

高等学校统编教材

工程测量

ENGINEERING SURVEY

周文国 郝延锦 主编



测绘出版社

TB22/50

2009

高等学校统编教材

工程测量

Engineering Survey

周文国 郝延锦 主编

测绘出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本教材主要根据土木工程专业、建筑环境与设备工程专业、工程管理专业、采矿工程专业等非测绘工程专业的教学大纲和专业特点进行编写,同时还考虑了土木工程及采矿工程等工程类技术人员的自学及参考。主要讲述测量基本知识、水准测量、角度测量、距离测量、测量误差基本知识、控制测量、全站仪和全球导航卫星系统、大比例尺地形图测绘与应用、建筑施工测量、线路施工测量、桥梁与道路施工测量、生产矿井测量、地质勘探测量等内容。本教材的各章节例题均选自教师实践教学过程中积累的实测资料,在各章均配有一定数量的习题与思考题,供广大读者参考使用。

本教材涵盖土木类、地矿类、市政工程类等专业的特有测绘内容,可作为土木工程、采矿工程、地质工程、工程管理、环境工程等专业教学用书,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/周文国,郝延锦主编. —北京:测绘出版社,2009.12

ISBN 978-7-5030-1951-7

I. 工… II. ①周…②郝… III. 工程测量 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 211765 号

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

责任编辑	田 力	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍 李 艳
出版发行	测 绘 出 版 社				
社 址	北京西城区三里河路 50 号	邮政编码	100045		
电 话	010—68531160(市场营销)		010—83543974 68512386(发行部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.sinomaps.com		
印 刷	北京华正印刷有限公司	经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm				
印 张	17.25	字 数	430 千字		
版 次	2009 年 12 月第 1 版	印 次	2009 年 12 月第 1 次印刷		
印 数	0001—4000	定 价	36.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-1951-7/P·453

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

本书编委会名单

主编：周文国 郝延锦

副主编：宁永香 孙国庆 刘小阳

编委：孙彩敏 赵亚红 马晓鹿

前言

许多高等院校都设置有土木工程、工程管理、建筑环境与设备工程、采矿工程、地质工程等专业,考虑到不同专业学习工程测量课程的不同特点,我们根据高等院校土木类、地矿类等课程教学大纲的要求,并考虑各专业的实际情况,专门组织了几所兄弟院校有经验的教师,编写了本教材。主要作为土木工程、建筑环境与设备工程、工程管理、采矿工程、地质工程等非测绘工程专业的教学用书,同时也可作为相关工程技术人员的参考书。

本书在简要阐述该学科基本理论的同时,注重理论与实践相结合,并着重培养学生分析问题与解决实际问题的能力。目前测绘科学技术发展迅猛,测绘技术手段不断改进,测绘科技现代化水平不断提高。特别是 GPS、全站仪、三维激光扫描仪等新设备的发展和普及,测量精度和测绘工作效率大大提高,为了适应现代测绘教育的需要,我们增加了一定篇幅的现代测绘技术,如对全站仪、GNSS、数字测图技术、信息化成图技术(三维立体扫描技术)等现代测绘技术做了详细介绍;本书重点突出实践性,各章节例题均选自教师实践教学过程中积累的实测资料;在各章均配有数量一定的习题与思考题,供广大读者参考使用;本教材对测量的限差要求,均采用我国最新规范标准,与测绘生产实际接轨紧密。在本书的编写过程中,作者收集了大量的资料,并借鉴了同类教材的相关内容。在总结实践经验的基础上,注重体现高等教育的理论知识够用为度,重点在于实践、实际、实用的特点。

本书共十六章,其中第一章、第七章由华北科技学院周文国教授编写,第二章、第六章由华北科技学院孙国庆副教授编写,第三章、第五章、第十六章由防灾科技学院的刘小阳编写,第四章、第九章由华北科技学院孙彩敏编写,第八章、第十章由华北科技学院赵亚红编写,第十一章、第十二章由太原理工大学阳泉学院宁永香(副教授)编写,第十三章、第十四章由太原理工大学阳泉学院马晓鹿编写,第十五章由华北科技学院郝延锦教授编写。全书由周文国、郝延锦统稿,并对文字内容进行了校核与修改。

为了便于教师教学和学生复习,我们将本书内容制成了 Power Point 格式的电子教案,并免费为读者提供,编者邮箱为: hkch2005@126.com。限于水平,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。并将意见或建议发到我们的邮箱,以便修订完善。

