

■ 张晓翹 李福志 主 编

建筑工程 测量

JIANZHU GONGCHENG CELIANG



中央广播电视大学出版社

建筑工程测量

张晓翹 李福志 主 编

中央廣播電視大學出版社

北 京

内容简介

本书共分为三大部分，第一部分是建筑工程测量基础篇，主要介绍了测量的基本知识；第二部分是建筑工程测量提高篇，主要介绍了水准测量，角度测量，距离测量，测量误差及其处理，小区域的控制测量等内容；第三部分是建筑工程测量深入应用篇，主要介绍了大比例尺地形图的测绘和施工测量的基本工作。

图书在版编目（CIP）数据

建筑工程测量 / 张晓翘，李福志主编. —北京：中央广播电视大学出版社，2014.1
ISBN 978-7-304-05559-2

I. ①建… II. ①张… ②李… III. ①建筑测量
IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 092712 号

版权所有，翻印必究。

建筑工程测量

张晓翘 李福志 主编

出版·发行：中央广播电视大学出版社
电话：营销中心 010-58840200 总编室 010-68182524
网址：<http://www.crtvup.com.cn>
地址：北京市海淀区西四环中路 45 号
邮编：100039
经销：新华书店北京发行所

策划编辑：苏 醒	责任编辑：谷春林
印刷：北京云浩印刷有限责任公司	印数：0001~3000
版本：2014 年 1 月第 1 版	2014 年 1 月第 2 次印刷
开本：787×1092 1/16	印张：13.5 字数：320 千字

书号：ISBN 978-7-304-05559-2
定价：37.00 元

（如有缺页或倒装，本社负责退换）

前 言

FOREWORD

本书主要介绍建筑工程施工与管理专业人才所必需的测量基本理论、基本知识、基本方法和基本操作技能。全书将测量基础理论和应用技术实践相结合，重点突出测量在建筑工程施工中的应用和操作技能的训练，在介绍传统测量仪器、测量技术的同时，也适当介绍现代测量的新仪器和新技术及其在建筑工程施工中的应用。

本书共分为三大部分，第一部分是建筑工程测量基础篇，主要介绍了测量的基本知识；第二部分是建筑工程测量提高篇，主要介绍了水准测量，角度测量，距离测量，测量误差及其处理，小区域的控制测量等内容；第三部分是建筑工程测量深入应用篇，主要介绍了大比例尺地形图的测绘和施工测量的基本工作。

为了满足建筑施工与管理专业人才培养目标和专业人才的实际需要，本着应用为主、够用为度的原则，本书将测量基础理论和应用技术实践相结合，重点突出测量在建筑工程施工中的应用和操作技能的培养；在介绍传统测量仪器、测量技术的同时，也适当介绍现代测量的新仪器和新技术及其在建筑工程施工中的应用；在每个项目开头都设有任务目标和情境导入，每个项目结尾设有项目小结和课后训练等栏目，以便于读者学习。

本书由张晓翘，李福志任主编；张汉松，李纲任副主编；另外参加编写的人员还有张甲子、刘东娜。具体分工为：项目一、项目二由张晓翘编写，项目六由李福志编写，项目四、项目五由张汉松编写，项目七、项目八由张甲子编写，项目三由刘东娜撰写。全书由李纲统稿，李福志审定。

由于编者水平所限，书中疏漏、错误和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

第一部分 建筑工程测量基础篇

项目一 测量基本知识

任务一 测量的任务、作用和本课程的学习要求.....	2
任务二 地面点位的确定	4
任务三 直线定向和坐标推算	13
任务四 测量的基本工作和原则	17
项目小结	20
课后训练	20

第二部分 建筑工程测量提高篇

项目二 水准测量

任务一 水准测量的原理	24
任务二 普通水准测量	29
任务三 DS3 型微倾式水准仪的检验和校正.....	36
任务四 水准测量的误差分析	41
任务五 自动安平水准仪	44
任务六 精密水准仪	45
项目小结	50
课后训练	50

项目三 角度测量

任务一 角度测量的原理	53
-------------------	----



任务二 普通光学经纬仪的组成及使用	55
任务三 水平角测量	60
任务四 竖直角测量	64
任务五 光学经纬仪的检验与校正	68
任务六 电子测角	72
任务七 角度测量的误差分析	75
项目小结	77
课后训练	78

