地形图的图解法测绘	158
任务四 航空摄影测量简介	165
任务五 数字地形图与数字测图技术	172
习题	189
项目九 地形图的应用	191
任务一 地形图的识读	191
任务二 地形图应用的基本内容	192
任务三 地形图上面积的量算	196
任务四 地形图上土方量的计算	198
习题	202
项目十 测设的基本工作	204
任务一 测设的基本工作	204
任务二 测设点的平面位置的基本方法	208
任务三 测设坡度线	211

习题	212
项目十一 建筑施工测量	213
任务一 概述	213
任务二 建筑施工控制测量	214
任务三 民用建筑施工测量	217
任务四 工业建筑施工测量	222
任务五 高层建筑物的轴线投测和高程传递	227
任务六 竣工测量	232
任务七 建筑物变形观测	234
习题	247
项目十二 公路、铁路线路测量	248
任务一 公路、铁路线路测量概述	248
任务二 新线初测	249
任务三 新线定测	254
任务四 圆曲线及其测设	267
任务五 圆曲线加缓和曲线及其测设	273
任务六 线路施工测量	286
习题	290
项目十三 桥梁施工测量	291
任务一 桥梁控制测量	291
任务二 墩台中心定位和轴线测设	294
任务三 桥梁细部施工放样	298
任务四 桥梁墩台的变形观测	299
习题	304
项目十四 隧道测量	305
任务一 概述	305
任务二 隧道洞外平面控制测量	307
任务三 隧道洞内平面控制测量	310
任务四 隧道高程控制测量	312
任务五 隧道贯通精度的预计	314
任务六 隧道施工测量	318
任务七 隧道变形监测	321
任务八 隧道竣工测量	323
习题	323
项目十五 管道工程测量	325
任务一 概述	325
任务二 管道中线和纵横断面测量	325
任务三 管道施工测量	329

任务四 顶管施工测量 332

任务五 管道竣工测量和竣工图的编绘 334

习题 335

附录：测量常用计量单位与换算 336

参考文献 337

项目一 建筑工程测量概述

【知识目标】 地球空间点位的表示方法；测量工作的主要内容；测量工作应遵循的基本原则。

【能力目标】 地面点的平面坐标与高程的表示方法，测量的基本工作和应遵循的基本原则。

任务一 测绘学的任务及作用

建筑工程测量是测绘学的重要组成部分。测绘学是研究地球的形状、大小以及空间物体的形状、大小、位置、方向和分布，并对这些空间位置信息进行采集、加工处理、储存、管理和使用的科学。按照研究范围、研究对象以及研究方法的不同，测绘学可以分为多个分支学科。

大地测量学：研究和测定地球的形状、大小和地球重力场，以及建立地球表面广大区域控制网的理论和技术的科学。大地测量学又分为几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学（或空间大地测量学）。几何大地测量学，是用几何观测量（长度、方向、角度、高差），研究和解决大地测量学科中的问题。物理大地测量学，是用重力等物理观测量，研究和解决大地测量学科中的问题。卫星大地测量学，是用人造卫星，研究和解决大地测量学科中的问题。

摄影测量与遥感学：研究利用摄影或遥感技术获取目标物体的影像数据，从中提取几何的或物理的信息，并用图形、图像和数字形式表达的科学。根据获得像片方式和研究目的的不同，摄影测量学又分为航空摄影测量学、地面摄影测量学、水下摄影测量学和航天（卫星）摄影测量学等。

地图制图学：研究利用测量采集、计算所得到的成果资料，编制各种模拟和数字地图的理论、原理、工艺技术和应用的科学。它是用地图图形反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化。其主要的研究内容包括地图投影学、地图编制、地图整饰、印刷等。目前，数字地图以及地理信息系统已广泛地被人们所应用。

海洋测量学：以海洋水体和海底为研究对象所进行的测量以及海图编制工作的理论、技术和方法。主要包括海洋航道测量、海洋大地测量、海底地形图测量、海洋专题测量等内容。

工程测量学：研究工程建设和自然资源开发中的勘察、设计、施工和管理各阶段所进行的控制、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的科学。

