



高等职业教育
建筑工程技术专业精品系列教材

建筑工程 测量

主 编 /李 峰
副主编 /胡海斌 王 亮
主 审 /赵雪云



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

高等职业教育建筑工程技术专业精品系列教材

建筑工程测量

主 编 李 峰
副主编 胡海斌 王 亮
主 审 赵雪云

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书采用新体例编写,主要介绍了工程测量的基本知识、技能和方法。全书共7个单元,内容包括测量学与建筑工程测量、测量的基本工作、控制测量、地形图的测绘与应用、测设的基本工作、建筑施工测量及变形监测、线路测量与桥梁施工测量等,其中线路测量与桥梁施工测量为选学内容。每个单元“基础知识”前有“学习目标”“任务描述”“教学建议”等内容,后有“单元小结”“思考与拓展”栏目。本书配套的实训教材也同步出版。

本书可作为土建类相关专业的教材或参考用书,还可作为工程技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/李峰主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.6

高等职业教育建筑工程技术专业精品系列教材
ISBN 978-7-5624-9809-4

I. ①建… II. ①李… III. ①建筑测量—高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第116922号

高等职业教育建筑工程技术专业精品系列教材

建筑工程测量

主 编 李 峰

副主编 胡海斌 王 亮

主 审 赵雪云

策划编辑:范春青 刘颖果

责任编辑:李定群 版式设计:范春青

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16.25 字数:385千

2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-9809-4 定价:32.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书根据高等职业教育建筑工程技术专业的人才培养目标和要求编写，兼顾内容的系统性与完整性。书中增加了部分带“*”号的选学内容，使教材的适用范围更广，不但能满足高等职业教育土建类专业的教学需要，也能适应其他专业教学及岗位培训等的需要。

建筑工程测量是土建类专业的一门重要专业技能课程。本书根据国家最新发布的工程测量标准和规范，结合近年来高等职业教育教学改革最新成果，反映了当代的测量新技术，并引入用计算机软件进行施工测量计算的新内容，具有较强的实用性、创新性，希望对相关教学活动有所帮助。

本书内容丰富，叙述深入浅出，注重实用性，体现了高等职业教育的特点。每个单元分为学习目标、任务描述（具体问题）、教学建议、基础知识、小结和思考与拓展等栏目（考虑到单元2内容的特殊性，把单元2的5个项目分别按照其他单元的体例分栏目详述）。

本书主要特色：以培养和提高学生综合职业能力为根本目标，作为“双证书”教育内容之一，对接中级测量放线工职业技能鉴定标准，确立了实践操作能力的核心地位，明显加强了实践教学；便于学生自学，突出以学生为中心的学习，同时方便教学使用；将对应实训与习题编入《建筑工程测量实训》，配套使用，有效实现教学做合一；适合案例驱动、项目导向教学法；注重过程考核与控制，改革了学生成绩评定方法；以技能竞赛为契机，通过团队学习贯穿素质教育。一些工程实例，适时说明了应该参考或查阅的相关测量规范。

本书由山西建筑职业技术学院李峰担任主编并统稿，山西建筑职业技术学院胡海斌、王亮担任副主编，山西建筑职业技术学院赵雪云担任主审。其中，单元1、单元2、单元4、单元6由李峰编写，单元3、单元5由胡海斌编写，单元7由王亮编写。

在本书编写过程中，得到了山西省测绘工程院曾波、山西四建集团有限公司余广勤等的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于水平和时间有限，书中欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2016年3月

