

全国水利水电高职教研会规划教材

道路桥梁工程技术专业适用

工 程 测 量

主 编 张养安 杨旭江 刘宝锋

副主编 赵飞燕 钱伶俐 邹娟茹

主 审 李俊锋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会规划教材

工 程 测 量

主 编 张养安 杨旭江 刘宝锋
副主编 赵飞燕 钱伶俐 邹娟茹
主 审 李俊锋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

“工程测量”是公路运输类、土建施工类等专业的核心课程，是道路桥梁类专业学生必修的一门工程应用性与操作性均较强的专业核心课程。全书以工程测量技术为主线，共设置了10个项目，主要包括工程测量的基本知识和测量仪器的操作及使用方法，小区域控制测量，大比例尺地形图测绘与应用，线路测量，道路施工测量，以及桥涵工程、隧道工程的施工测量等。

本书可作为桥梁工程、隧道工程、水利水电工程、工业与民用建筑、给排水工程等专业的专科高专测量教材，也可供土木建筑类其他专业、中等专业学校相关专业的师生及工程技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

工程测量 / 张养安, 杨旭江, 刘宝锋主编. — 北京:
中国水利水电出版社, 2017.1
全国水利水电高职教研会规划教材
ISBN 978-7-5170-4673-8

I. ①工… II. ①张… ②杨… ③刘… III. ①工程测
量—高等职业教育—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第322136号

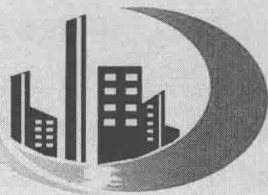
书 名	全国水利水电高职教研会规划教材 工程测量 GONGCHENG CELIANG
作 者	主 编 张养安 杨旭江 刘宝锋 副主编 赵飞燕 钱伶俐 邹娟茹 主 审 李俊锋
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.75印张 397千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	48.00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

qianyan



本书是在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的道路与桥梁专业规划教材,以学生技能培养为主线,充分体现实用性、实践性和创新性的特色,是教学面向生产的高职高专核心课程规划教材。

本书在编写中,考虑到高等职业技术教育的教学特点和要求,突出实用性、可操作性和注重实践技能培养的原则,共分为10个项目,主要包括测量的基本理论知识、常规测量仪器的操作使用、平面与高程控制的施测与计算、地形测绘的基本理论、技术和方法与地形图的应用、道路工程施工、隧道工程施工、桥梁工程施工等的测量基本知识和基本技能。培养学生利用测量相关仪器完成道路工程、隧道工程、桥梁工程等在勘测设计阶段、施工放样阶段和竣工验收阶段的测量能力,并为以后学习有关专业课程打好必要的基础。

本书编写人员及编写分工如下:杨凌职业技术学院张养安编写项目1(测量的基本知识)、项目2(水准测量);杨凌职业技术学院赵飞燕编写项目8(施工放样的基本工作);杨凌职业技术学院刘宝锋编写项目3(角度测量)、附录;安徽水利职业技术学院王芳编写项目4(距离测量与直线定向);山西水利职业技术学院张笑蓉编写项目5(全站仪及GNSS测量技术);杨凌职业技术学院邹娟茹编写项目6(小区域控制测量);河北工程技术高等专科学校杨晶编写项目7(地形图测绘与应用);长江工程职业技术学院钱伶俐编写项目9(线路测量);杨凌职业技术学院杨旭江编写项目10(道路施工测量)。

本书由张养安、杨旭江、刘宝锋担任主编,由赵飞燕、钱伶俐、邹娟茹担任副主编;由陕西测绘地理信息局高级工程师李俊锋担任主审;张养安负责全书统稿。

限于编写时间和编者水平,本书难免存在缺点及疏漏,敬请广大师生及读者批评指正。

编者

2016年6月

目 录

前言

项目 1 测量的基本知识	1
任务 1.1 工程测量概述	1
任务 1.2 地面点位的确定	2
任务 1.3 用水平面代替水准面的影响	7
任务 1.4 测量工作概述	9
任务 1.5 测量误差的基本内容	10
思考与练习	14
项目 2 水准测量	15
任务 2.1 水准测量概述	15
任务 2.2 水准测量器具及使用	17
任务 2.3 水准测量的方法	22
任务 2.4 微倾式水准仪的检验与校正	29
任务 2.5 水准测量误差	32
任务 2.6 自动安平水准仪和电子水准仪简介	34
思考与练习	37
项目 3 角度测量	40
任务 3.1 角度测量的基本原理	40
任务 3.2 角度测量的仪器及使用	41
任务 3.3 水平角观测	47
任务 3.4 竖直角观测	52
任务 3.5 光学经纬仪的检验与校正	56
任务 3.6 角度测量误差及注意事项	60
思考与练习	64
项目 4 距离测量与直线定向	66
任务 4.1 钢尺量距	66
任务 4.2 视距测量	70
任务 4.3 直线定向	73
任务 4.4 坐标方位角的推算与点位坐标的计算	77
思考与练习	79