建筑工程测量是工程测量的一个分支，是研究建筑工程建设各个阶段测量工作的理论和技术的科学。

随着科学技术的迅速发展，光电技术、卫星定位技术和计算机技术的应用已

为测绘科学带来一场全新变革。随着全站仪、电子水准仪和 GPS 等新型测量仪器设备的研发和使用,传统的测量模式正在向数字化、自动化、程序化方向发展;利用卫星影像、合成孔径激光雷达采集地球空间信息,研究地球或其他星体表面的形态变化以及球体内部的矿藏资源是当前的热点课题;无人机和卫星摄影测量正逐渐揭开人类无法到达区域的神秘面纱;地球空间信息采集、加工处理正向多源信息融合方向迈进,其应用领域越来越宽广;测绘学分支学科的划分将越来越模糊,将以新的理念进行定义和诠释。

测绘学在工程建设中的主要内容包括测定和测设两个方面。测定是指使用测量仪器和工具,按照一定的方法进行测量和计算,得到点和物体的空间位置,或把地球(或其他空间星体)的表面形态测绘成地形图,为经济建设、规划设计、科学研究和国防建设提供依据。测设是指把图纸上设计好的建筑物、构筑物,通过测量标定于实地的工作。

测绘科学的应用范围很广,在国民经济和社会发展规划中,首先要有地形图和地籍图,才能进行各种规划及地籍管理,可见测绘信息是最重要的基础信息之一。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模、诸兵种、协同作战不可或缺的重要保障。根据地球形状、大小的精确数据和相关地域的重力场资料,精确测算出发射点和目标点的坐标、方位、距离,才能保证远程导弹、空间武器、人造卫星或航天器精确入轨,随时校正轨道或命中目标。空间科学技术研究、地壳形变、地震预报以及地极周期性运动的研究等都需要应用测绘科学所采集的信息。此外,在陆地、海底资源勘探及开采等方面都需要测量提供资料和指导。

测绘学在城乡建设和环境保护中有着广泛的应用。在规划设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供城镇规划、工厂选址、管线及交通道路选线以及平面和立面位置设计使用。在施工阶段,要将设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程在实地测设标定出来,并指导施工。竣工后,还要测绘竣工图,供日后扩建、改建和维修之用。此外,还要对某些重要的建筑物进行变形观测,以保证建筑物安全使用。

综上所述,可以看出测量工作贯穿于经济建设和国防建设的各个领域,贯穿于工程建设的始终。因此,测量工作是建筑工程、道路工程、桥梁工程、工程管理等专业必备的专业基础。掌握测量工作的测、算、绘、用的基本技能,以便灵活运用所学测量知识更好地为其专业工作服务。

任务二 地面点位的表示方法

一、地球的形状与大小与测量基准的建立

要研究地球的形状、大小以及空间物体的形状、大小、位置、方向和分布,如何表达地球空间点的位置呢?测量工作主要是在地球表面上进行,而地球是一个赤道稍长、南北极稍扁的椭球体。地球自然表面极不规则,有高山、丘陵、平

原和海洋，要确定和表示地球空间点的位置需要建立一些基准。我们知道地球上最高的是珠穆朗玛峰，海拔 8844.43m，最低的是马里亚纳海沟，低于海水面达 11022m。但是，这样的高低起伏，相对于地球半径 6371km 而言还是很微小的。考虑到海洋面积约占整个地球表面的 71%，陆地面积约占 29%，故而人们习惯上把海水面所包围的地球实体看作地球的形体，依此确定测量工作的基准依据，进而确定地球空间点的位置。

由于地球的自转运动，其表面的质点同时受到地球引力和离心力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是野外测量工作采集信息的基准线。

假想自由静止的水面将其延伸穿过岛屿与陆地，而形成的连续封闭曲面称之为水准面。水准面是受地球重力影响而形成的重力等位面，其特点是处处与铅垂线方向垂直。通常将与水准面相切的平面称为水平面。由于水面可高可低，所以水准面有无数个。在众多的水准面当中，人们将与平均海水面吻合并穿过岛屿向大陆内部延伸而形成的闭合曲面称之为大地水准面。大地水准面是野外测量工作的基准面。

