



普通高等教育高职高专土建类“十二五”规划教材

工程测绘技术

主 编 符德军 杨 英
副主编 姚金伟 仓 盛 金迪飞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育高职高专土建类“十二五”规划教材

工程测绘技术

主 编 符德军 杨 英

副主编 姚金伟 仓 盛 金迪飞



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

《工程测绘技术》根据测量放线工作的基本要求,采用项目驱动模式来组织教学内容,并以典型工程测量项目为载体,注重理论与实践相结合。

本教材共有两大项目,项目一为大比例尺地形图测绘,内容包括:确定地面点位,水准测量,角度测量,直线定向与距离测量,小地区控制测量,地形图测绘;项目二为工程施工放样,内容包括:施工测量的基本工作,建筑施工测量。

本教材可作为高职高专及成人高校建筑工程类、园林工程类、市政工程类、工程管理类、工程造价类、房地产类等专业的教学用书,也可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测绘技术 / 符德军, 杨英主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 6
普通高等教育高职高专土建类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1999-2

I. ①工… II. ①符… ②杨… 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(2014)第094033号

书 名	普通高等教育高职高专土建类“十二五”规划教材 工程测绘技术
作 者	主编 符德军 杨英 副主编 姚金伟 仓盛 金迪飞
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 (发行部)
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.75印张 279千字
版 次	2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

普通高等教育高职高专土建类 “十二五”规划教材

参编院校及单位

安徽工业经济职业技术学院
滨州职业学院
重庆建筑工程职业学院
甘肃工业职业技术学院
甘肃林业职业技术学院
广东建设职业技术学院
广西经济干部管理学院
广西机电职业技术学院
广西建设职业技术学院
广西理工职业技术学院
广西交通职业技术学院
广西水利电力职业技术学院
河北交通职业技术学院
河北省交通厅公路管理局
河南财政税务高等专科学校
河南工业职业技术学院
黑龙江农垦科技职业学院
湖南城建集团
湖南交通职业技术学院
淮北职业技术学院
淮海工学院

金华职业技术学院
九江学院
九江职业大学
兰州工业高等专科学校
辽宁建筑职业技术学院
漯河职业技术学院
内蒙古河套大学
内蒙古建筑职业技术学院
南宁职业技术学院
宁夏建设职业技术学院
山西长治职业技术学院
山西水利职业技术学院
石家庄铁路职业技术学院
太原城市职业技术学院
太原大学
乌海职业技术学院
烟台职业学院
延安职业技术学院
义乌工商学院
邕江大学
浙江工商职业技术学院

本 册 编 委 会

本 册 主 编 符德军 杨 英

本册副主编 姚金伟 仓 盛 金迪飞

本 册 参 编 徐晓东 贺良国 简小生

序



“十二五”时期，高等职业教育面临新的机遇和挑战，其教学改革必须动态跟进，才能体现职业教育“以服务为宗旨、以就业为导向”的本质特征，其教材建设也要顺应时代变化，根据市场对职业教育的要求，进一步贯彻“任务导向、项目教学”的教改精神，强化实践技能训练、突出现代高职特色。

鉴于此，从培养应用型技术人才的期许出发，中国水利水电出版社于2010年启动了土建类（包括建筑工程、市政工程、工程管理、建筑设备、房地产等专业）以及道路桥梁工程等相关专业高等职业教育的“十二五”规划教材，本套“普通高等教育高职高专土建类‘十二五’规划教材”编写上力求结合新知识、新技术、新工艺、新材料、新规范、新案例，内容上力求精简理论、结合就业、突出实践。

随着教改的不断深入，高职院校结合本地实际所展现出的教改成果也各不相同，与之对应的教材也各有特色。本套教材的一个重要组织思想，就是希望突破长久以来习惯以“大一统”设计教材的思维模式。这套教材中，既有以章节为主体的传统教材体例模式，也有以“项目—任务”模式的“任务驱动型”教材，还有基于工作过程的“模块—课题”类教材。不管形式如何，编写目标均是结合课程特点、针对就业实际、突出职业技能，从而符合高职学生学习规律的精品教材。主要特点有以下几方面：