项目四 距离测量

任务一 钢尺量距	80
任务二 视距测量	85
任务三 光电测距	88
任务四 距离测量的误差分析	93
任务五 全站仪	95
项目小结	101
课后训练	101

项目五 测量误差及其处理

任务一 测量误差概述	103
任务二 评定精度的指标	107
任务三 观测值函数的中误差	110
任务四 算术平均值及其中误差	116
任务五 加权平均值及其中误差	120
项目小结	124
课后训练	124

项目六 小区域控制测量

任务一 控制测量概述	126
任务二 导线测量	128
任务三 交会测量	135
任务四 四等水准测量	140
任务五 三角高程测量	143
任务六 GPS 定位及其在测量中的应用	145

项目小结	149
课后训练	150

第三部分 建筑工程测量应用篇

项目七 大比例尺地形图的测绘和应用

任务一 地形图的基本知识	154
任务二 大比例尺地形图的测绘	163
任务三 地形图应用的基本内容	172
任务四 地形图在施工中的应用示例	177
项目小结	182
课后训练	182

项目八 施工测量的基本工作

任务一 基本测设	185
任务二 点位测设	191
任务三 变形监测	196
任务四 竣工测量	203
项目小结	204
课后训练	205
参考文献	207

第一部分



建筑工程测量基础篇

项目一 测量基本知识

任务目标



了解测量的任务、作用及本课程的主要内容、学习目的和要求，同时学习有关测量的基本知识，包括如何确定地面点的位置，如何进行直线定向和坐标推算以及学习测量的基本工作和原则。

情景导入



小李刚刚大学毕业，在一家建筑设计公司从事测绘工作，2012年3月，工程部经理为了测试他的专业知识是否扎实，要求小李对一工地地形进行测量，并提出以下要求：

该工程地面点的平面位置如何确定？高斯平面直角坐标系是如何建立的？工程上常用的独立平面直角坐标系是如何定义的？测量上的直角坐标系和数学上的直角坐标系有何区别（包括坐标轴的定义和象限的编号）？为何会有这样的区别？

任务一 测量的任务、作用和本课程的学习要求

一、测量的任务

测量是研究地球的形状和大小、确定地球表面各种自然和人工物体的形态及其变化、对各种地物和地貌的空间位置与属性等信息进行采集、处理、描绘和管理的一门科学与技术。

测量的传统任务主要包括两个方面，一为测绘地形图，二为施工放样。此外，为各种工程建设进行安全监测也是测量的重要任务之一。

所谓测绘地形图，就是将局部地区的地物、地貌信息依据一定的理论和方法测绘成各种比例尺的地形图，以满足工程勘察规划和设计的需要；所谓施工放样，就是将设计图纸上的建筑物或构筑物的空间位置在实地测设出来，以便于施工；而工程监测，则是通过精确测定建筑物、构筑物的沉降、倾斜或水平位移，分析其形状的变化，以保证施工和运营的安全。

二、测量在工程建设中的作用

测量在各种工程建设中的应用十分广泛,无论是大型厂房、民用建筑,还是道路桥梁、水利工程,不管是矿山开采、地铁建设,还是城市规划、环境治理,其勘察、规划、设计的各个阶段都离不开测量提供的各种比例尺的地形图;而施工阶段则需要通过测量进行放样,以作为施工的依据;施工完毕,还需测绘竣工图,为工程提供完整的竣工资料;而无论施工阶段还是工程建成后的运营阶段,其沉降、倾斜、位移等变形监测在工程的安全施工和运营中同样起着必不可少的作用。由此可见,测量工作贯穿于工程建设的全过程,对工程建设的各个阶段均起着重要的保障作用。