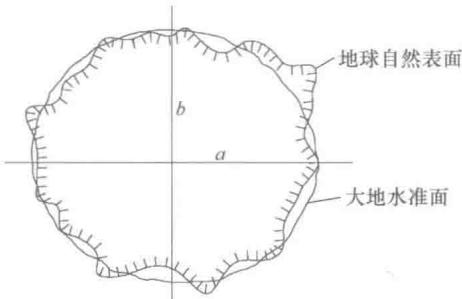


图 1-1 地球自然表面、大地水准面

由于地球内部质量分布的不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则变化，导致大地水准面成为一个复杂的曲面（图 1-1），无法用数学公式表达，故在这个不规则的曲面上处理测量数据很不方便。因此，需要用一个在形体上与大地水准面所

包围的形体非常接近，并可用数学公式表述的几何形体——地球椭球来代替地球的形状（图 1-2）作为测量计算工作的基准面。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故又称其为旋转椭球。旋转椭球由长半径 a （或短半径 b ）和扁率 α 所确定。

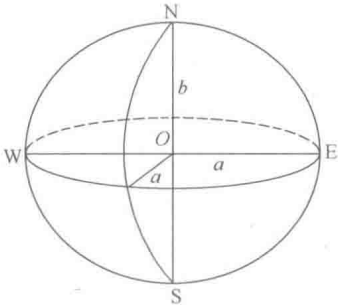


图 1-2 旋转椭球

我国建立和使用的“1980 年国家大地坐标系”，大地原点在陕西省泾阳县永乐镇，所采用的椭球元素为：长半径： $a = 6378140\text{m}$ ；扁率： $\alpha =$

$1 : 298.257$ ；其中： $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。

由于地球椭球的扁率很小，当测区范围不大时，可近似地把地球椭球作为圆球，其平均半径 R 为：

$$R = (2a + b) / 3 \approx 6371\text{km}$$

二、地面点位的表示方法

地面点的空间位置通常用地面点到大地水准面的铅垂距离及其在投影面上的

坐标表示,也就是由地面点的高低位置和在投影面上的位置构成三维坐标。此外,还可用地心坐标表示其三维空间位置。

1. 地面点的高程

地面点的高低位置又称为高程,也就是地面点到基准面的铅垂距离。由于基准面的不同,高程又分为绝对高程和相对高程。绝对高程是指地面点到大地水准面的铅垂距离,又称海拔。在图 1-3 中 A、B 两点的绝对高程分别为 H_A 、 H_B 。相对高程是指地面点到某一假定水准面的铅垂距离,又称为假定高程,当个别地区引用绝对高程有困难时使用。例如图 1-3 中 A、B 点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。两地面点间的绝对高程或相对高程之差称为高差,地面上 A、B 两点之间的高差 h_{AB} 为:

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

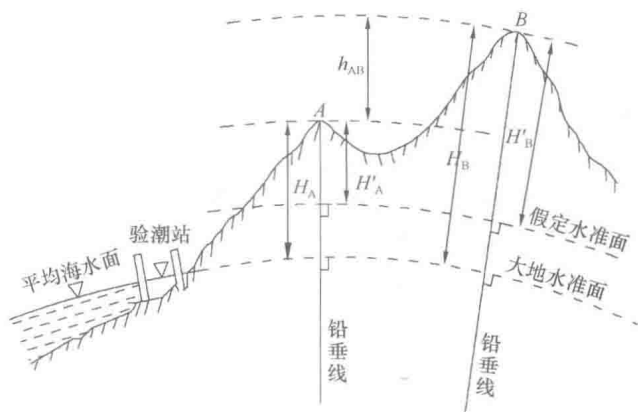


图 1-3 地面点的高程

由此可见,两点间的高差与高程起算面无关。

由于潮汐、风浪等因素影响,海水面的高低位置时刻在变化,是个动态的曲面。我国在青岛设立验潮站,长期观察和记录黄海海水面高低位置的变化,取其均值作为大地水准面高程为零的位置,并将其引测到水准原点。现在,我国采用“1985 高程基准”,青岛水准原点的高程为 72.260m,并以此为基准测算到全国各地。1987 年以前使用的 1956 年高程系统的水准原点高程为 72.289m,国家测绘局颁发 {1987} 198 号文件通告废止。