目录

单元1 测量学与建筑工程测量

1.1 测量学及其在建筑工程中的应用

1.1.1 测量学概述

1.1.2 工程测量的任务

1.1.3 建筑工程测量的内容、现状及其发展

1.2 测量的实质

1.2.1 地面点位的确定

1.2.2 测量的基准面和基准线

1.2.3 地面点的高程

1.2.4 地面点的平面位置

1.2.5 用水平面代替水准面的限度

1.3 测量工作概述

1.3.1 测量的基本工作与技能

1.3.2 测量工作基本原则和要求

1.3.3 测量误差概述

单元2 测量的基本工作

2.1 高程测量

2.1.1 高程测量概述

2.1.2 水准测量原理

2.1.3 水准测量的仪器及工具

2.1.4 水准仪的使用

2.1.5 水准测量方法

2.1.6 水准测量成果计算

2.1.7 微倾式水准仪的检验与校正

2.1.8 水准测量误差分析及注意事项

*2.1.9 自动安平水准仪、精密水准仪和数字水准仪简介

2.2 角度测量

2.2.1 角度测量原理

2.2.2 经纬仪的构造

2.2.3 经纬仪的使用

2.2.4 水平角测量方法



- 2.2.5 水平角测量误差分析及注意事项
- 2.2.6 垂直角测量方法
- 2.2.7 经纬仪的检验与校正
- *2.2.8 电子经纬仪和激光经纬仪简介
- 2.3 水平距离测量
 - 2.3.1 钢尺量距
 - 2.3.2 视距测量
 - 2.3.3 电磁波测距
- 2.4 坐标测量
 - 2.4.1 直线定向
 - 2.4.2 坐标正算
 - 2.4.3 全站仪坐标测量
- 2.5 测量误差的分析与计算
 - 2.5.1 测量误差分析
 - *2.5.2 测量误差计算
- 单元3 控制测量
 - 3.1 控制测量概述
 - 3.1.1 控制测量的基本概念
 - 3.1.2 平面控制测量
 - 3.1.3 高程控制测量
 - 3.2 小地区控制测量
 - 3.2.1 平面控制测量
 - 3.2.2 高程控制测量
 - *3.2.3 工程测量数据自动化计算系统简介
 - *3.2.4 GPS 卫星定位技术
 - *3.2.5 北斗卫星导航系统简介
- 单元4 地形图的测绘与应用
 - 4.1 大比例尺地形图的基本知识
 - 4.1.1 地形图的比例尺
 - 4.1.2 地形图的图名、接合图表、图号和图廓
 - 4.1.3 地物、地貌在图上的表示方法
 - 4.2 大比例尺地形图的测绘
 - 4.2.1 纸质地形图的测绘
 - *4.2.2 数字化测图方法
 - 4.3 地形图的识读与应用
 - 4.3.1 地形图的识读
 - 4.3.2 地形图应用的基本内容
 - 4.3.3 地形图在工程建设中的基本应用
- 单元5 测设的基本工作
 - 5.1 测设的三项基本工作

- 5.1.1 施工测量概述
- 5.1.2 测设的三项基本工作
- 5.1.3 测设地面点平面位置的基本方法
- *5.1.4 圆曲线的测设
- 5.1.5 已知坡度线的测设
- 5.2 先进测量仪器在测设中的应用
 - 5.2.1 全站仪在测设中的应用
 - 5.2.2 GPS 动态(RTK)测量在测设中的应用
- 单元6 建筑施工测量及变形监测
 - 6.1 建筑施工测量
 - 6.1.1 建筑施工场地的控制测量
 - 6.1.2 民用建筑施工测量
 - 6.1.3 工业厂房施工测量
 - 6.1.4 构筑物(烟囱、水塔等)施工放样
 - 6.2 建(构)筑物的变形监测
 - 6.2.1 沉降观测
 - 6.2.2 位移观测
 - 6.2.3 倾斜观测
 - 6.2.4 裂缝观测
- *单元7 线路测量与桥梁施工测量
 - 7.1 概述
 - 7.1.1 线路测量概述
 - 7.1.2 桥梁施工测量概述
 - 7.2 中线测量
 - 7.2.1 中线交点的测设
 - 7.2.2 转向角的测定
 - 7.2.3 里程桩的测设
 - 7.3 纵、横断面图的测绘与土石方工程量的计算
 - 7.3.1 纵断面图的测绘
 - 7.3.2 横断面图的测绘
 - 7.3.3 土石方工程量的计算
 - 7.4 道路施工测量
 - 7.4.1 恢复中线测量
 - 7.4.2 施工控制桩的测设
 - 7.4.3 路基边桩的测设
 - 7.4.4 竖曲线的测设
 - 7.5 管道施工测量
 - 7.5.1 施工前的准备工作
 - 7.5.2 槽口放线
 - 7.5.3 施工工程中的中线、高程和坡度测设