三、测量的发展简介

测量是一门古老而又年轻的学科。之所以说其古老,是因为由于生产和生活的需要,人类社会自古代起就开始了原始的测量工作,例如,公元前 21 世纪的夏禹治水、埃及尼罗河泛滥后的农田整治等,均应用了简单的测量技术;之所以说其年轻,是因为近年来,现代科学技术如电子学、信息学、空间科学和计算机技术的迅猛发展,给测量科学技术的进步带来极大的推动作用。传统的光学仪器逐步被电子仪器所取代,全站仪的使用和计算机的推广应用显著改善了测量的外业和内业;自 20 世纪 70 年代开始建立的全球卫星定位系统则给测量工作带来了革命性的变化,由全球定位技术(GPS)、遥感技术(RS)和地理信息系统技术(GIS)组成的 3S 技术更将测量成果提供的基础信息与各种带有空间特征的地理信息相结合,使地理信息系统的普遍推广和“数字地球”的建立应用即将成为现实,从而为测量科学和计算机应用技术的发展提供了更加广阔的前景。

四、“建筑测量”课程的主要内容、学习目的和要求

测量的理论与实践是工科学生必须掌握的基础知识和专业技能之一,因此,“建筑测量”是建筑施工、道桥施工、水利施工等所有工科非测量专业的一门技术基础课。

本课程的主要内容包括测量的基本知识,常用测量仪器即水准仪和经纬仪的组成与使用,3 种基本测量工作即高程测量(重点是水准测量)、角度测量和距离测量的作业技能,小区域控制测量的建立,地形图的测绘和应用,以及一般工程常用的施工放样方法等。通过本课程的学习,学生应掌握普通测量的基本理论、基本知识和基本技能,能够在专业工作中正确应用地形图、使用测量仪器和常用方法进行一般工程的施工放样与安全监测,同时对小区域大比例尺地形图的测绘,电子测角、光电测距的全站仪原理和使用及 GPS 测量的原理和方法等有所了解。

测量是一门理论和实践并重的学科,唯有通过必要的试验环节和操作训练,才能更好地理解和掌握有关的理论知识和作业技能。因此对课堂讲授、试验教学以及随后的测量教学实训都应予以同样的重视。

测量工作的顺利完成不仅需要一定的理论知识和作业技能，还必须具有高度的责任感、认真的作业态度、不怕艰苦的工作作风和良好的团队精神，这些在课程学习的同时都需要不断加以培养。

任务二 地面点位的确定

无论是地物、地貌，还是设计图纸上的建筑物、构筑物，都有各种几何形状。几何形状有点、线、面之分，但都可归结为点。因此，无论是测绘地形图还是施工放样，究其实质都是测定（或测设）地面上一系列点的空间位置。本任务首先介绍关于地球形状和大小的概念，然后讨论测量工作中表示地面点的空间位置时所常用的坐标系统和高程系统。

一、地球的形状和大小

（一）水准面和大地水准面

地球的表面高低起伏，十分复杂，如世界屋脊珠穆朗玛峰高达 8 844.43 米，太平洋水底的马里亚纳海沟，却深达 11 022 米。为了描述地球的形状和大小，高斯首先提出了水准面和大地水准面的概念。所谓水准面，是指假想处于静止状态的海水面延伸穿过陆地和岛屿，将地球包围起来的封闭曲面（图 1-1）。由于受风浪和潮汐的影响，海水面的高度不断变化，即有无数个水准面。所谓大地水准面，是指通过平均海水面的水准面。因而，大地水准面具有唯一性。大地水准面所包围的球体则称为大地体。

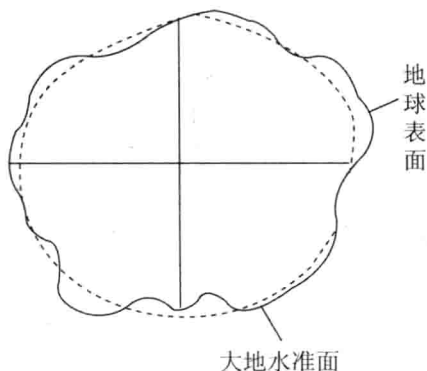


图 1-1 地球表面与大地水准面

水准面和大地水准面具有共同的特性，即处处与铅垂线方向相垂直。所谓铅垂线方向也就是地球重力的方向；重力即地球自转的离心力和地心引力的合力。而重力的方向取决于地面的纬度和地壳内部物质的质量，纬度不同或地壳内部物质质量的变化均会引起不同地点重力方向的改变。因而大地水准面实际上是一个物理面，其形状是不规则的，难以建