（1）专业针对性强。针对土建类各专业的培养目标、业务规格（包括知识结构和能力结构）和教学大纲的基本要求，充分展示创新思想，突出应用技术。

（2）以培养能力为主。根据高职学生所应具备的相关能力培养体系，构建职业能力训练模块，突出实训、实验内容，加强学生的实践能力与操作技能。

（3）引入校企结合的实践经验。由企业的工程技术人员参与教材的编写，将实际工作中所需的技能与知识引入教材，使最新的知识与最新的应用充实到教学过程中。

(4) 多渠道完善。充分利用多媒体介质,完善传统纸质介质中所欠缺的表达方式和内容,将课件的基本功能有效体现,提高教师的教学效果;将光盘的容量充分发挥,满足学生有效应用的愿望。

本套教材适用于高职高专院校土建类相关专业学生使用,亦可为工程技术人员参考借鉴,也可作为成人、函授、网络教育、自学考试等参考用书。本套丛书的出版对于“十二五”期间高职高专的教材建设是一次有益的探索,也是一次积累、沉淀、迸发的过程,其丛书的框架构建、编写模式还可进一步探讨,书中不妥之处,恳请广大读者和业内专家、教师批评指正,提出宝贵建议。

丛书编委会

2011年1月

前言



本教材的编写以项目任务驱动，紧紧围绕完成测量工
择教材内容，并及时地吸收了最新的测绘技术。根据实际
点介绍了全站仪在测量工作中的应用。本教材是以全站仪
对传统的测角仪器经纬仪并没有作介绍，主要是考虑到现
被淘汰。

本教材分为两大项目。项目一为大比例尺地形图测绘，
元1介绍了工程测量的任务及应用，确定地面点位的方法；
测量的方法及成果的校核与平差；单元3介绍了水平角测量
竖直角度的测量；单元4介绍了确定直线的方向及水平距离的
介绍了小地区平面及高程控制测量的方法；单元6介绍了地
法及数字化成图方法。项目二为工程施工放样，共有2个单
施工测量的基本工作，包括距离、角度、高程放样的基本
设；单元8介绍了施工测量的内容，包括施工控制测量，
基础施工测量，墙体施工测量，高程建筑施工测量，建筑物

本教材由符德军、杨英主编。单元1、单元3、单元5
术学院的符德军编写；单元2由水利部综合事业局的杨英
工商职业技术学院的姚金伟编写；单元6由宁波城市职业
写；单元7任务1和任务2由宁波城市职业技术学院的徐
宁波城市职业技术学院的贺良国编写；单元8任务1至任
建设工程质量监督站的金迪飞编写；任务5和任务6由宁
编写。全书由符德军统稿。

由于编者水平有限，教材中难免存在缺点和不当之
指正。

任务的需要来选
量工作需求，重
学为主的教材，
经纬仪已逐渐

有6个单元：单
元2介绍了水准
两种常用方法及
量方法；单元5
图测绘的传统方
：单元7介绍了
法及圆曲线的测
物定位与放线，
形观测。

宁波城市职业技
；单元4由浙江
术学院的仓盛编
编写，任务3由
由浙江省长兴市
工集团的简小生

，恳请读者批评

编者

2014年3月

目 录

序

前言

项目一 大比例尺地形图测绘

单元 1 确定地面点位	1
1.1 测量学的任务及作用	1
1.2 地面点位的确定	3
单元 2 水准测量	12
任务 1 水准仪的构造	12
任务 2 两点高差的测量	15
任务 3 水准路线测量的校核与平差	21
知识拓展	28
单元 3 角度测量	34
任务 1 全站仪的构造与安置	34
任务 2 水平角的测量	42
任务 3 竖直角测量	47
知识拓展	51
单元 4 直线定向与距离测量	59
任务 1 直线定向	59
任务 2 距离测量	66
单元 5 小地区控制测量	78
任务 1 控制测量概述	78
任务 2 导线测量	82
任务 3 高程控制测量	91
知识拓展	97
单元 6 地形图测绘	111
任务 1 大比例尺地形图测绘传统方法	111
任务 2 数字化成图	125