7.5.4 顶管施工测量

7.6 桥梁工程施工测量

7.6.1 平面控制测量

7.6.2 高程控制测量

7.6.3 墩台定位测量

7.6.4 桥梁上部结构架设施工测量

参考文献

单元 1 测量学与建筑工程测量

学习目标

- (1) 熟悉建筑工程测量的任务。
- (2) 掌握测量学的基本概念、测量工作基本原则等基础知识。
- (3) 熟悉测量误差的基本概念。
- (4) 通过本单元的学习,顺利导入建筑工程测量任务并为完成任务打下必要的基础,同时达到增强学生学习兴趣、学习动力的目的。

具体问题

- (1) 为什么说工程建设离不开测量工作?
- (2) 什么是测量学?
- (3) 测量的实质是什么?
- (4) 测量的基本工作与技能是什么?
- (5) 什么是测量误差?
- (6) 测量工作的基本原则和基本要求有哪些?

教学建议

工作过程导向、任务驱动教学从“建筑工程测量”这个完整的工作任务开始,建议充分利用多媒体信息量大的特点与优势展开教学,注意发挥各级精品资源共享课程优质教学资源的作用,有条件时也可以安排学生去施工现场认识与感受“工程测量工作”。

测量误差也可以安排在完成高程测量任务(单元2中2.1节)或测量基本工作任务(单元2)之后学习。学习目标前3条建议在本课程全部教学任务完成后再考核学生。

基础知识

1.1 测量学及其在建筑工程中的应用

1.1.1 测量学概述

测量学是一门非常古老的学科。早在几千年前,中国、埃及等世界文明古国的人们,就

把测量技术应用于土地划分、河道整治及地域图测绘等。后来,随着科学技术的发展和社会的进步,逐步形成了一门完整而独立的学科——测量学,在我国又称为“测绘学”。作为时代的结晶,测绘科学与技术人们在认识自然、改造自然与发展生产力的过程中发挥了十分重要的作用。

测量学又是一门与时俱进、蓬勃发展的学科。它总是与时代高新科技完美结合,如望远镜广泛用于测绘仪器,照相机用于摄影测量,飞机和卫星作为影像获取平台,激光用于指向与测距,计算机用于测量数据处理、分析、管理与地图制图,以及卫星用于 GPS 导航定位等。所有这些空间技术、计算机技术、自动化技术、光电技术等把测绘技术推向前所未有的高度。现代测绘学科已是有着深奥理论和高新技术的重要学科,成为空间数据(地理信息)获取、地球科学和各类工程建设所不可缺少的科学与技术。

测量学还是一门内容体系比较庞大的学科。根据研究对象、应用范围和测量手段等的不同,测量学又可分为大地测量学、普通测量学、摄影测量学、工程测量学等学科。

大地测量学是以地球表面上一个较大的区域,甚至整个地球为研究对象,研究在地球表面广大区域内建立国家大地控制网,测定地球的形状、大小和研究地球重力场的理论、技术和方法的学科,为测量学的其他分支学科提供最基础的测量数据和资料。

普通测量学是研究地球表面局部区域(忽略地球曲率的影响,把该小区域内的投影球面直接作为平面看待)内测绘工作的基本理论、技术和方法的学科,主要是指用地面作业方法,将地球表面局部区域的地物和地貌绘成地形图和一般工程的施工测量。

摄影测量学是研究如何利用摄影像片来测定地物的形状、大小、位置并获取其他信息的学科,是目前我国测绘国家基本地形图的主要方法,多用于测绘城市基本地形图和大规模地形复杂地区的地形图。