编者

2009年8月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1-1 测绘学与工程测量概述	1
§ 1-2 地球的形状和大小	4
§ 1-3 测量坐标系与地面点位的确定	5
§ 1-4 用水平面代替水准面的限度	9
§ 1-5 测量工作概述	10
第二章 水准测量	13
§ 2-1 概 述	13
§ 2-2 水准测量原理	13
§ 2-3 水准仪和工具	14
§ 2-4 水准测量的施测与记录	20
§ 2-5 水准测量的内业数据处理	26
§ 2-6 水准仪的检验与校正	30
§ 2-7 精密水准仪和电子水准仪	32
第三章 角度测量	37
§ 3-1 角度测量原理	37
§ 3-2 光学经纬仪的结构	38
§ 3-3 经纬仪的使用	42
§ 3-4 水平角观测方法	43
§ 3-5 竖直角观测方法	46
§ 3-6 光学经纬仪的检验与校正	48
§ 3-7 电子经纬仪	52
第四章 距离测量	56
§ 4-1 钢尺量距	56
§ 4-2 视距测量	61
§ 4-3 电磁波测距	63
第五章 测量误差的基本知识	67
§ 5-1 概 述	67
§ 5-2 评定精度的指标	70
§ 5-3 误差传播定律	72
第六章 控制测量	79
§ 6-1 概 述	79
§ 6-2 直线定向	82
§ 6-3 平面控制测量计算原理	84

§ 6-4	导线测量	86
§ 6-5	交会测量	94
§ 6-6	三角高程测量	98
第七章	全站仪与全球导航卫星系统	102
§ 7-1	全站仪基本结构	102
§ 7-2	全站仪的使用	104
§ 7-3	全球导航卫星系统的产生、发展与组成	107
§ 7-4	全球导航卫星系统的基本原理	110
§ 7-5	GPS 测量实施与数据处理	117
第八章	大比例尺地形图的测绘	121
§ 8-1	地形图基本知识	121
§ 8-2	地物与地貌的表示方法	126
§ 8-3	大比例尺地形图的测绘	131
§ 8-4	地形图的测绘方法	138
§ 8-5	成果的检查与图幅整饰	140
第九章	数字化测图方法	142
§ 9-1	数字化测图概述	142
§ 9-2	外业数据采集	144
§ 9-3	数字测图内业	150
§ 9-4	地图数字化	155
§ 9-5	摄影测量与遥感影像成图	156
§ 9-6	三维激光扫描成图	158
第十章	地形图应用	161
§ 10-1	地形图应用的基本内容	161
§ 10-2	地形图在工程设计中的应用	163
§ 10-3	数字地形图在工程中的应用	166
第十一章	施工测量基本原理	170
§ 11-1	施工测量概述	170
§ 11-2	测设的基本工作方法	172
第十二章	建筑施工测量	180
§ 12-1	施工控制网的建立	180
§ 12-2	民用建筑施工测量	184
§ 12-3	工业建筑施工测量	188
§ 12-4	高层建筑施工测量	194
§ 12-5	建筑物的变形观测	196
§ 12-6	竣工总平面图的编绘	202
§ 12-7	激光水准仪与激光墨线仪	204
第十三章	线路施工测量	208
§ 13-1	线路施工测量概述	208

§ 13-2	线路中线测量	208
§ 13-3	圆曲线测设	211
§ 13-4	缓和曲线测设	214
§ 13-5	线路的纵横断面测量	217
第十四章	桥梁与隧道施工测量	221
§ 14-1	桥梁施工测量	221
§ 14-2	隧道施工测量	224
第十五章	生产矿井测量	231
§ 15-1	概 述	231
§ 15-2	矿井联系测量	232
§ 15-3	井下平面与高程控制测量	241
§ 15-4	矿井生产施工测量	247
§ 15-5	贯通测量	252
第十六章	地质勘探工程测量	259
§ 16-1	地质勘探工程测量的概述	259
§ 16-2	勘探工程测量	259
§ 16-3	地质剖面测量	263
§ 16-4	地质填图测量	265
参考文献		267

第一章 绪 论

§ 1-1 测绘学与工程测量概述

一、测绘学的基本内容及作用

测绘科学是一门研究如何确定地球的形状和大小及地面、地下和空间各种物体的几何形态及其空间位置关系的科学,为人类了解自然、认识自然和能动地改造自然服务。其任务概括起来主要有三个方面:一是精确地测定地面点的位置及地球的形状和大小;二是将地球表面的形态及其他相关信息制成各种类型的成果、像片、图件和其他资料;三是进行经济建设和国防建设所需要的其他测绘工作,如地籍测量、城市规划测量、GPS 导航图测绘等。测绘被广泛用于陆地、海洋和空间的各个领域,对国土规划整治、经济和国防建设、国家管理和人民生活都有重要作用,是国家建设中的一项先行性、基础性工作。在各行各业中起着非常重要的作用。