除此之外,还有一些地方高程系统。在利用旧的高程系统和地方高程系统下的高程测量成果时,要注意高程系统的统一和换算。

2. 地面点在投影面上的坐标

地面点在投影面上的位置通常用球面坐标、平面坐标。球面坐标常用地理坐标,平面坐标常用高斯平面直角坐标和独立的平面直角坐标。

(1) 地理坐标

用经度、纬度表示地面点在椭球面上的位置称为地理坐标。地理坐标又按坐标所依据的基准线和基准面的不同分为天文坐标和大地坐标两种。

1) 天文坐标

天文坐标又称天文地理坐标，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点在大地水准面上的位置。如图 1-4 所示，NS 为地球的自转轴（或称地轴），N 为北极，S 为南极。过地球表面任一点与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面，子午面与地面的交线称为子午线，亦称经线。P 点的天文经度 λ ，是 P 点所在子午面 NPKSO 与首子午面 NGMSO（即通过英国格林尼治天文台的子午面）所成的二面角。经度自首子午线起向东或向西度量，经度从 0° 起算至 180° ，在首子午线以东者为东经，以西者为西经。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线。其中，垂直于地轴的平面并通过球心 O 与球面相交的纬线称为赤道。经过 P 点的铅垂线（即重力线）与赤道平面的夹角，称为 P 点的纬度，常以 φ 表示。由于铅垂线是引力线与离心力的合力，所以地面点的铅垂线不一定经过地球中心。纬度从赤道向北或向南自 0° 起算至 90° ，分别称为北纬或南纬。

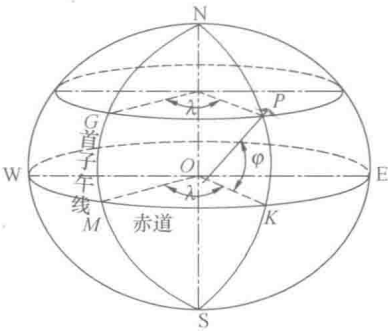


图 1-4 天文坐标

2) 大地坐标

大地坐标又称为大地地理坐标，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点在旋转椭球面上的位置。在图 1-5 中 P' 是地面点， P 是其在参考椭球面上的位置， P' 点的大地经度 L 就是 P 点所在子午面 NPSO 和首子午面 NGSO 所夹的二面角； P' 点的大地纬度 B 就是过 P 点的法线与参考椭球赤道面所成的交角。

天文经纬度是用天文测量的方法直接测定，大地经纬度是根据大地测量所测得的数据推算而得到的。地面上一点的天文坐标和大地坐标之所以不同，是因为依据的基准面和基准线不同。天文坐标依据的是大地水准面和铅垂线，大地坐标依据的是旋转椭球面和法线。

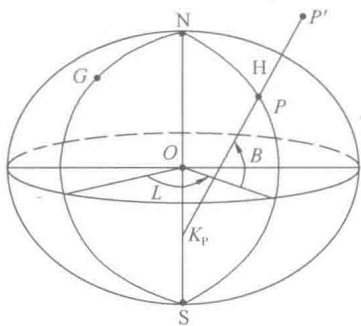


图 1-5 大地坐标

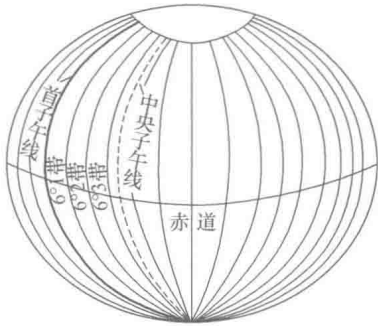


图 1-6 投影分带

(2) 平面直角坐标

地理坐标是球面坐标，不便于直接应用于工程建设。所以，工程建设中通常采用高斯平面直角坐标和独立的平面直角坐标。

1) 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标系是按高斯横椭圆柱投影的方法建立的，简称高斯投影。

首先,将野外采集、计算得到的点位数据按一定的方法改化到参考椭球面上;再将参考椭球面按一定经差划分成若干投影带(图 1-6);然后将参考椭球装入横向椭圆柱筒中进行保角投影(图 1-7a),让每个投影带的中央子午线与柱面相切,将每个投影带投影到柱面上,最后沿柱面母线剪开、展平得到各点的平面直角坐标(图 1-7b)。