项目二 工程施工放样

单元 7 施工测量的基本工作	145
任务 1 测设的基本工作	145
任务 2 点的平面位置的测设方法	150
任务 3 圆曲线的测设	155
单元 8 建筑施工测量	161
任务 1 施工控制测量	161
任务 2 建筑物的定位与放线	163
任务 3 基础施工测量	166
任务 4 墙体施工测量	167
任务 5 高层建筑施工测量	169
任务 6 建筑物变形观测	172
参考文献	179

项目一 大比例尺地形图测绘

单元1 确定地面点位

本单元教学目标

- (1) 掌握测量学的任务。
- (2) 掌握地面点位确定的三要素。
- (3) 掌握测量的坐标系统和高程系统。
- (4) 了解测量工作的基本内容和测量工作的基本原则。

1.1 测量学的任务及作用

1.1.1 测量学的概念

测量学是研究地球形状、大小和如何测定地面点的空间位置，研究、采集和处理地球表面各种形态及其变化信息，并绘制成图及各种工程建设中的测量工作的理论、技术的科学。

1.1.2 测量学的任务

利用测量仪器和工具，通过实地测量和计算，将小区域内的地物与地貌按照一定的形式和比例绘制成图，为生产和国民经济建设的各项规划、设计提供技术资料，简称“测绘”。

将图中规划和设计好的工程或建筑物的位置准确地测设到地面上，作为测量施工的科学依据，简称“测设”，也可称为施工放样。

对于一些重要建（构）筑物，在施工和运营期间定期进行变形观测，以了解建（构）筑物的变形规律，监视其安全施工和运营，称为变形测量。

综上所述，测量工作贯穿于工程建设的全过程。

1.1.3 测量学的分类

伴随着社会的进步，科学技术的发展，各方面对测量的要求不断变化和提高，测量学的分科也越来越细，诸如以下学科。



1.1.3.1 大地测量学

大地测量学研究测定地球的形状、大小和地球重力场，以及测定特定地面上点的空间位置。

大地测量学分几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学（或空间大地测量学）三个分支学科。几何大地测量学是以一个与地球外形最为接近的几何体（旋转椭球）代表地球形状，用天文方法测定该椭球的形状和大小。物理大地测量学是研究用物理方法测定地球形状及其外部重力场的学科。卫星大地测量学是利用人造地球卫星进行地面点定位及测定地球形状、大小和地球重力场的理论、方法的学科。现代大地测量学是综合利用几何、物理、空间大地测量的理论和方法，解决大地测量学中各种问题的学科。摄影测量与遥感学是研究用摄影和遥感的手段，获取被测物体的信息，进行分析、处理，以确定物体的形状、大小、空间位置，并判定其属性的科学。摄影测量与遥感学分为地面摄影测量、航空摄影测量学和航天遥感测量学。

1.1.3.2 工程测量学

研究工程建设和资源开发中，在规划、设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、地形测绘和施工放样、变形监测的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同，工程测量学又分为矿山测量学、水利工程测量学、公路测量学、铁路测量学，以及海洋工程测量学等；又由于工程的不同，精度要求的不同，而有精密工程测量学、特种精密工程测量学等。

1.1.3.3 地图制图学（地图学）

地图制图学是研究地图的编制和应用的学科。它研究用地图图形信息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。

1.1.3.4 海洋测绘

海洋测绘是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制理论、方法的学科。

1.1.3.5 普通测量学

普通测量学是研究对地球表面局部地区进行测绘工作的基本理论、工作方法、技术和应用的学科。其内容包括图根控制网的建立、地形图测绘及一般工程的测设。

也有人称地形测量学为测量学。但这种测量学只是为测量地球局部的形状和绘制地形图服务，不包括其他内容。

普通测量学是研究地球局部地区，不考虑地球曲率的影响，使用常规测量仪器设备，进行测定和测设所涉及的测量理论和技术的学科。本教材为现代普通测量学，是在普通测量学的基础上，增加了现代测量科学技术的内容，故名。同时，又根据土木建筑工程专业的要求，充实了部分工程测量的内容，以满足土木建筑工程类专业的要求。