在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是最重要的基础信息之一。例如以地形图为基础,补充农业专题调查资料编制的各种专题地图,可以从中了解到各类土地利用现状,土地变化趋势,了解到交通、工业、农田、林地、城镇建设等内容,是规划的重要依据。

在各种工程建设中,测绘是一项重要的前期工作。无论是公路、铁路,还是各种大中小型建筑施工,在设计之前都要求提供准确无误的地形图,以便作为设计的依据。即使在工程施工中,为了保证施工精度和质量,还需进行施工测量,因而是各种工程建设中的一个重要组成部分。

在军事活动以及国防建设中,军事测量和军用地图的作用更是特别重要,例如导弹、各种空间武器、人造卫星、航天器的发射等,要保证其精确入轨,除了应测算出发射点和目标的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。另外,国家陆海边界和其他管辖区的精确测绘,对保卫国家领土完整也具有重要意义。

在国家各级管理工作中,从工农业生产建设的计划组织和指挥,土地与地籍管理,交通、邮电、商业、文教卫生和各种公用设施的管理,直到社会治安等各个方面,测量和地图资料已成为不可缺少的重要工具。

在发展地球科学和空间科学等现代科学技术方面,测绘工作也起着非常重要的作用。对地表形态和地面重力的变化进行分析研究,可以探索地球内部的构造及其变化;对地表形态变化的分析研究,可以追溯各个历史时期地球大气圈、生物圈各种因素的变化;对地表及岩层的探测,用以预测预报地震的发生。

二、测绘学分类

测绘学研究内容广泛,它和其他科学一样都是随着人们生产实践的需要而产生并随着社会生产和科学技术的发展而发展的。测绘学是测绘科学技术的总称,随着测绘学研究的深入

和各学科研究的相互渗透,测绘学在发展中产生了许多分支并形成了相对独立的学科。一般可分为:大地测量学、地形测量学、工程测量学、摄影测量学、地图制图、海洋测绘等。

(一)大地测量学

大地测量学是以地球表面广大区域为研究对象,研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定地面点几何位置的学科。大地测量学中测定地球的大小,是指测定地球椭球的大小;研究地球形状,是指研究大地水准面的形状;测定地面点的几何位置,是指测定以地球椭球面为基准面的地面点的位置。其方法是将地面点沿法线方向投影于地球椭球面上,用投影点在椭球面上的大地纬度和大地经度表示该点的平面位置,用地面点至投影点的法线距离表示该点的大地高程。地面点的几何位置也可以用一个以地球质心为原点的空间直角坐标系中的三维坐标来表示。这时必须考虑地球的曲率,因而在理论和方法上严密复杂。

它为地球科学、空间科学、地震预报、陆地变迁、地形图测绘及工程施工提供控制依据。若只以国家三、四等控制为研究内容并为地形图测绘和施工测量提供控制基础,这种大地测量学特称为控制测量学。现代大地测量学包括几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学三个主要部分。大地测量为地形图和大型工程测量提供了基本的水平控制和高程控制,为空间科学技术和军事活动提供精确的点位坐标、距离、方位及地球重力场资料,为研究地球形状及大小、地壳变形及地震预报等科学问题提供重要数据。

(二)地形测量学

地形测量也叫做普通测量,是测绘科学的一个基础部分,它是研究测绘地形图的基本理论、技术和方法的一门学科。它通过航空摄影或陆地摄影测量内、外业或地形测量手段,按一定比例尺,依据测图规范要求,用规定的图式符号注记,将地面上的地形及有关数据、信息测绘于图面,制成地形图。我国国家地形图的基本比例尺系列规定为1:1万、1:2.5万、1:5万、1:10万、1:25万、1:50万、1:100万等。工程上常用的大比例尺地形图可分为1:500、1:1000、1:2000、1:5000等。

随着科学技术不断发展,目前采用数字化成图、遥感成图及三维立体扫描成图技术,大大加快了成图速度,提高了成图精度。

(三)工程测量学

工程测量学主要研究工程建设在勘察设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。按其性质可分为:规划、勘察设计阶段的控制测量和地形测量;施工阶段的施工测量和设备安装测量;营运、管理阶段的变形观测和维修保养测量。根据工程建设对象的不同分为:矿山测量、建筑施工测量、道路施工测量、水利测量等。