工程测量学是研究各种工程建设中测量方法和理论的一门学科。它主要研究在各种工程、工业和城市建设以及资源开发各个阶段进行地形和有关信息的采集、处理、施工放样、变形监测、分析和预报的理论和技巧,以及与研究对象有关的信息管理和使用,为工程建设提供测绘保障。

在《测绘基本术语》中,测绘学的定义为:“测绘学是研究地理信息的获取、处理、描述和应用的学科。其内容包括:研究测定、描述地球的形状、大小、重力场、地表形态以及它们的各种变化,确定自然和人造物体、人工设施的空间位置及属性,制成各种地图和建立有关信息系统。”简单地说,测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面点的空间位置及其相互关系的学科。其主要任务是为科学研究和工程建设服务。

在科学研究方面,如研究地壳的升降、海岸线的变迁、地震预报以及地极周期性运动等都要用到测绘资料。

对工程建设而言,其基本任务包括测定和测设两个方面。

(1) 测定

测定是指使用测量仪器和工具,按照测量的有关原理和方法,将地球表面的地物和地貌绘制成地形图,为经济建设、国防建设和科学研究等服务。

地物是指地面上人工构筑物或自然形成的物体,如海洋、河流、湖泊、道路、房屋、桥梁等;地貌是指地面高低起伏的自然形态,如山地、丘陵、平原、河谷、洼地等。

(2)测设

测设是指使用测量仪器和工具,按照测量的有关原理和方法,将图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程,在实地标定出来,作为施工的依据,故又称为施工放样,它是工程设计与工程施工之间的桥梁。

1.1.2 工程测量的任务

工程测量包括各种建(构)筑物、道路、桥梁等工程在规划设计、施工和运营管理各阶段所进行的各项测量工作。其主要任务包括:

(1)测绘大比例尺地形图

把工程建设区域内的各种地面物体的位置、形状以及地面的起伏形态,依据规定的符号和比例尺绘制成地形图,为工程建设的规划设计提供必要的图纸和资料。

(2)施工测量

把图纸上已设计好的各种工程的平面位置和高程,按设计要求在地面上标定出来,作为施工的依据;配合施工进行各种施工标志的测设工作,确保施工质量;施测竣工图,为工程验收、日后扩建和维修提供资料。

(3)变形观测

对于一些重要工程,在施工和运营期间,为了确保安全,需要了解其稳定性,定期进行变形观测。同时可作为对设计、地基、材料、施工方法等的验证和起到提供基础研究资料的作用。

总之,测量工作贯穿于工程建设的整个过程,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量。这就要求任何从事工程建设的人员,都应掌握必要的测量知识与技能。

1.1.3 建筑工程测量的内容、现状及其发展

建筑工程测量是普通测量学在建筑工程中的应用,也是工程测量学中最基本的内容。

建筑业是专门从事土木工程、房屋建设、设备安装以及工程勘察设计工作的生产部门。其产品是各种工厂、矿井、铁路、桥梁、港口、道路、管线、住宅以及公共设施的建筑物、构筑物 and 设施,它是我国的支柱产业之一。在建筑业的发展过程中,建筑工程测量作出了应有的贡献,同时其技术水平也得到了很大的提高。目前,除常规测量仪器工具(如光学水准仪、光学经纬仪和钢尺等)在建筑工程测量中继续发挥作用外,现代的光电测量仪器(如电子水准仪、电子经纬仪和全站仪等)也正逐渐普及,提高了测量工作的速度、精度、可靠度和自动化程度。一些专用激光测量仪器设备,如用于大面积场地精确自动找平的激光扫平仪、用于地下开挖指向的激光经纬仪和用于高层建筑竖直投点的激光垂准仪等的应用,也为现代地下建筑和高大建筑的施工提供了更为高效、精准的测量技术服务。卫星定位测量技术,如全球定位系统(GPS)等,也逐渐被应用于建筑工程测量中,该技术作业时不受气候、地形和通视条件的制约,只需将卫星接收机安置在待定点上,接收卫星信号,就可测量出该点的三维坐标,这与传统测量技术相比是质的飞跃,目前在建筑工程测量中,一般用于大范围 and 长距离施工场地中的控制测量工作。计算机技术正在应用到测量数据处理、地形