本课程主要内容属于普通测量学和工程测量学范畴。通过本课程的学习，使学生掌握工程测量的基本知识和基本技能，做到正确操作仪器，掌握小范围地形图的测绘、工程测量与施工放样等实际技能。

1.1.4 测量学在工程建设中的作用

现代测量学在土木建筑类各专业的工作中，不但应用广泛，而且与各专业结合得越来



越紧密。例如，在勘测设计各个阶段，需要勘测区的地形信息和地形图或电子地图，供工程规划、选址和设计使用。在施工阶段，要进行施工测量，把设计好的建筑物、构筑物的空间位置测设于实地，以便据此进行施工；伴随着施工的进展，不断地测设高程和轴线，以指导施工；并且根据需要还要进行设备的安装测量。在施工的同时，要根据建（构）筑物的要求，开始变形观测，直至建（构）筑物基本上停止变形为止，以监测施工的建（构）筑物变形的全过程，为保护建筑物提供资料。施工完成后，及时地进行竣工测量，编绘竣工图，为今后建筑物的扩建、改建、修建，以及进一步发展提供依据。在建（构）筑物使用和工程的运营阶段，对于现代大型或重要的建筑物，还要继续进行变形观测和安全监测，为安全运营和生产提供资料。由此看出，测量工作在土木建筑工程专业中应用十分广泛，它贯穿着工程建设的全过程，特别是大型和重要的建筑工程，测量工作更是非常重要的。

1.2 地面点位的确定

1.2.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的，故须了解地球的形状和大小。地球的自然表面是极不规则的，有高山、丘陵，有盆地、平原和海洋；有高于海平面 8844m 的珠穆朗玛峰，有低于海平面 11022m 的马里亚纳海沟；地形起伏很大。但是，由于地球半径很大，约 6371km，地面高低变化的幅度相对于地球半径只有 1/300，从宏观上看，仍然可以将地球看作为圆滑球体。地球自然表面大部分是海洋，占地球表面积 71%，陆地仅占 29%。

处于静止状态的水面称为水准面，水准面因高度不同，有无数个，并且互不相交。测量中将海洋处于静止平衡状态时的水准面，并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合水准面，称为大地水准面图（见图 1-1）。大地水准面所包含的形体称为大地体。研究地球形状和大小就是研究大地水准面的形状和大地体的大小。

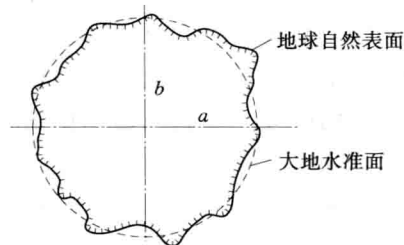


图 1-1 地球表面与大地水准面

大地水准面不规则的起伏，使得大地体并不是一个规则的几何球体，其表面不是数学曲面。在这样一个非常复杂的曲面上无法进行测量数据的处理，为此需要寻找一个与大地体极为接近的数学球体代替大地体。由于地球形状非常接近一个旋转椭球，所以测量中选择可用数学公式严格描述的旋转椭球代替大地体（见图 1-2）。椭球参数为 a 、 b 和 α 。 a 为长半轴， b 为短半轴，扁率 α 为

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

若 $\alpha=0$ ，椭球则成为圆球。旋转椭球面是个数学面，在直角坐标系 $oxyz$ 中旋转椭球的标准方程

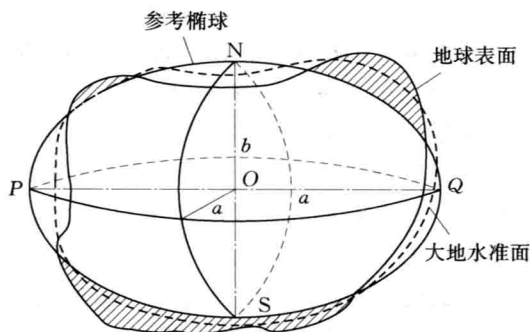


图 1-2 参考椭球体

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-2)$$

在测量学中将旋转椭球面代替大地水准面作为测量计算和制图的基准面。

目前,我国采用的椭球元素:长半轴 $a=6378140\text{m}$,短半轴 $b=6356743\text{m}$,扁率 $\alpha=1/298.257$ 。由于参考椭球体的扁率很小,在小区域测量中,可以将地球视为圆球体,其半径为 6371km 。