(四)摄影测量学

摄影测量学是利用摄影或遥感的手段获取被测物体的信息,经过对图像的处理、量测、判释和研究,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断其性质的一门学科。按获取像片的方法不同,分为地面立体摄影测量学和航空摄影测量学。摄影测量主要用于测制地形图,它的原理和基本技术也适用于非地形测量。自从出现了影像的数字化技术以后,被测对象可以是固体、液体,也可以是气体;可以是微小的,也可以是巨大的;可以是瞬时的,也可以是变化缓慢的。只要能够摄得影像,就可以使用摄影测量的方法进行量测。这些特性使摄影测量方法得到广泛的应用。用摄影测量的手段成图是当今大面积地形图测绘的主要方法。摄影测量发展很快,特别是与现代遥感技术相配合使用的光源,可以是可见光或近红外光,现在已发展为在

电磁波等其他范围内得到构像,其运载工具可以是飞机、卫星、宇宙飞船及其他飞行器。因此,摄影测量与遥感已成为非常活跃和富有生命力的一个独立学科。

(五)地图制图

主要研究地图及其制作的理论、工艺与应用的学科。它是运用测量成果或经过处理的信息,研究制版、印刷和出版地图等工艺的过程和方法。随着科学技术的发展,目前采用全站仪进行数据采集,运用计算机进行处理,并用 GIS 等软件自动完成地形图或其他专题图的绘制工作,大大提高了出图效率和精度。

地图一般可分为普通地图和专题地图。在地图制图技术方面,有机助制图、快速复印、地图缩微等。

(六)海洋测绘

主要研究海洋以及陆地水域及水下地貌的一门综合性测绘工作,是测绘科学发展的一个重要分支,包括海洋大地测量、水深测量、海岸地形测量、海洋重力测量、海洋工程测量和海图制图等内容。

随着社会发展和科学技术的进步,测绘的内容不断丰富,测绘的手段不断提高,分类也在不断完善。例如近年来又出现了卫星定位测量技术等先进测绘技术。

三、工程测量的基本任务

随着科学技术的日益发展,测绘科学在国民经济建设和国防建设中的作用也将日益增大。测绘工作常被人们称为是建设的尖兵,不论是国民经济建设还是国防建设,在每一项工程的勘测、设计、施工、竣工以及保养维修等阶段都离不开测绘工作,而且都要求测绘工作走在前面。建筑领域同样离不开测绘工作,从建筑工程的特点来看建筑工程测量的内容大体包括两个方面:测定和测设。测定是指利用测量仪器和工具,通过一系列的观测和计算,获得确定地面点位置的数据,或把将要建设区域的地形测绘成一定比例的地形图,供建筑工程规划和设计时使用;测设是指把图纸上设计好的建筑物或构筑物的位置,按照设计与施工的要求在地面上标定出来,作为施工的依据。具体来说,建筑工程测量有以下几方面的任务。

(1)测绘大比例尺地形图。把将要搞工程建设地区的各种地物(如房屋、道路、铁路、森林植被与河流等)和地貌(地面的高低起伏,如山头、盆地、丘陵与平原等)通过外业实际观测和内业数据计算整理,按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(构)的施工放样。将图纸上设计好的建筑物或构筑物,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)竣工总平面图的绘制。为了检查工程施工、定位质量等,在工程竣工后,必须对建(构)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)筑物交付使用时的验收以及以后的改(扩)建和使用中的检修提供必要资料。

(4)建筑物的沉降、变形观测。在建筑物施工和运营阶段,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,必须定期地对其位移、沉降、倾斜以及摆动进行观测,为鉴定工程质量、工程结构和地基基础研究以及建筑物的安全保护等提供资料。

总之,建筑工程测量在城乡规划、工业与民用建筑、土地、地下工程、给水排水、建筑学等专业领域有着重要的作用。所以从事工程建设的科技人员,必须掌握一定的测绘知识和技能。

§ 1-2 地球的形状和大小

一、地球的自然形体

地球自然表面的形状是极其复杂的,要将地面上的各种物体(称为地物)和地面的高低起伏的形态(称为地貌)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具有表形特征的点,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、地貌描绘出来而得到地形图。

通过长期的测绘实践和科学调查,人们发现地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。有高达 8 844.43 m 的珠穆朗玛峰,也有深达 11 022 m 的马里亚纳海沟。但这样的高低起伏相对于庞大的地球而言仍是微小的,其总的形状是接近于两极稍扁的椭球体。

二、水准面与大地水准面

我们可以把地球总的形状看做是被海水包围起来的球体,也就是设想有一个静止的海水面延伸穿过大陆和岛屿后形成封闭的曲面,把这个封闭的曲面称为水准面。水准面有无数多个,其中通过平均海水面的水准面叫做大地水准面,如图 1-1 所示,它是一个封闭的曲面,并处处与铅垂线垂直,它所包围的地球形体称为大地体。过水准面上任意一点与水准面相切的平面称为水平面。