图测绘以及测量仪器自动控制等方面,进一步推动了建筑工程测量从传统的手工方式向电子化、数字化、自动化和智能化方向发展。

1.2 测量的实质

1.2.1 地面点位的确定

地球表面上的点称为地面点。测量工作的实质就是确定地面点的空间位置。因为地球表面上的地物和地貌的形状可认为是由点、线、面构成,其中,点是最基本的单元,所以地面点位的确定是测量工作中最基本的问题。由于地球表面高低起伏不平,因此,地面点为三维空间的点,其空间位置须由3个量来确定,这3个量就是地面点在大地水准面上(一般是在参考椭球面上)的投影位置和该点到大地水准面的铅垂距离。

在高低起伏的地球自然表面上,地面点的位置通常以平面坐标和高程来表示。

1.2.2 测量的基准面和基准线

地球是一个南北极稍扁、赤道稍长、平均半径约为6 371 km的不规则椭球体。测量工作是在地球表面上进行的,而地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊及海洋等高低起伏不平的形态。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,为了解决投影计算问题,引入以下测量的基准面和基准线:

(1) 水准面

地球上自由静止的水面称为水准面,水准面有无数多个。

(2) 大地水准面

地球表面呈现高低起伏,测量学设想静止的平均海水面延伸穿过陆地与岛屿,形成一个封闭的椭球体曲面,称为大地水准面。大地水准面是唯一的,它是测量工作的基准面。其实,大地水准面也是一个复杂的不规则曲面,实际工作中,通常是以参考椭球面作为投影计算的基准面。

(3) 水平面

与水准面相切的平面,称为水平面。

(4) 铅垂线

地球表面物体的重力方向线,称为铅垂线。它是测量工作的基准线。

1.2.3 地面点的高程

(1) 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,也称绝对标高、海拔,一般简称高程,用 H 表示。如图1.1所示, H_A, H_B 分别为地面点 A, B 的绝对高程。

目前,我国采用的是“1985年国家高程基准”,它是以1952—1979年青岛验潮站观测

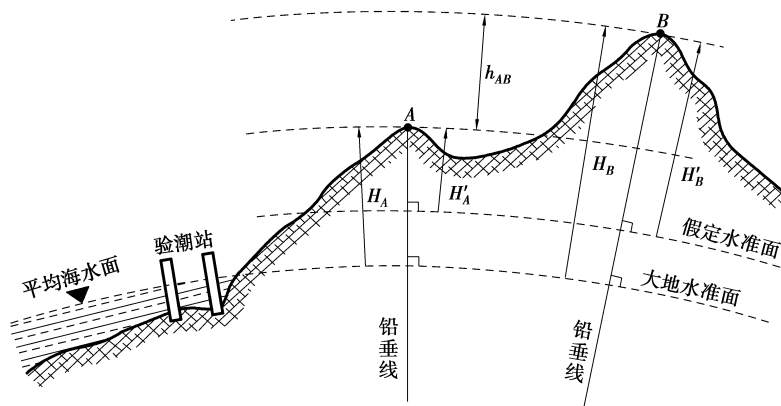


图 1.1 高程和高差

资料确定的黄海平均海水面,作为绝对高程基准面,并在青岛建立了国家水准原点,其高程为 72.260 m。

(2) 相对高程

当采用绝对高程有困难或不方便时,可假定一个水准面作为高程基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程,也称为相对标高,用 H' 表示。如图 1.1 所示, H'_A, H'_B 分别为地面点 A, B 的相对高程。

(3) 高差

两个地面点之间的高程之差,称为高差,用 h 表示。如图 1.1 所示, A, B 两点之间的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.1)$$