1.2.2 地面点位的确定方法

在大范围内进行测量工作,地面上任一点的位置,投影到参考椭球面上通常是用经纬度表示的。以经纬度来确定地面点的绝对位置,称为地理坐标;在小范围内测量,则可将地球表面看做是平面(即半径为 10km 的范围),地面上一点的相对位置,在平面上是用直角坐标表示的。

1.2.2.1 地理坐标

用经度、纬度来表示地面点位置的坐标系称为地理坐标系。如果用天文经度 λ 、天文纬度 ϕ 来表示则称为天文地理坐标系;而用大地经度 L 、大地纬度 B 来表示则称为大地地理坐标系,如图 1-3 所示。天文地理坐标是用天文测量方法直接测定的,大地地理坐标是根据大地测量所得数据推算得到的。地理坐标是一种球面坐标,常用于大地问题解算、地球形状和大小的研究、编制大面积地图、火箭与卫星发射、战略防御和指挥等方面。

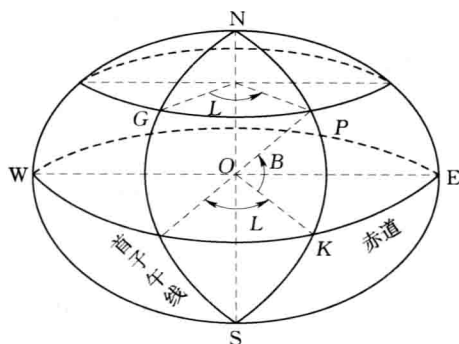


图 1-3 地理坐标系

由地理学可知,地理北极 N 与南极 S 的连线称为地轴, NS 为短轴,地理的球心为 O 。过地面点 P 和地轴的平面称为子午面,子午面与地球表面的交线称为子午线;通过英国伦敦格林威治天文台的子午面 $NGSO$ 称为首子午面,相应的子午线称为首子午线(零子午线),其经度为 0° 。地面上任意一点 P 的子午面 $NPKSO$ 与首子午面间所夹的二面角 L 称为 P 点的经度。经度由首子午面向东、向西各由 $0^\circ \sim 180^\circ$ 度量,在首子午线以东称为东经,以西称为西经。通过地心 O 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。地面点 P 的铅垂线与赤道面所形成的夹角 B 称为 P 点的纬度。由赤道北面向北极度量称为北纬,向南极度量称为南纬,其取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。例如北京某点的天文地理坐标为东经 $116^\circ 28'$,北纬 $39^\circ 54'$ 。

大地经纬度是根据一个起始大地点(称为大地原点,该点的大地经纬度与天文经纬度一致)的大地坐标,再按大地测量所得数据推算而得。20 世纪 50 年代,在我国天文大地网建立初期,鉴于当时的历史条件,采取了格拉索夫斯基椭球元素,并与苏联 1942 年普尔科沃坐标系进行联测,通过计算,建立了我国的 1954 年北京坐标系;我国目前使用的



大地坐标系，是以位于陕西省泾阳县境内的国家大地点为起算点，根据 1975 年国际大地测量与地球物理联合会（IUGG1975）建立的统一坐标系，称为 1980 年国家大地坐标系。

1.2.2.2 高斯平面直角坐标

地理坐标只能确定地面点位在球面上的位置，不能直接用于测绘地形图。若将球面上的大地坐标按一定数学法则归算到平面上，在平面上进行数据运算比在椭球面上方便得多。将球面上的图形、数据转到平面上的方法，就是地图投影的方法。我国采用的是高斯投影法。