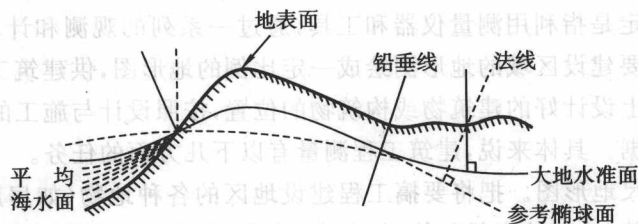


图 1-1 大地水准面

地球上的任一点,都同时受到两个力的作用,一个是地球自转产生的离心力,另一个是地心引力,这两个力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线,它是外业测量工作的基准线,而大地水准面又是测量外业工作的基准面。

由于地球内部质量分布不均匀引起铅垂线方向的变化,使大地水准面成为一个十分复杂而又不规则的曲面,在这个曲面上是无法进行数学计算的。在实用上,常用与其逼近的地球椭球体的表面代替大地水准面,以便把测量结果归算到地球椭球体上进行计算和绘图。

三、地球椭球体

测量工作是在地球表面上进行的,测量成果又需要归算到一定的平面上,才能进行计算与绘图,因此首先应当对地球的形状和大小有所了解。地球自然表面高低起伏,是一个表面形状极不规则的球体。可以近似采用椭球体来代替地球的基本形状,称为地球椭球体(如图 1-2 所

示),它与大地水准面不完全一致(椭球体上的法线与大地水准面上的铅垂线之间有偏差,称为垂线偏差 δ),致使有的地方稍高一些,有的地方稍低一些,但其差数一般不超过 ± 150 m,地球椭球体的形状和大小,由长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来表示。

我国 1952 年前采用海福特椭球,从 1953 年起采用克拉索夫斯基椭球。1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球参数,其数值为

$$a = 6\,378\,140 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,755.3 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{1}{298.257}$$

由于地球椭球体的扁率很小,十分接近于圆球,因此在建筑工程测量中可以当成圆球体来看待,半径采用与椭球等体积的球体半径,即取地球椭球体三个半径的平均值

$$R = \frac{a + a + b}{3} = 6\,371 \text{ km}$$

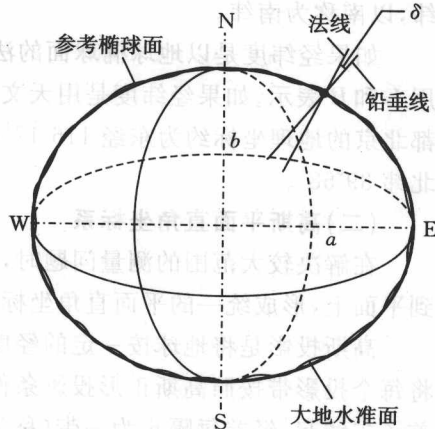


图 1-2 地球椭球

§ 1-3 测量坐标系与地面点位的确定

测量的基本工作是确定地面特征点的位置,在数学上,一个点的空间位置,一般用它在三维空间直角坐标系中的 x 、 y 、 z 三个量来表示,测量上也采用同样的方法来确定点的空间位置,即确定一点在平面上的位置(平面直角坐标)和该点到大地水准面的垂直距离(高程)。

一、平面坐标系

(一)大地坐标系(地理坐标系)

地面点在地球椭球面上的投影位置,通常是用经度和纬度表示的。那么某点的经纬度称为该点的地理坐标。

如图 1-3 所示,NS 为地球的自转轴,称为地轴。地球的中心 O 称为球心,地轴与地球表面的交点 N、S 分别称为北极和南极。通过地轴和地球表面上任意点 P 的平面称为 P 点的子午面。它与地球表面的交线称为子午线或经线。其中通过英国格林尼治天文台的子午面叫做首子午面,相应的子午线叫做首子午线。垂直于地轴的平面与地球表面的交线称为纬线。通过球心且垂直于地轴的平面称为赤道面,赤道面与地球表面的交线称为赤道。

过地面上任意一点 P 的子午面与首子午面所夹的二面角,称为 P 点的经度,用 L 表示,由首子午面向东量从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西量由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。过 P 点