立一定的数学模型。这样一来，用大地体来描述地球的形状和大小就有其局限性。

（二）地球椭球

科学家们研究发现，尽管大地体不规则，但可用一个形状相似的椭球体来替代(图 1-2)。所谓椭球体就是用一椭圆面绕其短轴旋转而成的形体，它不仅与大地体形状大小很接近，而且其面为数学面，可以建立相应的数学模型。因而用它描述地球的形状和大小，更能满足科学研究和工程计算的需要。这样的椭球体即为地球椭球。

地球椭球的形状和大小至少需要以下 3 个基本参数来确定：

椭球长半轴 a

椭球短半轴 b

$$\text{椭球扁率 } \alpha = \frac{a - b}{a}$$

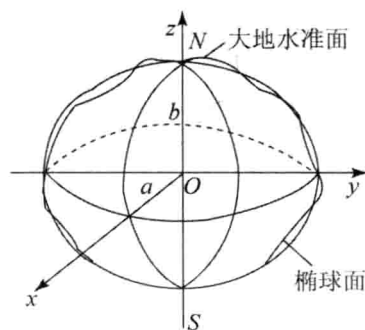


图1-2 大地水准面与地球椭球

其中 a , b 用于表示地球的大小, α 用于表示地球的形状, 具体数值可用天文大地测量、重力测量或卫星大地测量等方法来测定。世界上很多国家的学者经过长期的努力, 采用本国大量的测量成果, 推算出了各自的椭球基本参数。20 世纪以来世界各国的部分地球椭球参数如表 1-1 所示。

表1-1 地球椭球参数

学者	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	推算年代和国家
海福特	6 378 388	6 356 912	1:297.0	1909 年美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1:298.3	1940 年前苏联
IUGG—75	6 378 140	6 356 755.3	1:298.257	1975 年 IUGG
中国	6 378 143	6 356 758	1:298.255	1978 年中国
WGS—84	6 378 137		1:298.257 223 563	1984 年美国

注：IUGG 为国际大地测量与地球物理联合会的英文缩写。

以往,地球椭球常被称为参考椭球,正是因为各国推算的基本参数都是基于本国或局部的测量成果,往往对本国更为适用,而对别的国家仅有参考价值。1979年 IUGG 综合世界上多个国家的测量成果得出的 IUGG—75 椭球更加精确,适合大多数国家推广使用,因而被称为总地球椭球。

在地理学或测量学中,当研究问题的精度要求不高时,往往可以将地球视为圆球,其半径采用地球曲率半径的平均值,为 6 371 千米。

(三) 椭球定位

地球椭球选定以后,还需要合理确定椭球体与大地体的相关位置,这就是椭球定位。最简单的椭球定位为单点定位,即将所选择的地面点 p 沿铅垂线投影到大地水准面上 p' 点,使椭球面与大地水准面在 p' 点相切,过 p' 点的铅垂线与椭球的法线相重合(图 1-3)。之后再采用多点定位,根据更多地区的天文重力测量成果对单点定位的结果进行修正,从而使大地体与椭球体在更大范围内取得相互密合的最佳效果。大地水准面和铅垂线是大地测量作业的基准面和基准线,而经过椭球定位后的参考椭球面和椭球面的法线则是大地测量计算的基准面和基准线。在椭球定位的基础上即可建立大地测量的坐标系,其原点称为大地原点。

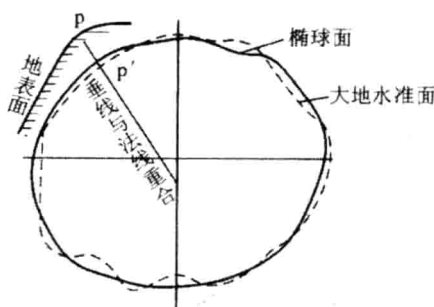


图 1-3 椭球定位

我国解放后采用克拉索夫斯基椭球,建立了 1954 年北京坐标系,其原点位于前苏联普尔科沃(现俄罗斯境内);1980 年重新采用 IUGG—75 椭球,建立了 1980 年西安坐标系,其原点位于陕西省泾阳县永乐镇。