项目 5 全站仪及 GNSS 测量技术	81
任务 5.1 全站仪测量技术	81
任务 5.2 GNSS 测量技术	88
思考与练习	93
项目 6 小区域控制测量	94
任务 6.1 控制测量概述	94
任务 6.2 导线测量	98
任务 6.3 交会测量	108
任务 6.4 高程控制测量	111
思考与练习	116
项目 7 地形图测绘与应用	118
任务 7.1 地形图测绘的基础知识	118
任务 7.2 大比例尺地形图的测绘	130
任务 7.3 地形图的应用	133
任务 7.4 数字测图简介	142
思考与练习	150
项目 8 施工放样的基本工作	151
任务 8.1 施工测量概述	151
任务 8.2 基本元素的放样	152
任务 8.3 平面点位放样	154
任务 8.4 直线放样	159
思考与练习	161
项目 9 线路测量	162
任务 9.1 线路测量概述	162
任务 9.2 线路的初测	163
任务 9.3 线路的定测	163
任务 9.4 线路纵横断面测量	169
任务 9.5 路基土方量计算	174
任务 9.6 平曲线的测设	175
任务 9.7 竖曲线的测设	193
思考与练习	197
项目 10 道路施工测量	199
任务 10.1 道路施工测量概述	199
任务 10.2 道路的复测	200
任务 10.3 路基路面施工放样	204
任务 10.4 桥、涵施工放样	208

任务 10.5 隧道工程测量	215
任务 10.6 道路竣工测量	239
思考与练习	242
附录	244
附录 1 测量常用度量单位	244
附录 2 测量仪器的使用、保养及测量资料整理	245
附录 3 测量常用计算器程序介绍	249
附录 4 工程测量主要技术要求	253
附录 5 测量控制点标志及标石的埋设规格	255
参考文献	258

项目1 测量的基本知识

【学习目标】

了解测量学的基本概念及学科分类，用水平面代替水准面对距离测量、高程测量和角度测量的影响，测量误差的基本内容；熟悉测量误差的来源和分类；掌握测量的基准面和基准线的含义，常用坐标系统的概念及应用，测量的基本工作和原则，相对误差的计算。

任务1.1 工程测量概述

1.1.1 测量学的研究对象

人类在地球上的活动总要有个生存、发展的场所，如土地及地面上的房屋就是最基本的场所。这些场所的建造和使用都离不开点位置的确定，离不开边界点、边界线的确定，离不开这些场所的面积及工程位置的测定。测量学正是适应人类生存、发展的需要和工程建设的定位技术需求而发展起来的。最初，人们利用绳子丈量土地，用指南针定向，随着望远镜的发明、摄影技术的应用，近代航空航天、激光、电子等技术的飞速发展以及在测绘工作中的广泛应用，测量学的发展方向越来越自动化、数字化和高精度化。

因此，测量学的研究对象是地球。地球物体的几何形状和大小都是由组成该物体的一些特定点的位置所决定的。测量学是研究地球的形状和大小，确定地球表面点的位置，以及如何将地球表面的地形、地貌等地理信息测绘成图的科学。

1.1.2 测量学的学科分类

由于测量学所涉及的研究对象、方式、手段各有区别，因而测量学在自身的发展中形成了特色各异的其他分支测量学科，这些分支学科是大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋测量学与地图学等。

1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球形状、大小、整体与局部运动和地表面点的几何位置，以及它们的变化理论和技术的学科。近年来，随着人造地球卫星技术的发展，大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 地形测量学

地形测量学是研究小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科。它基本上可以不考虑地球曲率的影响，把小区域内的地球表面当作水平面对待。

3. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影相片来测定物体的形状、大小和空间位置的学科。由于获得相片的方法不同，摄影测量与遥感学科分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、



水下摄影测量学和航天摄影测量学。

4. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设与自然资源开发中,在规划、勘测设计、施工与管理各个阶段进行测量工作的理论、方法与技术的学科。工程测量学是测绘科学技术在国民经济和国防建设中的直接应用。