可见,高差的大小与起算面无关,但有正负之分。

1.2.4 地面点的平面位置

地面点的平面位置可用大地坐标或平面直角坐标表示。平面直角坐标又有高斯平面直角坐标和独立平面直角坐标两种。

* (1) 大地坐标

地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,可用大地坐标系统的经度和纬度来表示。如图 1.2 所示, O 为地球参考椭球面的中心, N, S 为北极和南极, NS 为旋转轴。通过旋转轴的平面,称为子午面;它与参考椭球面的交线,称为子午线。其中,通过原英国格林尼治天文台的子午线,称为首子午线。通过 O 点并且垂直于 NS 轴的平面,称为赤道面;它与参考椭球面的交线,称为赤道。

地面点 P 的经度是指过该点的子午面与首子午线之间的夹角,用 L 表示。经度从首子午线起算,往东自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,往西自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。地面点 P 的纬度是指过

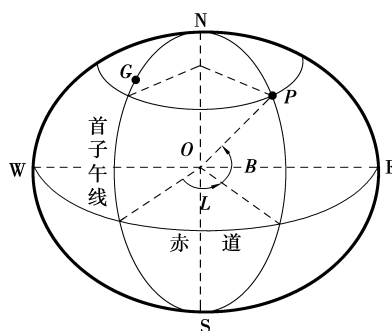


图 1.2 大地坐标

该点的法线与赤道面之间的夹角,用 B 表示。经度从赤道面起算,往北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬,往南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。我国位于地球上的东北半球,因此,所有点的经度和纬度均为东经和北纬,如北京某点的大地坐标为东经 $113^\circ 46'$,北纬 $23^\circ 08'$ 。

* (2) 高斯平面直角坐标

大地坐标是球面坐标,对测量计算和绘图来说,不便于直接进行各种计算。采用高斯平面直角坐标系,可将球面上的图形用平面表示出来,使测量计算和绘图变得容易。

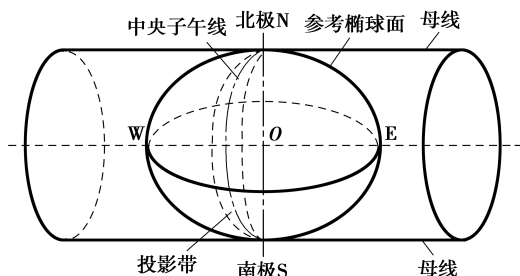


图 1.3 高斯平面直角坐标的投影

高斯投影的方法是将地球划分为若干带,然后将每带投影到平面上。投影带是从起始子午线开始,每隔经度 6° 划分为一带。如图 1.3 所示,自西向东将整个地球划分为 60 个带,带号从起始子午线开始,用阿拉伯数字 1, 2, 3, ..., 60 表示,东经 $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 为第 2 带,以此类推,直到第 60 带。位于各带中央的子午线,称为该带的中央子午线。第 1 带的中央子午线的经度为 3° ,第 2 带的中央子午线的经度为 9° ,任意带的中央子午线的经度为 L_0 ,它与投影带号 N 的关系为

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.2)$$

式中 N —— 6° 带的带号。

反之,若已知地面某点的大地经度为 L ,可计算该点所属的 6° 带的带号为

$$N = \text{Int} \left(\frac{L + 3}{6} + 0.5 \right) \quad (1.3)$$

式中 Int ——取整函数。

高斯投影是设想用一个平面卷成一个空心椭圆柱,横着套在地球参考椭球体的外面,使空心椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心,使地球参考椭球体上某一中央子午线与椭圆柱面相切。在圆形保持等角的条件下,将整个带投影到椭圆柱面上;然后将此椭圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平,并在该平面上定义平面直角椭圆柱坐标。

在由高斯投影而成的平面上,中央子午线和赤道均为直线,两者相互垂直。以中央子午线为坐标系纵轴 x ,以赤道为横轴 y ,其交点为 O ,便构成此带的高斯平面直角坐标系,如图 1.4(a) 所示。在这个投影面上 P, Q 点的位置,都可用平面直角坐标 x, y 确定。此坐标与地理坐标的经纬度 L, B 是对应的,它们之间有严格的数学关系,可以互相换算。