高斯投影是横切椭圆柱正形投影。这样投影可以想象用一个椭圆柱套在地球椭球体外，如图 1-4 所示。并与椭球体某一子午相切（此子午线称为中央子午线），椭圆柱中心轴通过椭球体赤道面及椭球中心，将中央子午线两侧一定经度（如 3° 、 1.5° ）范围内的椭球面上的点、线按正形条件投影到椭圆柱面上，然后将椭圆柱面沿着通过南、北极的母线展开成平面，即成高斯投影平面。在此平面上，中央子午线和赤道的投影都是直线，并且正交，其他子午线和纬线都是曲线。中央子午线的长度不变，离开中央子午线越远的线变形越大，并凹向中央子午线，各纬圈投影后凸向赤道。将中央子午线与赤道的交点经投影后，定为坐标原点 O ；中央子午线的投影为纵坐标轴，即 X 轴；赤道投影为横坐标轴，即 Y 轴，从而构成高斯平面直角坐标系，如图 1-4 所示。距中央子午线距离愈大，其投影误差则愈大，当大到超过测图、施工精度时，则不允许。

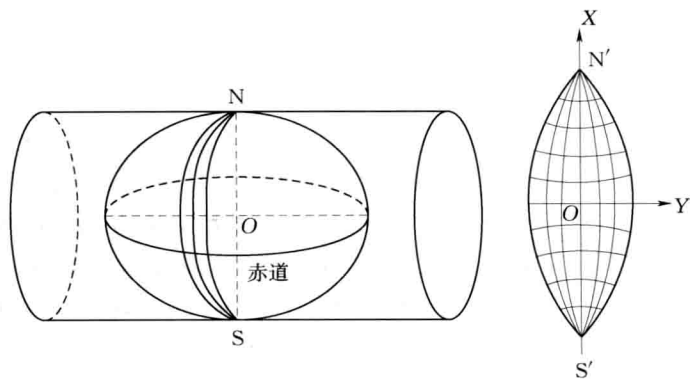


图 1-4 高斯投影

为此，要将变形限制在一定的测图精度允许范围内。控制的方法是将投影区域限制在靠近中央子午线两侧的狭长地带内，即分带投影法（见图 1-5）。投影宽度以两条中央子午线间的经差 1° 来划分。由于分带投影后，各投影带有自己的坐标轴和原点，从而形成各自独立的坐标系。这样，在相邻两带的点分别属于两个不同的坐标系，在工程中往往要将不同的坐标系化成同一坐标，这就要进行相邻带之间的坐标换算。为了减少换带计算，分带不宜过多。

6° 带可以满足 $1:25000$ 以上中、小比例尺测图精度的要求。 6° 带是从格林尼治子午线起，自西向东每隔 6° 为一带，共分成 60 个带，编号为 $1\sim60$ ，如图 1-5 所示。中央子午线的经度 L_0 为 3° 、 9° 、 15° 、...可用下式计算

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

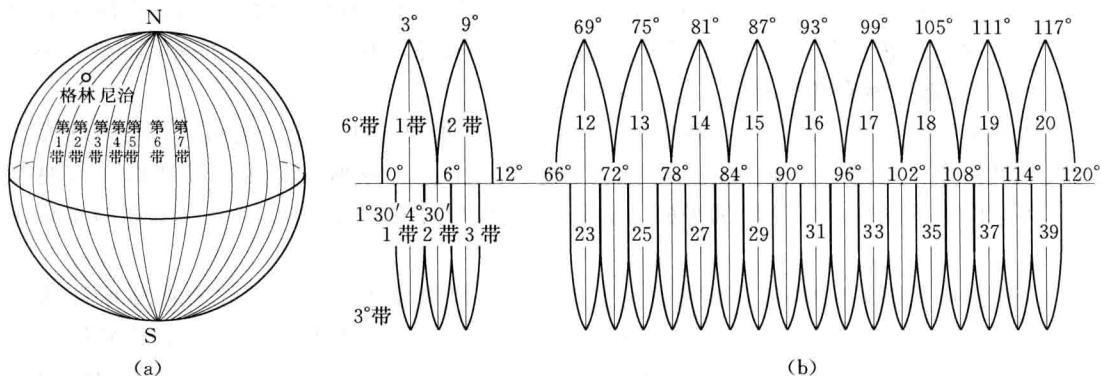


图 1-5 高斯投影分带

式中 N ——带号。

已知某点大地经度为 L ，可按下式计算该点带号

$$N = \frac{L}{6} (\text{取整数}) + 1 \quad (1-4)$$

3°带是在 6°带基础上划分的，每隔 3°为一带，其中央子午线在奇数带时与 6°带中央子午线重合，偶数为 6°带分带子午线经度，全球共分 120 带。其中央子午线经度为