5. 海洋测量学

海洋测量学是研究以海洋水体和海底为研究对象的测绘理论与技术的学科。

6. 地图学

地图学是研究模拟地图和数字地图的基础理论,设计、测绘、复制的技术方法,以及应用的学科。

1.1.3 工程测量的任务及作用

1. 测量学的任务

测量学的任务主要包括地形图的测绘和施工测量两方面。

(1) 地形图的测绘。地形图的测绘是指用测量仪器,经过测量和计算得到一系列测量数据,或将地球表面的地形按一定的比例缩小绘制成地形图,供经济建设、国防建设和科学研究使用。地形图的测绘也称为测定。

(2) 施工测量。施工测量是指将图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在实地标定出来,作为工程施工的依据。施工测量也称为测设。

除此之外,对高程建筑或其他重要建筑物、构筑物进行变形观测已经成为测量学的又一个重要任务。

2. 测量学在工程建设中的作用

测绘科学的应用范围非常广泛,在社会主义建设中起着十分重要的作用。在国防建设方面,必须应用地形图进行战略部署和战役的指挥工作;在经济建设方面,工程的勘测和设计需要测绘和使用地形图,工程施工需要测量工作做指导,工程竣工需要测绘竣工图,工程竣工使用阶段对一些大型或重要建(构)筑物还要进行变形观测;在科学研究方面,如空间科学技术、地壳变形、海岸变迁、地震预报等方面的研究都要使用地形图。测绘科学既要为房地产、灾害监视与调查、土地管理、环境保护文化教育等国民经济相关部门提供精确的测绘数据及地图资料,还要满足人民群众对各种地图的需要。

任务1.2 地面点位的确定

地面点位的确定需要建立坐标系,这与地球的形状和大小密切相关。

地球表面是极其不规则的,有高山、丘陵、平原、盆地、海洋等起伏变化,其中,珠穆朗玛峰的海拔为8844.43m,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达11034m,但这与地球的尺度相比还是很小的。就整个地球而言,海洋几乎占地球表面的71%,因此,把地球想象成一个处于静止状态的海水面延伸穿过陆地所包围的形体,这个处于静止状态的水面就是水准面,这个形状基本上代表了地球的形状。但由于水位时高时低,因此水准面有



无数个，在高度不同的水准面中选择一个高度适中的水准面作为平均海水面，称为大地水准面（图 1.1）。对不同的国家或地区来说，通过验潮站观测潮汐变化，确定平均海水面，作为该国家或地区的大地水准面。大地水准面包围的形体称为大地体，大地体代表了地球的形状和大小。

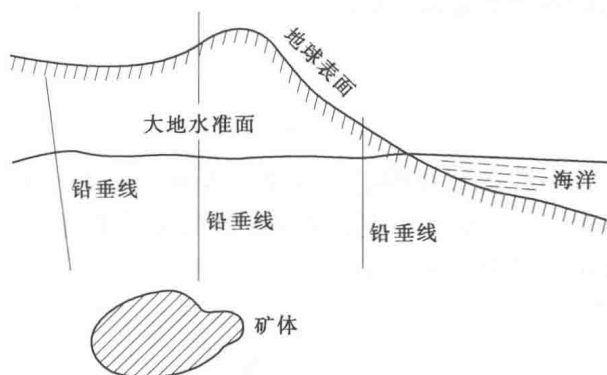


图 1.1 大地水准面

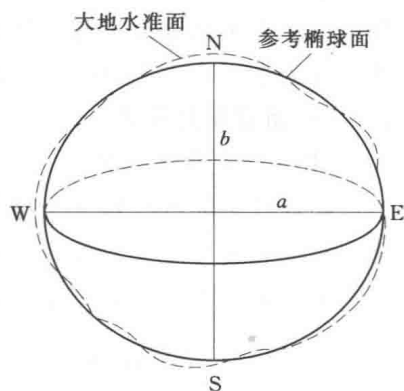


图 1.2 参考椭球面

1.2.1 测量工作的基准面和基准线

大地水准面的特点是处处与铅垂线方向正交，测量工作是通过安置测量仪器观测数据，并沿着铅垂线方向将这些数据投影到大地水准面上的，因此，大地水准面是测量工作的基准面，铅垂线是测量工作的基准线。

由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线方向不规则变动，使大地水准面成为一个不规则、复杂的曲面，不便于计算与制图。为此，人们用一个可以用数学公式表示又很接近大地水准面的一个椭球面来代替它，这个椭球面叫作参考椭球面（图 1.2）。参考椭球面所包围的形体叫作参考椭球体。参考椭球体是由椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成，其形状和大小由椭圆长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α 决定，扁率的计算式为

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

参考椭球面与大地水准面不完全一致。对精密测量工作来说，必须考虑两者的差异，要通过计算进行数据转换；对普通测量来说，由于精度要求不高，当测量范围不大时可不考虑两者之间的差异，同时，由于扁率很小，为方便计算，可以将地球看成圆球体来处理，经计算地球半径约为 6371km。