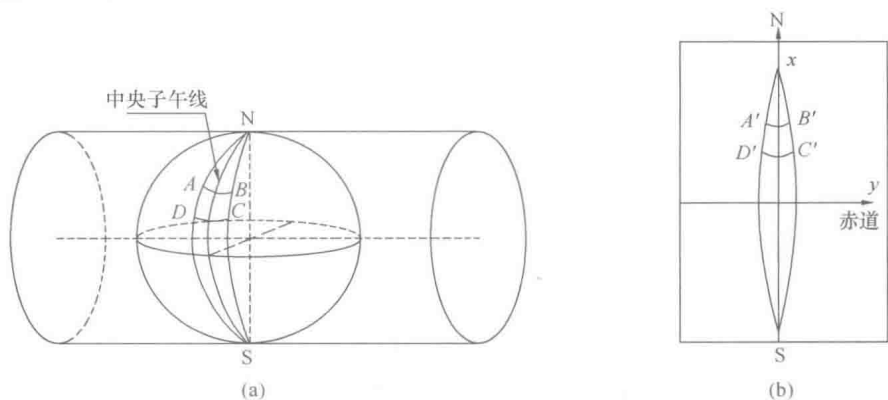


图 1-7 高斯投影

投影带的划分是从首子午线(通过英国格林尼治天文台的子午线)起,自西向东每隔经差 6° 划分一个投影带(称为六度带),将整个地球划分成经差相等的

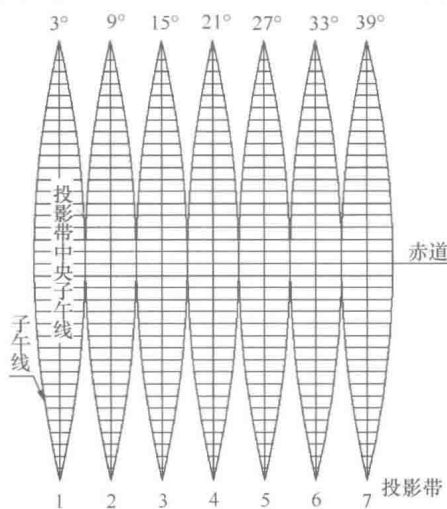


图 1-8 高斯投影带

60 个带,如图 1-6 所示。带号从首子午线起自西向东编,用阿拉伯数字 1、2、3、……60 表示。位于各带中央的子午线称为各投影带的中央子午线。第一个六度带的中央子午线的经度为 3° ,任一投影带的中央子午线的经度 L_0 ,可按式计算:

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

式中 N ——投影带的号数。

反之,若已知地面某点的经度 L ,要计算该点所在统一 6° 带编号的公式为:

$$N = \text{Int}\left(\frac{L}{6}\right) + 1 \quad (1-3)$$

式中 Int ——取整函数。

高斯投影属于正形投影,即投影后角度大小不变,长度会发生变化。投影时椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心,使地球椭球上某六度带的中央子午线与椭圆柱面相切,在椭球面上的图形与椭圆柱面上的图形保持等角的条件下,将整个六度带投影到椭圆柱面上,如图 1-7 (a) 所示。然后,将椭圆柱沿着通过南北极的母线剪开并展成平面,便得到六度带的投影平面,见图 1-7 (b)。中央子午线经投影展开后是一条直线,其长度不变形;纬圈 AB 和 CD 投影在高

斯平面直角系统内仍为曲线 ($A'B'$ 和 $C'D'$)；赤道经投影展开后是一条与中央子午线成正交的直线。以中央子午线的投影作为纵轴，即 x 轴；赤道投影为横轴，即 y 轴；两直线的交点作为原点，则组成高斯平面直角坐标系。按照一定经差进行投影后，便得到如图 1-8 所示若干个投影带的图形。

我国位于北半球， x 坐标均为正值，而 y 坐标值有正有负。在图 1-9 (a) 中， $y_A = +165080\text{m}$ ， $y_B = -307560\text{m}$ 。为避免横坐标出现负值，我国规定把高斯投影坐标纵轴向西平移 500km。坐标纵轴西移后 $y_A = 500000 + 165080 = 665080\text{m}$ ， $y_B = 500000 - 307560 = 192440\text{m}$ ，见图 1-9 (b)。