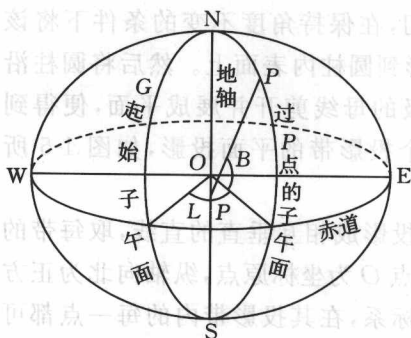


图 1-3 地理坐标系

的铅垂线与赤道平面的夹角称为 P 点的纬度, 用 B 表示, 其中由 $0^\circ \sim 90^\circ$, 在赤道以北称为北纬, 以南称为南纬。

如果经纬度是以地球椭球面的法线为依据, 用大地测量的方法来确定的称为大地经纬度, 用 L 和 B 表示。如果经纬度是用天文观测得到的, 称为天文经纬度, 用 λ 和 φ 表示。例如我国首都北京的地理坐标约为东经 $116^\circ 17'$, 北纬 $39^\circ 55'$; 河北省三河市的地理坐标约为东经 $117^\circ 04'$, 北纬 $39^\circ 58'$ 。

(二) 高斯平面直角坐标系

在解决较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, 通常采用高斯投影的方法来解决这一问题。

高斯投影是将地球按一定的经度差(如每隔 6°)划分成若干个投影带, 如图 1-4 所示, 然后将每个投影带按照高斯正形投影条件投影到平面上。投影带是从通过英国格林尼治天文台的首子午线起, 经差每隔 6° 为一带(称为 6° 带), 自西向东将整个地球分为 60 个投影带, 带号从首子午线起向东, 用阿拉伯数字 1、2、3、...、60 表示。位于各投影带中央的子午线称为该带的中央子午线, 第 N 个投影带的中央子午线的经度 L_0 为

$$L_0 = 6N - 3$$

式中, N 为投影带的带号。

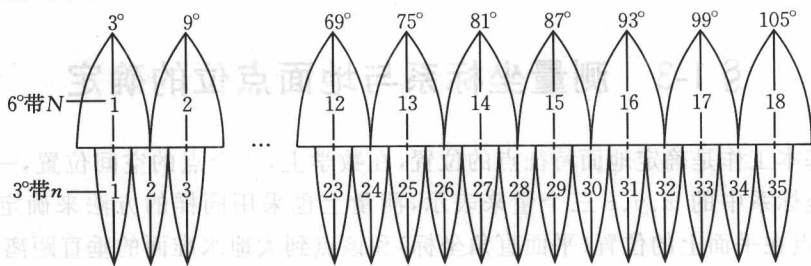


图 1-4 地球分带与高斯投影

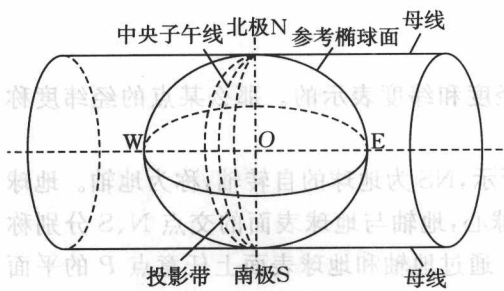


图 1-5 高斯投影

分带以后, 每一个投影带仍是一个曲面, 为了能用平面直角坐标表示点的位置, 必须将每个曲面按高斯正形投影条件转换成平面(基本方法是, 把地球当作圆球看待, 设想把一个与地球同直径的圆柱套在地球上, 使圆柱内表面与某个 6° 带的中央子午线相切, 在保持角度不变的条件下将该投影带全部投影到圆柱内表面上。然后将圆柱沿着通过南北两极的母线剪开并展成平面, 便得到该 6° 带在平面上的投影。用同样的方法可以得到其他每个投影带的平面投影, 如图 1-5 所示)。

投影以后, 在高斯平面上, 每带的中央子午线和赤道的投影成相互垂直的直线, 取每带的中央子午线为坐标纵轴(X 轴), 赤道为横轴(Y 轴), 它的交点 O 为坐标原点, 纵轴向北为正方向, 横轴向东为正方向, 从而组成投影带的高斯平面直角坐标系, 在其投影带内的每一点都可以用平面坐标 x 、 y 值来表示。由于我国位于北半球, 纵坐标 x 均为正值。为了使每带的横坐标 y 不出现负值, 在测量中规定每带的中央子午线的横坐标都加上 500 km, 也就是把纵坐标轴