世界各国采用了适合本国的参考椭球。我国基于 1975 年国际椭球，建立了 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系；自 2008 年 7 月 1 日起，我国正式启用“2000 国家大地坐标系”。

1.2.2 地面点的坐标

坐标是表示地面点位置并从属于某种坐标系统的技术参数。根据用途不同，表示地面点位置的坐标系各有不同。



1.2.2.1 地理坐标系

地理坐标系采用经纬度来表示地面点的投影位置,它表示出物体在地面上的位置,能明确显示出地物的方位(经线与南北方向相应,纬线与东西方向相应);同时,由于地球的自然特性,可以利用经度差表示时差,利用纬度表示地理现象所处的地理带,研究气候、土壤、植被等空间分布的规律。

我国位于东半球和北半球,所以各地的地理坐标都是东经和北纬,如北京天安门广场的地理坐标为东经 $116^{\circ}23'$ 和北纬 $39^{\circ}54'$ 。

1.2.2.2 平面直角坐标系

1. 高斯平面直角坐标系

(1) 高斯投影原理。地理坐标是球面坐标,若直接用于工程建设规划、设计、施工,会给计算和测量带来很多不便。因此,需将球面坐标按一定的数学法则归算到平面上,即测量工作中所称的投影。在测量工作中常用的投影方法是高斯投影,如图 1.3 所示。

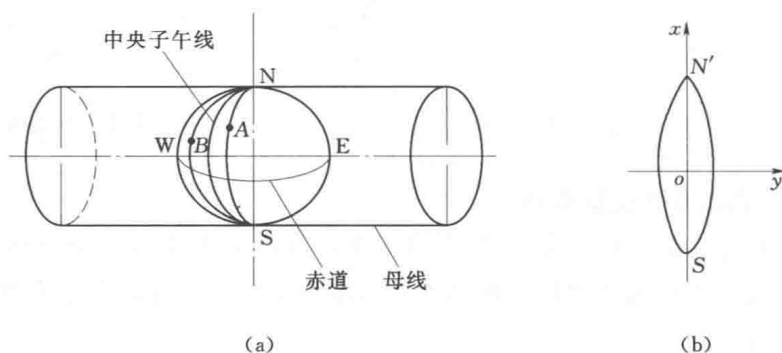


图 1.3 高斯投影

高斯投影是设想将一个平面卷成一个空心椭圆柱,把它横着套在地球椭球外面,使空心椭圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心,使地球椭球上某投影范围的中央子午线(经线)与椭圆柱面相切,使椭球面上的图形投影到椭圆柱面上后保持角度不变,如图 1.3 (a) 所示。将某区域全部投影到椭圆柱上后,再将椭圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面,并在该平面上定义平面直角坐标系,如图 1.3 (b) 所示。

(2) 高斯投影带。为了控制变形,高斯投影法采用分带投影的方法,常用的是 6° 带投影法和 3° 带投影法。

1) 6° 带投影法。 6° 带投影法是把地球按 6° 的经差分成 60 个带,从首子午线开始自西向东编号,东经 $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 为 1 带, $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 为 2 带,以此类推,如图 1.4 所示。位于各分带中央的子午线称为中央子午线,设其经度为 λ_0 ,则在东半球 N 带中央子午线的经度可按式 (1.1) 计算;反之,已知地面任一点的经度 λ ,要求该点所在的统一 6° 带编号,可按式 (1.2) 计算:

$$\lambda_0 = (6N - 3)^{\circ} \quad (1.1)$$

$$N = \text{Int}\left(\frac{\lambda}{6} + 1\right) \quad (1.2)$$

2) 3° 带投影法。投影中,除中央子午线和赤道为直线外,其余各纬线和经线均为曲

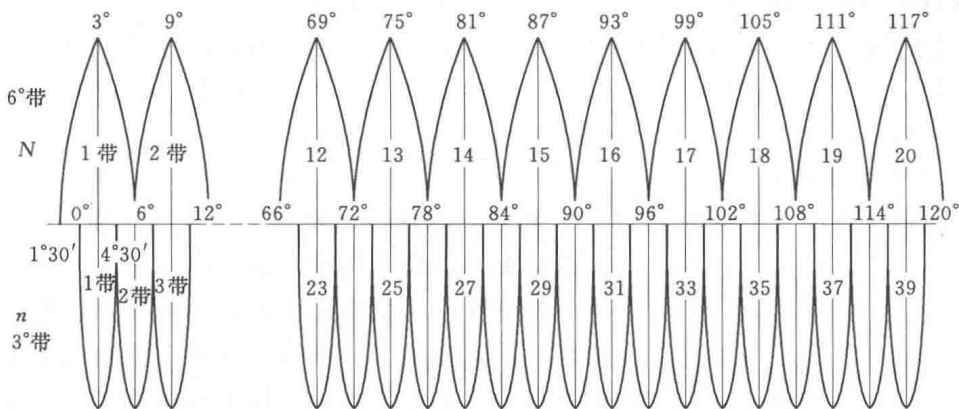


图 1.4 高斯投影分带

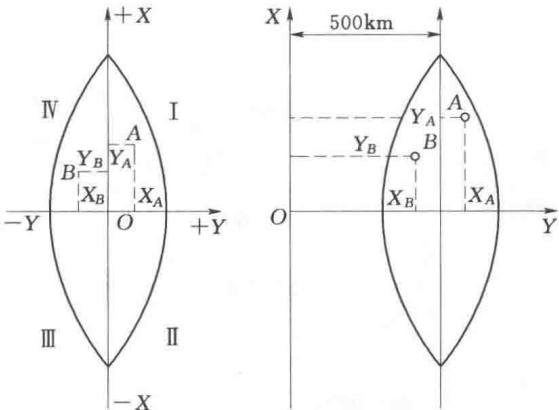
线，且距中央子午线距离越大，投影变形越大，因此为了控制变形，可以选择统一 3°带投影。3°带投影是从东经 1°30' 起，每隔经差 3°划带，整个地球分成 120 个带（图 1.4）。式（1.3）表示了 3°带中央子午线经度 λ'_0 与带号 n 的关系；已知任意一点的经度 λ ，要求该点所在的统一 3°带编号，可按式（1.4）计算：

$$\lambda'_0 = 3n^\circ \tag{1.3}$$

$$n = \text{Int}\left(\frac{\lambda}{3} + 0.5\right) \tag{1.4}$$

（3）高斯平面直角坐标系分析。投影后的中央子午线和赤道均为直线。由于在参考椭球面上，中央子午线与赤道相互垂直，所以经等角投影后的中央子午线与赤道也相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴（ x 轴），向北为正；赤道为坐标横轴（ y 轴），向东为正，中央子午线与赤道的交点为坐标原点 O ，组成的平面直角坐标系称为高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球， x 坐标值恒为正， y 坐标值则有正有负，当测点位于中央子午线以东时为正，以西时为负。图 1.5（a）中的 B 点位于中央子午线以西，其 y 坐标值为负值，与其形成对比的 A 点 y 坐标值为正值。对于 6°高斯平面坐标系，最大的 y 坐标负值约为 -365km。为了避免 y 坐标出现负值，我国统一规定将每带的坐标原点向西移 500km，也就是给每个点的 y 坐标值加上 500km，使之恒为正值，如图 1.5（b）所示。为了能正确区分



（a）高斯平面直角坐标系 （b）平移后的高斯平面直角坐标系

图 1.5 高斯平面直角坐标系



某点所处投影带的位置,规定在横坐标 y 值前加投影带号。如图 1.5 中 B 点位于高斯投影 6° 带, 18 带内 ($N=18$), 其实际横坐标值 $y_B = -105327.872\text{m}$, 按照上述规定值应改写为 $y_B = 18(-105327.872 + 500000) = 18394\ 672.128(\text{m})$; 反之, 由 y_B 可以反求出该点的真正坐标, 即 $394672.128 - 500000 = -105327.872(\text{m})$ 。

2. 独立平面直角坐标系

若测区范围较小 (半径小于 10m), 可将该测区的大地水准面看成平面, 直接将地面

点沿铅垂方向投影到水平面上, 用平面直角坐标系表示该点位置, 这种测区平面直角坐标系即独立平面直角坐标系。如图 1.6 所示, 测量上使用的平面直角坐标系与数学上的笛卡尔坐标系有所不同: 测量上将南北方向的坐标轴定为 x 轴 (纵轴), 自原点向北为正, 向南为负; 以东西方向的坐标轴为 y 轴 (横轴), 自原点向东为正, 向西为负; 象限按顺时针方向编号, 并规定所有直线的方向都是以纵坐标轴北端为准按顺时针方向度量。这样, 数学中的平面三角公式均可直接使用, 同时便于测量过程中的方向和坐标的计算。在