二、坐标系

测量工作的本质就是确定地面点的空间位置。地面点的空间位置可用其三维坐标表示,其中二维是球面或平面坐标。在不同的测量工作中需要采用不同的坐标系。

(一) 大地坐标系

大地坐标系是以参考椭球面及其法线为依据建立的坐标系,地面点在椭球面上的坐标

用大地经度和大地纬度表示。

如图 1-4 所示, 将地面某点沿椭球法线投影到椭球面上 P 点, 过 P 点的子午面与过英国格林尼治天文台的起始子午面之间的二面角 L 为 P 点的大地经度, 简称经度, 由起始子午面向东的经度称为东经, 由起始子午面向西的经度称为西经, 取值范围均为 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$; 过 P 点的椭球法线与赤道面的交角 B 为 P 点的大地纬度, 简称纬度, 由赤道面向北的纬度称为北纬, 由赤道面向南的纬度称为南纬, 取值范围均为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。使用时, 通常在东经和北纬的值前冠以 “+” 号, 在西经和南纬的值前冠以 “-” 号, 以示区别。

大地坐标系又可分为参心坐标系和地心坐标系。参心坐标系是利用参考椭球建立的坐标系, 坐标原点为参考椭球的几何中心, 如我国的 1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系; 地心坐标系是利用总地球椭球建立的坐标系, 坐标原点为地球的质心, 如美国 1984 年推出的 WGS-84 坐标系。

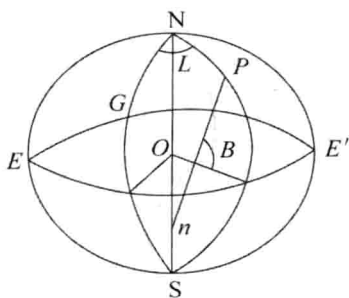


图1-4 大地坐标系

(二) 高斯平面直角坐标系

在地形图测绘和工程建设的勘察、规划、设计和施工中, 所用图纸一般都是绘在平面上的, 数据运算一般也是在平面上进行的, 这比直接在椭球面上绘图和运算要方便很多, 因而有必要将椭球面上的点位和图形投影到平面上, 并用平面直角坐标来表示。将球面上的图形投影到平面上需要应用地图投影的理论, 地图投影的实质在于控制投影时必然会产生变形。不同的地图投影模型, 其差别主要在于控制变形的种类和方法的不同。高斯平面直角坐标系采用的是高斯投影, 而高斯投影属于等角投影, 即局部范围内投影前后的角度保持不变; 又称正形投影, 也就是局部范围内投影前后的形状保持相似。

高斯投影实际上是一种横轴椭圆柱投影, 即设想用一个椭圆柱套住地球椭球体, 使椭圆柱的中轴横向通过椭球体的中心, 将椭球面上的点位和图形投影到椭圆柱的面上, 然后将椭圆柱沿通过南、北极的母线展开成平面, 即得到高斯投影平面如图 1-5 (a) 所示。在此平面上, 椭球体和椭圆柱相切的一条子午线和赤道的投影为两条相互正交的直线, 即构成高斯平面直角坐标系。该子午线称为中央子午线, 其投影为直角坐标系的纵轴, 赤道的投影则为直角坐标系的横轴。只有中央子午线投影后的长度保持不变, 而其他的图形投影后均会发生变形, 且离开中央子午线越远, 变形越大, 如图 1-5 (b) 所示。

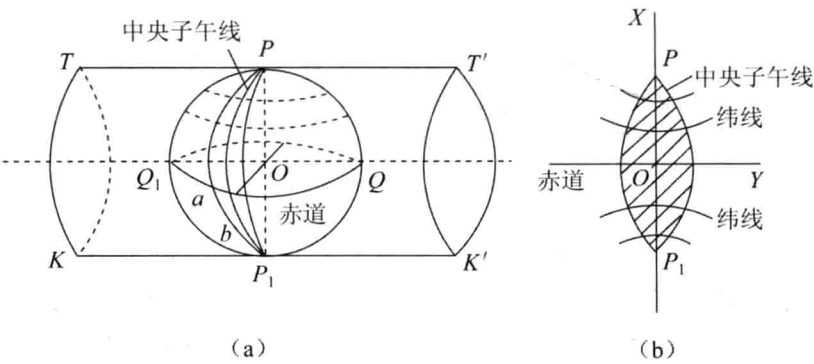


图1-5 高斯投影

为了将这种变形限制在一定的容许范围以内，高斯采用了分带投影的方法，即将地球椭球体在椭圆柱内按一定的经度区间（经差）进行旋转，每旋转一次就构成一个狭长的投影带，每个投影带内椭球体和椭圆柱面相切的子午线就是该带的中央子午线。投影带的经差为 6° 的简称为六度带，自格林尼治天文台的起始子午线起，共分 60 带，编号为 1~60（图 1-6）。各带中央子午线的经度 L_0 可用式（1-1）计算：