$$L_0 = 3n$$

式中 n ——3°带带号。

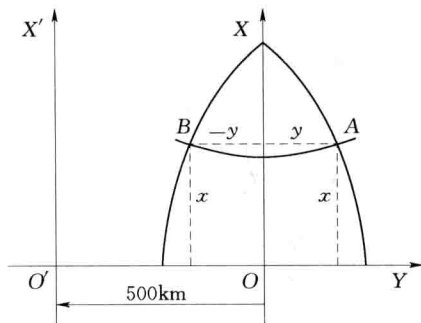


图 1-6 坐标纵轴西移示意图

我国幅员辽阔，南从北纬 4°，北至北纬 54°，西从东经 74°，东至东经 135°。中央子午线从 75°起共计 11 个 6°带，21 个 3°带。由于我国领土全部位于赤道以北，因此 x 值为正值，而 y 值有正有负。为使 y 坐标为正，将坐标纵轴西移 500km（见图 1-6），并在坐标前冠以带号，如 m 点的坐标为 $x_m = 4346216.985\text{m}$ ， $y_m = 19634527.164\text{m}$ 。

上式中 y_m 坐标最前面的数字 19，表示第 19°带。将大地坐标 B 、 L ，按高斯投影方法计算高斯直角坐标，称为高斯投影正算。

高斯平面直角坐标系与数学上的笛卡尔平面坐标系有以下几方面不同。

(1) 高斯坐标系中纵坐标为 x ，正向指北，横轴为 y ，正向指东；而笛卡尔坐标系中纵坐标是 y ，横坐标为 x ，正好相反（见图 1-7）。

(2) 表示直线方向的方位角定义不同，高斯坐标系是以纵坐标 x 的北端起算，顺时针方向到直线的角度；而笛卡尔坐标是以横轴 x 东端起算，逆时针计算。

(3) 坐标象限不同。高斯坐标以北东为第一象限，顺时针划分为四个象限；笛卡尔坐标也是从北东为第一象限，逆时针划分成四个象限。

上述的规定目的是为了定向方便，能将数学中的公式直接应用到测量计算中。

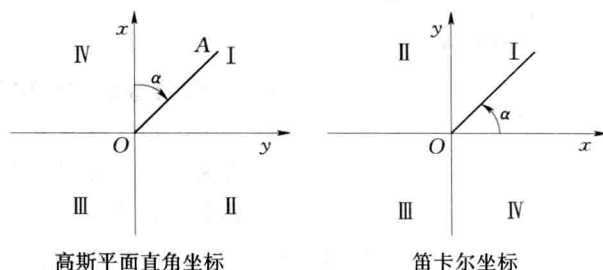


图 1-7 两种直角坐标系

1.2.2.3 独立平面直角坐标

当测量区域较小时（如半径小于 10km 范围），可以用测区中心点的切平面代替椭球体面作为基准面。在切平面上建立独立平面直角坐标系，以该地区真子午线或磁子午线为 x 轴，向北为正；为了避免坐标出现负值，将坐标原点选在测区西南角。地面点沿垂线投影到这个平面上，这种方法适用于附近没有国家控制点的地区。

1.2.2.4 地面点的高程

在国民经济建设中，地面点的高程常采用海拔高程，即从地面点沿垂线到大地水准面的距离，也称为绝对高程，记为 H 。如果点到任意水准面的距离，称为相对高程或假定高程，用 H' 表示。地面上两点间高程差称为高差，用 h 表示（见图 1-8）。