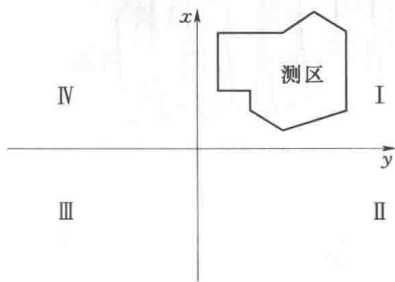
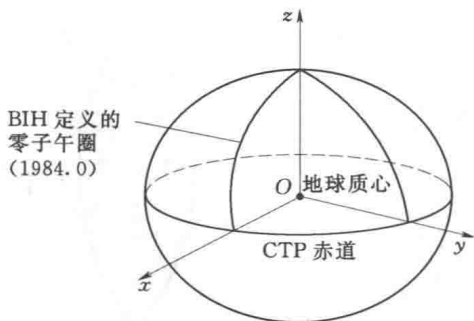


图 1.6 独立平面直角坐标系

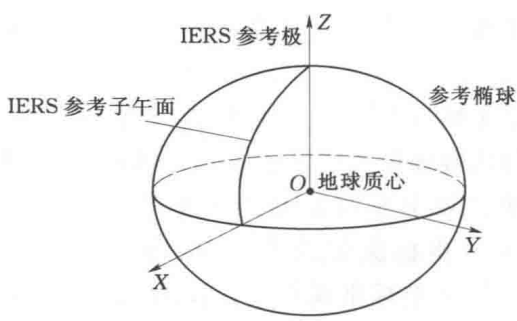
实际测量工作中, 通常将独立平面直角坐标系的原点, 选在测区的西南角, 使测区内的点的坐标均为正值。

1.2.2.3 地心坐标系

地心坐标系是以地球质心为原点建立的空间直角坐标系, 或以球心与地球质心重合的地球椭球面为基准面而建立的大地坐标系。地心坐标系通常分为地心空间直角坐标系 (以 x 、 y 、 z 为其坐标元素) 和地心大地坐标系 (以地心纬度 B , 地心经度 L , 高程 H 为其坐标元素)。目前, 我国在用的地心坐标系主要有美国的全球定位系统 (GPS) 采用的 WGS-84 坐标系和 2000 国家大地坐标系, 如图 1.7 所示。图中 BIH (Bureau International de l'Heure) 为国际时间局, IERS (International Earth Rotation Service) 为国际地球自转服务。



(a) WGS-84 坐标系



(b) 2000 国家大地坐标系

图 1.7 常见的地心坐标系



1.2.3 地面点的高程

建立高程坐标系,首先要选择一个基准面。在一般测量工作中都以大地水准面作为基准面。地面点沿铅垂线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,通常用 H 表示。图 1.8 中, A 、 B 两点的高程分别表示为 H_A 、 H_B 。大地水准面上的高程恒为零。

我国境内所测定的高程点是以青岛验潮站历年观测的黄海平均海面为基准面,并在青岛市观象山建立了水准原点。1956 年我国以青岛验潮站 1950—1956 年共 7 年的潮汐记录资料推算出的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.289m,以这个大地水准面为高程基准建立的高程系称为“1956 年黄海高程系”。20 世纪 80 年代,我国又以青岛验潮站 1953—1977 年共 25 年的潮汐记录资料推算出的大地水准面为基准引测出水准原点的高程为 72.260m,以这个大地水准面为高程基准建立的高程系统称为“1985 国家高程基准”。

地面点到任意水准面的铅垂距离,称为假定高程或相对高程,通常用 H' 表示。图 1.8 中, A 、 B 两点的相对高程分别表示为 H'_A 、 H'_B 。

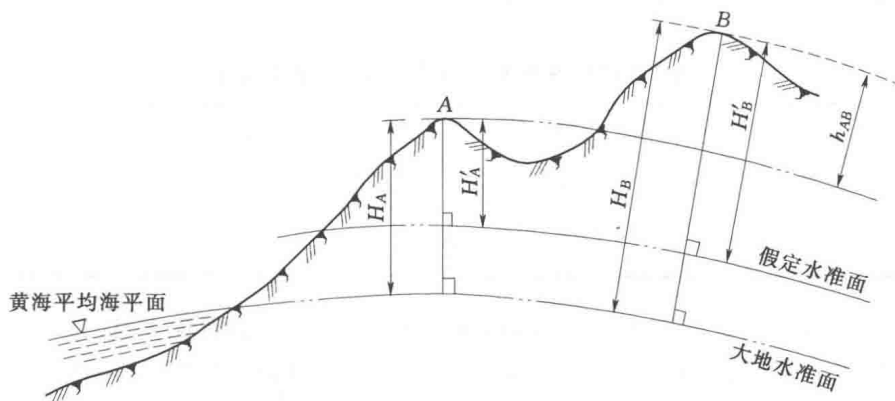


图 1.8 高程与高差

地面两点间的绝对高程或相对高程之差称为高差,用 h 表示。如 A 、 B 两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.5)$$