$$L_0 = 6^\circ \times N - 3^\circ \tag{1-1}$$

式中 N 为六度带带号。

若已知某点的大地经度 L ，则可用式（1-2）计算该点所在的六度带带号：

$$N = \frac{L}{6} (\text{取整数}) + 1 \tag{1-2}$$

投影带的经差为 3° 的简称为三度带，自东经 1.5° 始，共分 120 带，编号为 1~120（图 1-6）。各带中央子午线的经度可按式（1-3）算得：

$$L_0 = 3^\circ \times N \tag{1-3}$$

式中 N 为三度带带号。

若已知某点的大地经度 L ，则按式（1-4）计算该点所在的三度带带号：

$$N = \frac{L-1.5}{3} (\text{取整数}) + 1 \tag{1-4}$$

我国幅员辽阔，西起东经 74° ，东至东经 135° ，共跨 11 个六度带，21 个三度带。由于我国领土全部位于赤道以北，因此，所有投影带内的 X 坐标均为正值，而 Y 值在同一投影带内有正有负，如图 1-7（a）所示。为此，将每个投影带的坐标纵轴西移 500 千米，使所有 Y 坐标均为正值，同时在 Y 坐标前冠以带号，以利于使用。设六度带内有 A, B 两点，如图 1-7（b）所示， $Y_A=18\ 537\ 680.423\text{m}$ ， $Y_B=20\ 438\ 270.568\text{m}$ ，即表示 A 点位于六度带第 18 带中央子午线以东 $537\ 680.423\text{m}-500\ 000\text{m}=37\ 680.423\text{m}$ ， B 点位于六度带第 20 带中央子午线以西 $500\ 000\text{m}-438\ 270.568\text{m}=61\ 729.432\text{m}$ 。

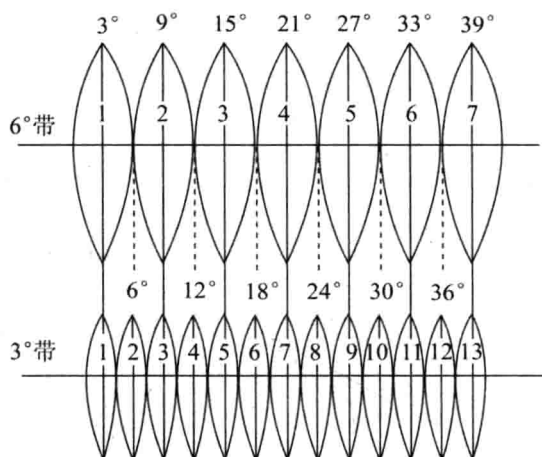


图1-6 高斯投影六度带和三度带的分带方法

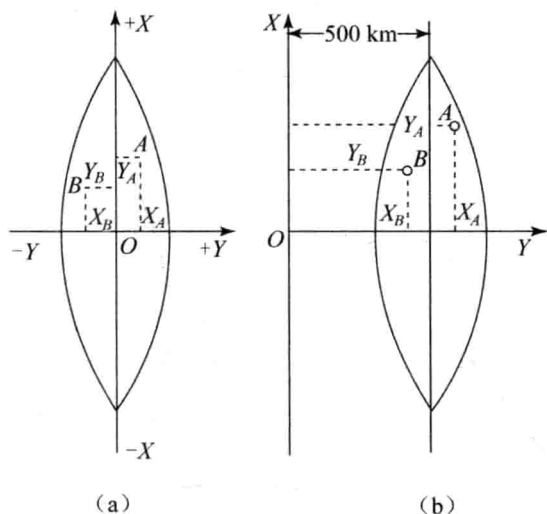


图1-7 高斯平面直角坐标示意图

(三) 独立平面直角坐标系

当地形图测绘或施工测量的面积较小时,可将测区范围内的椭球面或水准面用水平面来代替,在此水平面上设一坐标原点,以过原点的南北方向为纵轴(向北为正,向南为负),东西方向为横轴(向东为正,向西为负),建立独立的平面直角坐标系,如图1-8所示,测区内的所有点均沿铅垂线投影到这一水平面上,任一点的平面位置即可以其坐标值(X , Y)表示。如果坐标原点设在测区的西南角,则测区内所有点的坐标均为正值。