中国位于北半球, x 坐标均为正值,而 y 坐标则有正有负,图 1.4(a) 中是 P 点位于中央子午线以西,其 y 坐标值为负值。对于 6° 带的高斯平面直角坐标系,最大的 y 坐标负值为 -365 km 。为避免 y 坐标出现负值,规定将 x 轴向西平移 500 km ,如图 1.4(b) 所示。此外,为表明某点位于哪一个 6° 带的高斯平面直角坐标系,又规定 y 坐标值前加上带号。例如,某点坐标为 $x = 3\ 263\ 245 \text{ m}$, $y = 21\ 534\ 357 \text{ m}$,表示该点位于第 21 个 6° 带上,距赤道

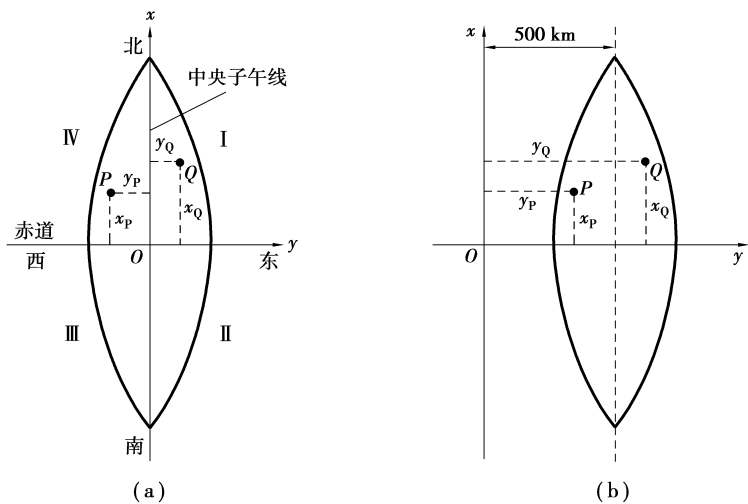


图 1.4 高斯平面直角坐标系

3 263 245 m,距中央子午线 34 357 m(去掉带号后的 y 坐标减 500 000 m,结果为正表示该点在中央子午线东侧,若结果为负表示该点在中央子午线西侧)。

在投影精度要求较高时,可把投影带划分得再小一些,如采用 3° 分带(甚至 1.5° 分带),共分为 120 带,第 n 带的中央子午线经度 L'_0 为

$$L'_0 = 3n \tag{1.4}$$

式中 n —— 3° 带的带号。

反之,若已知地面某点的大地经度为 L ,可计算该点所属的 3° 带的带号为

$$n = \text{Int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \tag{1.5}$$

(3) 独立平面直角坐标

在小地区的工程测量中,可将这个小区域(一般半径不大于 10 km 的范围内)的水准面近似看作水平面,并在该面上建立独立平面直角坐标系,用平面直角坐标来表示地面点的平面位置。

如图 1.5 所示,测量上选用的独立平面直角坐标系,规定南北方向为纵坐标轴,记作 x 轴, x 轴向北为正,向南为负;以东西方向为横坐标轴,记作 y 轴,规定向东为正,向西为负。纵、横坐标轴的交点为坐标系的原点,记作 O 点。由于测量坐标系 x 轴、 y 轴的位置正好与数学坐标系相反,为了使数学中的计算公式能够在测量上直接应用,测量坐标系的象限编号顺序也与数学坐标系相反,即从北东方向开始,按顺时针方向编号。为了避免坐标值出现负值,坐标原点 O 一般选在测区的西南角。