由此可见,地面两点之间的高差与采用的高程系统无关。

高差值有正、负。当 $h_{AB} > 0$ 时,表明 B 点高于 A 点;反之, B 点低于 A 点。当 $h_{AB} = 0$ 时,表明 B 点和 A 点的高程相等。

A 点相对于 B 点的高差与 B 点相对于 A 点的高差绝对值相等,符号相反。

任务 1.3 用水平面代替水准面的影响

小范围内测量时允许把该测区的水准面看成水平面,但随着测区面积的增大,由此产生的误差也增大。下面分析当测区范围究竟为多大时,用水平面代替大地水准面所产生的



距离、高程、角度变形才不超过测图误差的允许范围。

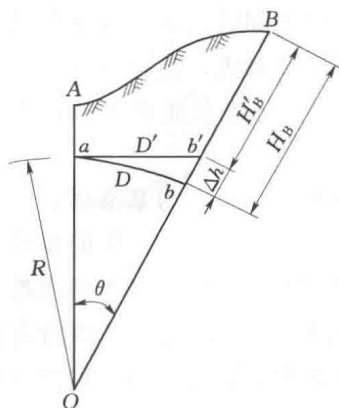


图 1.9 用水平面代替水准面对水平距离和高程的影响

1.3.1 对距离的影响

如图 1.9 所示,用该地区中心点的切平面代替大地水准面,则地面点 A、B 在大地水准面上的投影分别为 a、b,在水平面上的投影分别是 a'、b',D、D' 分别为地面两点在大地水准面上与水平面上的投影距离,可推导出用水平面代替水准面对距离的影响值:

$$\Delta D = D' - D \approx \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.6)$$

式中: ΔD 为距离误差, mm。

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

式中: $\frac{\Delta D}{D}$ 为相对误差。

地球半径 R 取 6 371km 时, ΔD 及 $\frac{\Delta D}{D}$ 的值见表 1.1。

表 1.1 用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

D/km	5	10	25	50	100
$\Delta D/\text{mm}$	1.0	8.2	128	1026	8212
$\frac{\Delta D}{D}$	1/5000000	1/1200000	1/195000	1/48000	1/12000

从表 1.1 可以看出,当距离 $D=10\text{km}$ 时,产生的距离相对误差为 1/1200000,这样小的误差,即使是精密量距,也是允许的。因此,在以 10km 为半径的圆面积之内进行距离测量时,可以用切平面代替大地水准面,而不必考虑地球曲率对距离的影响。

1.3.2 对角度的影响

从球面三角学可知,同一空间多边形在球面上投影的各内角和,比在平面上投影的各内角和大一个球面角超值 ϵ ,即

$$\epsilon = \rho \frac{S}{R^2} \quad (1.8)$$

式中: ϵ 为球面角超值, ($''$); S 为球面多边形的面积, km^2 ; R 为地球半径, km; ρ 为一弧度的秒值, $\rho=206265''$ 。

以不同的面积 S 代入式 (1.8),可求出球面角超值,见表 1.2。

表 1.2 水平面代替水准面的水平角误差

球面多边形面积 S/km^2	球面角超值 $\epsilon/('')$	球面多边形面积 S/km^2	球面角超值 $\epsilon/('')$
10	0.05	100	0.51
50	0.25	300	1.52



由表 1.3 可以看出,当面积 $S=100\text{km}^2$ 时,用水平面代替水准面所产生的角度误差仅为 $0.51''$,所以,在测量工作中,用水平面代替水准面引起的水平角误差可以忽略不计。

1.3.3 对高程的影响

如图 1.9 所示,可以推导出用水平面代替水准面对高程的影响值为

$$\Delta h = bB - b'B \approx \frac{D^2}{2R} \quad (1.9)$$

式中: Δh 为高差误差, mm。

当 $R=6\,371\text{km}$ 时, Δh 值见表 1.3。

表 1.3 用水平面代替水准面的高差误差

D/km	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	5
$\Delta h/\text{mm}$	0.8	3.1	13	28	50	80	1 960

Δh 是随距离平方的增加而增加的。当距离 $D=200\text{m}$ 时,就有 3.1mm 的高程误差,这是不允许的,因此,进行高程测量时,即使距离很近,也要考虑地球曲率对高程的影响。

任务 1.4 测量工作概述

1.4.1 测量的基本工作

测量工作的主要目的是确定点的坐标和高程。在实际测量工作中,地面点的坐标和高程一般不能直接测出,而是通过观测坐标和高程已知的点与坐标和高程未知的点之间的几何位置关系,然后计算出待定点的坐标和高程。