为了区分不同的投影带，还应在横坐标值前冠以两位数的带号。例如，A 点位于第 19 带内，则其横坐标 y_A 为 19665080m。

高斯投影中，离中央子午线近的部分变形小，离中央子午线越远变形越大，两侧对称。在大比例尺测图和工程测量中，有时要求投影变形更小，可采用三度分带投影法。它是从东经 $1^\circ30'$ 起，每经差 3° 划分一带，将整个地球划分为 120 个带（图 1-10），每带中央子午线的经度 L'_0 可按式计算：

$$L'_0 = 3^\circ n \tag{1-4}$$

式中 n ——三度带的号数。

若已知某点的经度为 L ，则该点所在 3° 带的带号为 $n = \frac{L}{3}$ （四舍五入）。

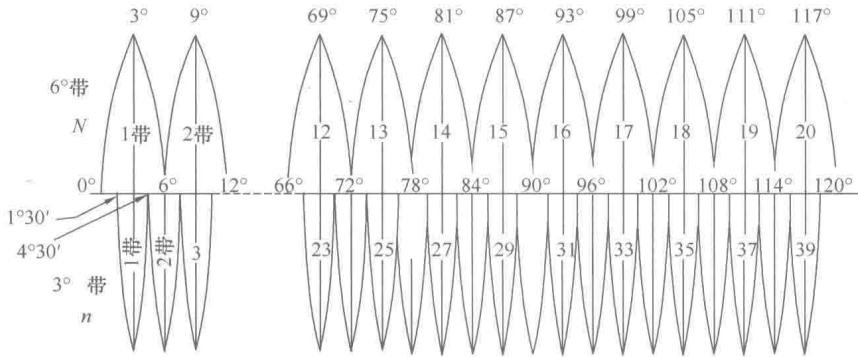


图 1-10 3°、6° 带投影

【例题 1-1】 已知某点的大地经度为 $124^\circ54'$ ，则该点各在 6° 带和 3° 带的哪一带？

【解】 6° 带带号： $N = \frac{L}{6}$ （取整）+ 1 $\Rightarrow \frac{124.9}{6} = 20.8 + 1 \Rightarrow 20 + 1 = 21$ 带

$$3^{\circ}\text{带带号}: n = \frac{L}{3} (\text{四舍五入}) \Rightarrow \frac{124.9}{3} = 41.6 \Rightarrow 42 \text{ 带}$$

我国采用的 1980 西安坐标系和 54 年北京坐标系均是按照高斯平面直角坐标投影原理建立的, 不同的是椭球参数和大地原点不同。我国地处东经 $74^{\circ} \sim 135^{\circ}$, 6° 带在 13~23 带之间, 3° 带在 25~45 带之间。

在测量坐标系中, 纵轴为 x 轴, 横轴为 y 轴, 象限按顺时针方向编号 (图 1-11), 这与数学上的规定是不同的, 目的是为了定向方便, 而且可以将数学中的公式直接应用到测量计算中。

2) 独立的平面直角坐标系

大地水准面虽然是曲面, 但当测区半径小于 10km 时, 可用测区中心点 a 的切平面来代替曲面作为投影面。此时, 地面点投影在投影面上的位置可用独立的平面直角坐标来确定。为了使测区内各点坐标均为正值, 一般规定原点 O 选在测区的西南角, 南北方向为纵轴 x 轴, 向北为正, 向南为负; 以东西方向为横轴 y 轴, 向东为正, 向西为负, 如图 1-12 所示。

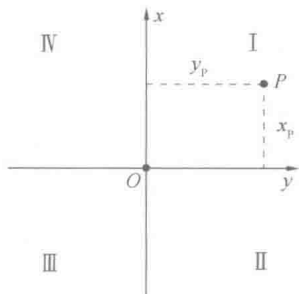


图 1-11 测量坐标系

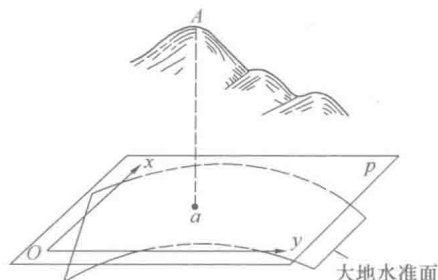


图 1-12 独立平面直角坐标系

3. WGS-84 坐标系与 2000 国家大地坐标系

WGS 英文含义是世界大地坐标系, 它是美国国防局为 GPS 导航定位于 1984 年建立的地心坐标系, 1985 年投入使用。WGS-84 坐标系的原点为地球质心, Z