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

由于受潮汐、风浪等影响，海水面是一个动态的曲面。它的高低时刻在变化，通常是在海边设立验潮站，进行长期观测，取海水的平均高度作为高程零点。通过该点的大地水准面称为高程基准面。解放前，我国采用的高程基准面十分混乱。1949 年新中国建立后，以设在山东省青岛市的国家验潮站收集的 1950~1956 年的验潮资料，推算的黄海平均海水面作为我国高程起算面，并在青岛市观象山建立了水准原点。水准原点到验潮站平均海水面高程为 72.289m。这个高程系统称为“1956 年黄海高程系”。全国各地的高程都是依此而得到的。

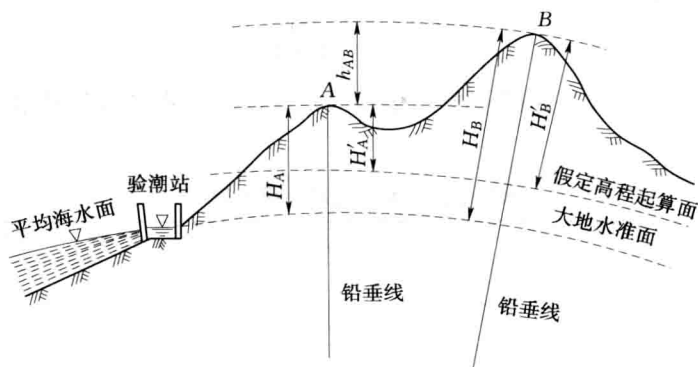


图 1-8 高程系统

20 世纪 80 年代初，国家又根据 1953~1979 年青岛验潮站的观测资料，推算出新的



黄海平均海水面作为高程零点。由此测得青岛水准原点高程为 72.260m, 称为“1985 年国家高程基准”, 并从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

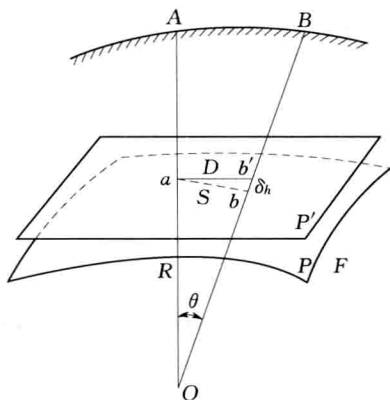


图 1-9 地球曲率半径的影响

1.2.2.5 用水平面代替水准面的限度

在普通测量中, 由于测区小, 或工程对测量精度要求较低时, 为简化一些复杂的投影计算, 可将椭球面视作球面, 甚至可视为平面, 即用平面代替大地水准面。直接把地面点沿铅垂线投影到平面上, 以确定其位置。不过以平面代替水准面有一定限度, 只要投影后产生的误差不超过测量和制图要求的限差即可采用。下面讨论水平面代替水准面对距离、水平角和高程的影响。

1. 对距离的影响

如图 1-9 所示, 在测区中部选一点 A, 沿铅垂线投影到水准面 P 上为 a, 过 a 点作切平面 P'。地面上 A、B 两点投影到水准面上的弧长为 D, 在水平面上的距离为 D', 则

$$\left. \begin{aligned} D &= R\theta \\ D' &= R\tan\theta \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

以水平长度 D' 代替球面上弧长 D 产生的误差为

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-7)$$

将 $\tan\theta$ 按级数展开, 并略去高次项, 得

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots \quad (1-8)$$

将式 (1-8) 代入式 (1-9) 并考虑 $\theta = \frac{D}{R}$ 得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{\theta^3}{3} - \theta\right) = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-9)$$

二端除以 D, 得相对误差

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{1}{3}\left(\frac{D}{R}\right)^2 \quad (1-10)$$

地球半径 $R=6371\text{km}$, 并用不同 D 值代入, 可计算出水平面代替水准面的距离误差和相对误差, 列入表 1-1。

表 1-1

水平面代替水准面对距离的影响

距离 D/km	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	相对误差
1	0.00	—
5	0.10	1 : 5000000
10	0.82	1 : 1217700
15	2.77	1 : 541516

从表 1-1 可见, 当距离为 10km 时, 以平面代替曲面所产生的距离误差为 0.82cm,