向西移 500 km, 如图 1-6 所示。

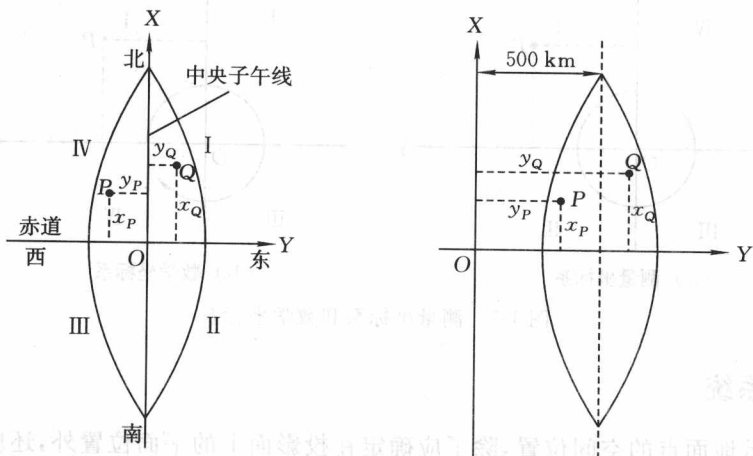


图 1-6 测量平面坐标值的构成

如上所述, 每带都有相应的直角坐标系。为了区别不同投影带内的点的坐标, 规定在横坐标值前加注投影带号, 这种增加 500 km 和带号的横坐标值称为通用坐标值; 未加 500 km 和带号的横坐标值称为自然坐标值。例如, Q 、 P 两点位于第 36 带内, 其横坐标的自然坐标值为

$$y_Q = +36\ 210.14\text{ m}$$

$$y_P = -41\ 613.07\text{ m}$$

将 Q 、 P 两点横坐标的自然值加上 500 km, 并加注带号后便得到横坐标的通用坐标值, 即

$$y_Q = 36\ 536\ 210.14\text{ m}$$

$$y_P = 36\ 458\ 386.93\text{ m}$$

在高斯平面直角坐标系中, 离中央子午线愈近的区域其长度变形愈小, 离中央子午线愈远的部分其长度变形愈大。在工程和城市测量中要求长度变形较小时, 应采用高斯投影 3° 带坐标系。3° 带是从东经 1°30' 起, 每隔经差 3° 划分一带, 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。3° 带中央子午线的经度 L'_0 可按式计算

$$L'_0 = 3n$$

式中, n 为 3° 带的带号。

我国规定分别采用 6° 带和 3° 带两种投影带。

(三) 测量坐标系与数学坐标系的区别和联系

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, 可以把球面当作平面来看待, 地面点在水平面内的铅垂投影位置, 可以用在该平面内的假定坐标系中的 x 、 y 、 z 三个量来表示。

测量中所用的平面直角坐标和数学中的相似, 只是坐标轴互易, 而象限顺序相反 (如图 1-7 所示)。测量工作中规定所有直线的方向都是从坐标纵轴北端顺时针方向度量的, 这样既不改变数学计算公式, 又便于测量上的方向和坐标计算。

坐标纵轴 X 通常与某子午线方向一致, 以它来表示南北方向, 指北者为正, 指南者为负; 以横坐标轴 Y 表示东西方向, 指东者为正, 指西者为负。平面直角坐标系的原点, 可以按实际情况选定, 通常把原点选在测区的西南角, 其目的是使整个测区内各点的坐标均为正值。

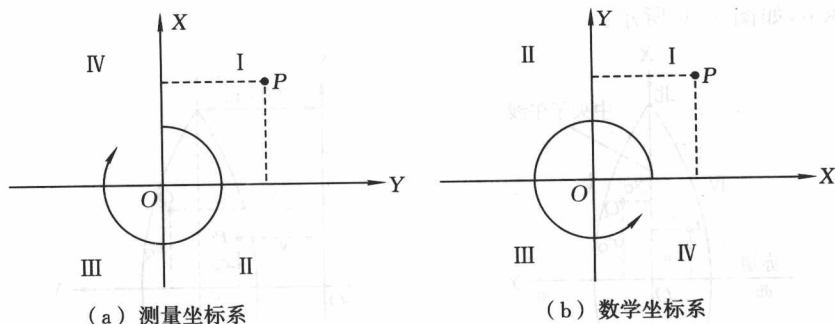


图 1-7 测量坐标系和数学坐标系

二、高程系统

如果要表示地面点的空间位置,除了应确定在投影面上的平面位置外,还应确定它的沿投影方向到基准面的距离。在一般测量工作中都以大地水准面作为基准面,把某点沿铅垂方向到大地水准面的距离,称为该点的绝对高程或海拔,简称高程,如图 1-8 所示,一般用符号 H 表示高程,如图中 A 、 B 点的绝对高程用 H_A 和 H_B 表示。如果是距任意一个水准面的距离,则称为相对高程,如 H'_A 和 H'_B 。我国的绝对高程是以青岛港验潮站历年记录的黄海平均海水面为基准,并在青岛市内一个山洞里建立了水准原点,其高程为 72.260 m(称 1985 国家高程基准),全国各地点的高程都以它为基准测算(停止使用 1956 年高程基准 72.289 m)。