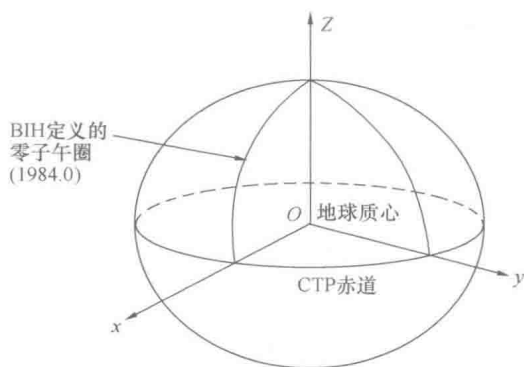


图 1-13 WGS-84 地心坐标系

轴指向 BIH (国际时间局) 1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向, x 轴指向 BIH 1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点, y 轴与其他两轴构成右手正交坐标系 (图 1-13), 尺度采用引力相对论意义下局部地球框架下的尺度。其采用的参考椭球参数 $a = 6378137\text{m}$, $\alpha = 1/298.257223563$ 。

2000 国家大地坐标系是在 WGS-84 坐标系基础上建立的地心坐标系, 国家测绘总局于 2008 年 6 月 18 日颁布, 7 月 1 日开始执行。原点为地球质心, Z 轴指向历元 2000.0 的地球参考极, X 轴指向格林尼治参考子午面与地球赤道面 (历元 2000.0) 的交点, Y 轴与 Z

轴、X 轴成右手正交坐标系，尺度采用引力相对论意义下局部地球框架下的尺度。其采用参考椭球参数 $a=6378137\text{m}$ ， $\alpha=1/298.257222101$ 。

WGS-84 坐标系、2000 国家大地坐标系、1980 西安坐标系和 54 年北京坐标系均可根据相互关系（转换参数）进行坐标转换。

任务三 地球曲率对测量工作的影响

在平面直角坐标系中，水准面是一个曲面，把曲线上的图形投影到水平面上，总会产生一定的变形。如果把水准面当作水平面看待，其产生的变形不超过测量和制图的容许误差范围时，可在一定范围内用水平面代替水准面，从而大大简化测量和绘图工作。

一、用水平面代替水准面对距离的影响

在图 1-14 中，A、B、C 是地面点，它们在大地上水准面上的投影点分别是 a 、 b 、 c ，用该区域中心点的切平面代替大地水准面后，地面点在水平面上的投影点分别是 a' 、 b' 和 c' 。设 A、B 两点在大地水准面上的距离为 D ，在水平面上的距离为 D' ，两者之差为 ΔD ，即用水平面代替水准面所引起的距离差异。将大地水准面近似地看作半径为 R 的球面，则有：

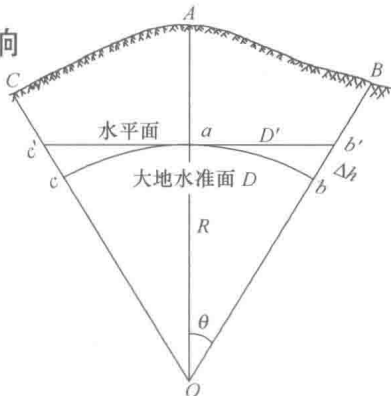


图 1-14 水平面代替水准面的影响

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \tag{1-5}$$

已知 $\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$ ，因 θ 角很小，只取其前两项代入式 (1-5)，得：

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

因 $\theta = \frac{D}{R}$ ，故：

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \tag{1-6}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-7}$$

式中 $\frac{\Delta D}{D}$ ——相对误差，用 $\frac{1}{M}$ 表示， M 越大，精度越高。

取地球半径 $R=6371\text{km}$ ，以不同的距离 D 代入式 (1-6) 和式 (1-7)，得到表 1-1 所列结果。

水平面代替水准面对距离的影响 表 1-1

距离 D (km)	距离误差 ΔD (cm)	相对误差 $\frac{\Delta D}{D}$
10	0.8	1/120 万
25	12.8	1/19 万
50	102.7	1/4.9 万
100	821.2	1/1.2 万