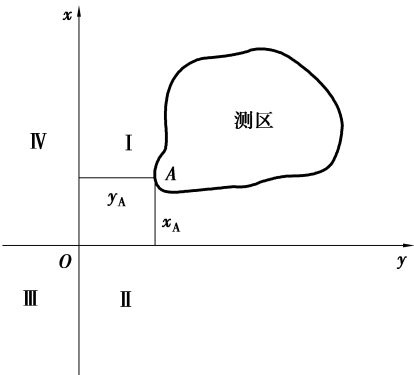


图 1.5 平面直角坐标系

综上所述,只要知道地面点的 3 个量,即 x, y, H ,就可以确定地面点的空间位置。

1.2.5 用水平面代替水准面的限度

如前所述,在小测区进行测量时可把地球面的投影面看作平面,用平面直角坐标表示地面点在投影面上的位置。下面讨论用水平面代替水准面可以容许的范围。

(1) 地球曲率对水平距离的影响

如图 1.6 所示, A, B, C 为地面点, 它们在大地水准面上的投影为 a, b, c , 切于该区域 a 点的水平面上的投影是 a, b', c' 。 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 ΔD 就是用水平面代替水准面对距离的影响。由图 1.6 可得

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \tan \theta - R\theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1.6)$$

根据三角函数的级数公式: $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$ 。因 θ 角很小, 只取其前两项, 代入式(1.6)得

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

以 $\theta = \frac{D}{R}$ 代入上式, 得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.7)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1.8)$$

以地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 D 代入式(1.8), 可得到如表 1.1 所列的结果。

表 1.1 地球曲率对水平距离的影响

D/km	$\Delta D/\text{cm}$	$\Delta D/D$
10	0.82	1:1 200 000
20	6.57	1:304 000
50	103	1:48 500

由以上数据可知, 当水平距离为 10 km 时, 以水平面代替水准面所产生的误差为距离的 1:1 200 000。目前, 最精密的距离丈量, 其容许相对误差为 1:1 000 000。因此, 可得出结论: 在半径为 10 km 的区域内, 地球曲率对水平距离的影响可忽略不计。

(2) 对水平角的影响

从球面三角学可知, 球面上三角形内角之和比平面上相应的三角形内角之和多出一个球面角超 ε , 如图 1.7 所示。其值可根据多边形面积求得, 即

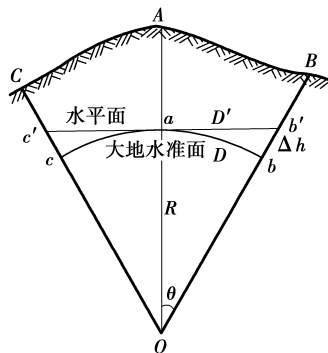


图 1.6 地球曲率对水平距离的影响

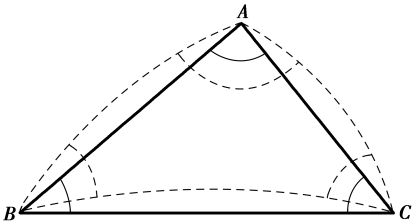


图 1.7 球面角超

$$\varepsilon = \frac{P}{R^2} \rho \tag{1.9}$$

式中 ε ——球面角超(");
 P ——球面多边形面积;
 ρ ——206265";
 R ——地球半径。

表 1.2 为水平面代替水准面对水平角的影响。以球面上不同的面积代入式(1.9), 求出球面角超, 列入表 1.2 中。

计算结果表明: 当测区范围在 100 km² 时, 水平面代替水准面对水平角的影响仅为 0.51", 在普通测量工作中可忽略不计。

表 1.2 水平面代替水准面对水平角的影响

球面面积/km ²	$\varepsilon/ (")$	球面面积/km ²	$\varepsilon/ (")$
10	0.05	100	0.51
50	0.25	500	2.54

(3)对高程的影响

如图 1.6 所示, 地面点 B 的高程为 H_B , 用水平面代替水准面后, B 点的高程为 H_B' , 其差值 Δh 即为用水平面代替水准面对高程的影响。由图可得

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

则
$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

前面已经证明了 D 与 D' 相差很小, 可用 D 代替 D' , 同时 Δh 与 R 比较, Δh 很小, 可忽略不计。因此, 上式可改写为

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1.10}$$

以地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$ 及不同的距离 D 代入式(1.10), 可得到如表 1.3 所列的结果。

表 1.3 地球曲率对高程的影响

D/ km	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h/ \text{cm}$	0.08	0.31	2.0	7.8	31	71	126	196