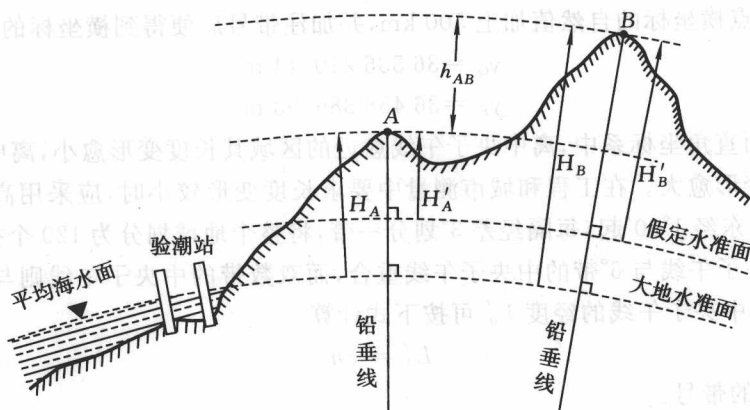


图 1-8 地面点的高程

地面上两点间的高程差称为两点间的高差,用 h 表示,高差有正、负之分。例如 A 、 B 两点的高差 h_{AB} 为

$$h_{AB} = H_B - H_A$$

当 h_{AB} 为正时,说明 B 点高于 A 点,当 h_{AB} 为负时说明 B 点低于 A 点,当 h_{AB} 为零时说明两点在同一水准面上(高程值相等)。

当使用绝对高程有困难时(无法与国家高程系统联测),可采用任意假定的水准面为高程起算面,即为相对高程或假定高程。在建筑工程中所使用的标高,就是相对高程,它是以建筑物地坪(± 0.000 面)为基准面起算的。

不论采用绝对高程还是相对高程,其高差值是不变的,均能表达两点间的高低相对关系。例如

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$$

三、WGS-84 坐标系

WGS-84 坐标系统的全称是 World Geodical System-84(世界大地坐标系-84),它是一个地心固坐标系统。WGS-84 坐标系统由美国国防部制图局建立,于 1987 年取代了当时 GPS 所采用的坐标系统——WGS-72 坐标系统,而成为 GPS 所使用的坐标系统。

WGS-84 坐标系的几何定义是:坐标系的原点是地球的质心, Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极(CTP)方向, X 轴指向 BIH1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点, Y 轴和 Z、X 轴构成右手坐标系,如图 1-9 所示。

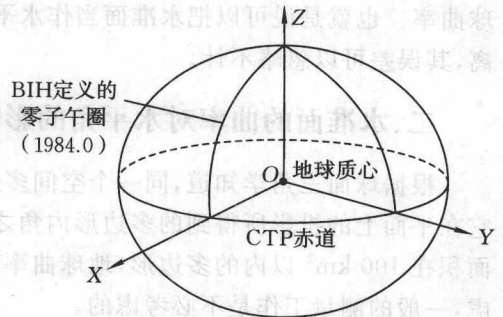


图 1-9 WGS-84 坐标系

§ 1-4 用水平面代替水准面的限度

在实际测量工作中,在一定的测量精度要求或测区面积不大的情况下,往往以水平面直接代替水准面,就是把较小一部分地球表面上的点投影到水平面上来确定其位置。那么在多大范围内才能允许用水平面代替水准面呢?下面就它对距离、角度和高程的影响进行分析(为了方便,假设地球是一个圆球体)。

一、水准面的曲率对水平距离的影响

如图 1-10 所示, $\widehat{DAE}$ 为水准面, $\widehat{AB}$ 是水准面上的一段弧, 弧的长度是 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(长度为 t)就代替了 $\widehat{AB}$ 弧, 则在距离方面就会产生误差 ΔS , 由图可知

$$\Delta S = AC - AB = t - S$$

式中

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

$$AB = S = R \cdot \theta$$

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, 所以可以略去五次以上各项, 并以

$$\theta = \frac{S}{R} \text{ 代入, 可以得到}$$

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

或者

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

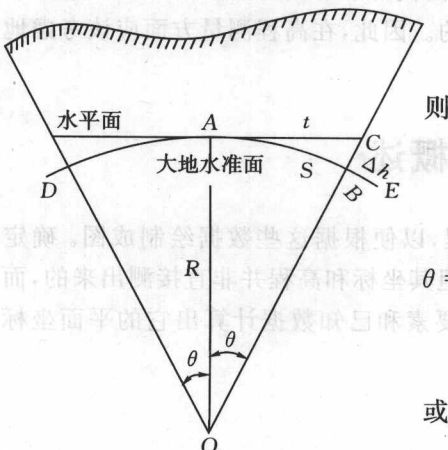


图 1-10 水平面代替大地水准面