如图 1.10 所示,设 A 、 B 两点为坐标、高程已知点, C 为待定点。在 $\triangle ABC$ 中, AB 边的边长是已知的,只要测量出一条未知边 (AC 或 BC) 的边长和一个水平角 (α 或 β),就可以推算出 C 点的坐标。可见,测定地面点坐标的主要工作是测量水平角和水平距离;欲求 C 点的高程,则要

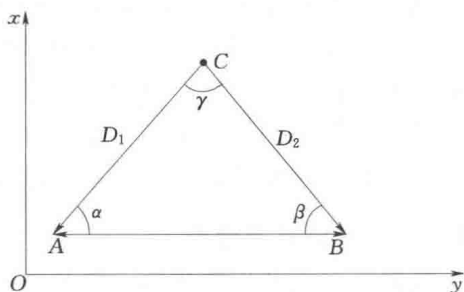


图 1.10 确定地面点位的测量工作

测量出高差 h_{AC} 或 h_{BC} ,然后推算出 C 点得高程,所以测定地面点的高程主要是测量高差。

综上所述,距离、角度、高差是确定地面点位置的三个基本要素,距离测量、角度测量和高差测量是测量的三项基本工作。

1.4.2 测量工作的基本原则

进行测量工作时,需要测定(或测设)许多特征点(也称碎部点)的坐标和高程。如果从一个特征点开始到下一个特征点逐点进行施测,虽可得到各点的位置,但由于测量中不可避免地存在误差,会导致前一点的误差传递到下一点,这样累加起来可能会使点位误



差达到不可容许的程度；另外，逐点传递的测量方法效率也很低。因此，测量工作必须按照一定的原则进行。

(1) “从整体到局部，先控制后碎部，由高级到低级”是测量工作应遵循的基本原则。也就是先在测区选择一些有控制作用的点（称为控制点），把它们的坐标和高程精确测定出来，然后分别以这些控制点为基准，测定出附近碎部点的位置。这种方法不但可以减少碎部点测量误差的累积，而且可以同时在各个控制点上进行碎步测量，提高工作效率。

(2) 在控制测量或碎部测量工作中都有可能发生错误，小错误影响成果质量，严重错误则造成返工浪费，甚至造成不可挽回的损失。为了避免出错，测量工作就必须遵循“前一步工作未作检核，不进行下一步工作”的原则。

任务 1.5 测量误差的基本内容

测量工作是由观测者使用一定的测量仪器和工具，采用一定的测量方法和程序，在一定的观测环境中进行的。对某一个未知量进行测定的过程，称为观测。对某量进行重复观测时，就会发现，这些观测值之间往往存在一些差异。例如，对某一段距离丈量若干次，量得的长度通常是互有差异。另一种情况是，如果已经知道某几个量之间应该满足某一理论关系，但当对这几个量进行观测后，也会发现实际观测结果往往不能满足应有的理论关系。例如，从几何上知道一平面三角形三个内角之和应等于 180° ，但如果对这个三角形进行观测，则三个内角观测值之和常常不等于 180° 。

大量实践表明，在测量工作中，当对某一未知量进行多次观测时，无论测量仪器多么精密，观测进行得多么仔细，观测值之间总是存在着差异。这种差异实质上表现为各次测量所得的数值与未知量的真实值之间的差值，称为测量误差。

测量误差是不可避免的，为了确保测量成果具有较高的质量，使产生的误差不超过一定限度，测量人员必须要充分了解影响测量结果的误差来源和性质，以便采取适当的措施限制和减小误差的产生；同时要掌握处理误差的理论和方法，以便合理消除偏差并取得合理的数值。优秀的测量员不仅要能进行熟练的测量，还应具有对误差情况综合分析，能恰当地选择和应用与作业目的要求相适应的测量方法的能力。

1.5.1 测量误差及分类

按测量误差产生的规律，测量误差分为系统误差和偶然误差两类。

1. 系统误差

在相同的观测条件下作一系列的观测，如果误差在大小、符号上表现出一定的规律变化，那么这种误差称为系统误差。

(1) 系统误差的产生。产生系统误差的原因很多，主要是由于使用的仪器不够完善及外界条件所引起的。例如，量距时所用钢尺的长度比标准尺略长或略短，则每量一整尺均存在尺长误差，它的大小和正负号是一定的，量的整尺数越多，误差就越大。因此，必须尽可能地全部地或部分地消除系统误差的影响。

(2) 系统误差的消除。系统误差具有积累性，对测量结果的影响很大，但是具有一定的规律，可以用以下方法进行处理：