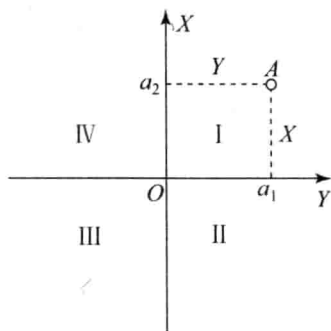


图1-8 独立平面直角坐标示意图

由图1-7和图1-8可见,无论是高斯平面直角坐标系还是独立平面直角坐标系,均以纵轴为 X 轴,横轴为 Y 轴,这与数学上笛卡儿平面坐标系的 X 轴和 Y 轴正好相反。其原因在于测量与数学上表示直线方向的方位角定义不同,测量上的方位角为纵轴的指北端起始,顺时针至直线的夹角;数学上的方位角则为横轴的指东端起始,逆时针至直线的夹角。将二者的 X 轴和 Y 轴互换,是为了仍旧可以将已有的数学公式用于测量计算。出于同样的原因,测量与数学上关于坐标象限的规定也有所不同。二者均以北东为第一象限,但数学上

的四个象限为逆时针递增，而测量上则为顺时针递增，如图 1-9 所示。

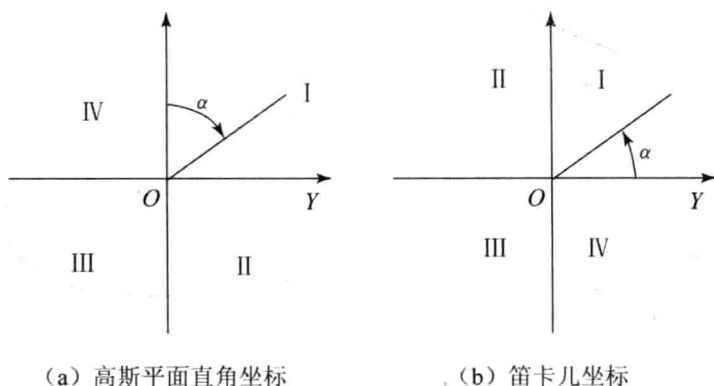


图1-9 两种平面直角坐标系的比较

三、高程系统

地面点空间位置的第三维坐标是高程。地面点的高程，是指地面点沿铅垂线到一定基准面的距离。测量中定义以大地水准面作基准面的高程为绝对高程，简称高程，以 H 表示；以其他任意水准面作基准面的高程为相对高程或假定高程，以 H' 表示。地面任意两点之间的高程之差称为高差，用 h 表示（图 1-10）。

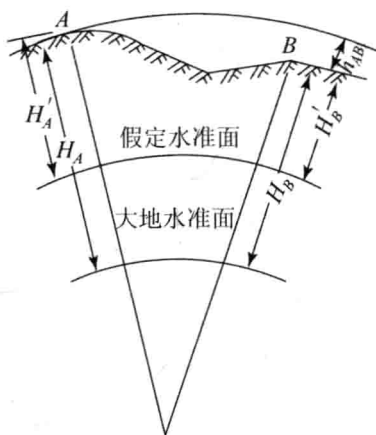


图1-10 高程和高差

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可见，无论采用绝对高程还是相对高程，两点间的高差总是不变的。

我国解放后，以设在山东青岛验潮站收集的 1950~1956 年的验潮资料为依据，推算的黄海平均海面作为我国的高程基准面，并在青岛市观象山港湾建立了水准原点，测定了该点至基准面的高程为 72.289m，由此建立了我国的高程系统，称为 1956 年黄海高程系。

20 世纪 80 年代初，有关部门根据青岛验潮站新的验潮资料，推算出新的黄海平均海