


道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

# 道路工程测量

DAOLU GONGCHENG CELIANG

赵树青 甄红锋 主编



 黄河水利出版社

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

# 道路工程测量

主 编 赵树青 甄红锋  
副主编 彭志良 郭 兵  
主 审 周小安

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书是道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材,全书共分十章,第一章至第四章阐述了道路工程测量的基本知识和测量仪器的操作及使用方法;第五章介绍了测量误差的基本知识;第六章叙述小区域控制测量的方法;第七章介绍地形图的测绘与应用;第八章至第九章分别讲述了道路中线测量和道路纵横断面测量的工作原理及常用方法;第十章分道路、桥梁及隧道讲述了道路工程施工测量的基本技术。

本书为高职高专院校的道路与桥梁专业及相关专业的教材,也可供相关专业工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路工程测量/赵树青,甄红锋主编. —郑州:黄河水利出版社,2008. 2

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材  
ISBN 978 - 7 - 80734 - 353 - 0

I. 道… II. ①赵…②甄… III. 道路测量 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. U412. 24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017329 号

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940

传真:0371 - 66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:14. 25

字数:326 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 2 月第 1 版

印次:2008 年 2 月第 1 次印刷

---

定价:26. 00 元

# 前 言

《道路工程测量》是一门专业性很强的专业技术基础课,本教材的系统性、实用性很强,全书在内容上力求结合我国公路工程测量的生产实际,同时也力求将现代测量领域的最新成果和技术反映出来,并注重实际,以培养学生的分析问题和解决问题的能力。为便于学生学习、复习及应用,每章前有重点内容介绍,每章后有复习思考题。

本教材以讲解道路工程测量的基本概念、原理、方法为重点,同时介绍了当今测绘学科发展水平的高新技术和先进仪器,如电子水准仪、电子经纬仪、全站仪、全球定位系统(GPS)等,并力求将新仪器和新技术的运用贯穿其中。

参加本书编写工作的有:山东交通职业学院赵树青编写第一章和第四章,郑州经贸职业学院余培杰编写第二章,新乡学院郭兵编写第三章和第五章,江西应用技术职业学院彭志良编写第六章,周口职业技术学院于晓伟编写第七章和第九章,山东水利职业学院甄红锋编写第八章,洛阳理工学院马云玲编写第十章。

全书由赵树青、甄红锋任主编,彭志良、郭兵任副主编,江西交通职业技术学院周小安副教授任主审。

本教材在编写过程中参考了有关教材和资料,并得到了众多院校教师的热心帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2007年10月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 道路工程测量的任务与作用 .....	(1)
第二节 地球的形状和大小 .....	(3)
第三节 测量坐标系 .....	(4)
第四节 用水平面代替水准面的限度 .....	(9)
第五节 测量工作的程序与原则 .....	(10)
复习思考题 .....	(12)
<b>第二章 水准测量</b> .....	(14)
第一节 高程测量的概念 .....	(14)
第二节 水准测量的原理 .....	(16)
第三节 水准测量的仪器和工具 .....	(17)
第四节 普通水准测量 .....	(22)
第五节 微倾式水准仪的检验与校正 .....	(30)
第六节 自动安平水准仪 .....	(33)
第七节 电子水准仪简介 .....	(36)
第八节 水准测量误差及注意事项 .....	(38)
复习思考题 .....	(40)
<b>第三章 角度测量</b> .....	(43)
第一节 角度测量原理 .....	(43)
第二节 光学经纬仪 .....	(44)
第三节 水平角测量 .....	(49)
第四节 竖直角测量 .....	(54)
第五节 经纬仪的检验和校正 .....	(58)
第六节 电子经纬仪简介 .....	(62)
第七节 水平角观测误差来源及削减措施 .....	(64)
复习思考题 .....	(65)
<b>第四章 距离测量与直线定向</b> .....	(68)
第一节 钢尺量距 .....	(68)
第二节 视距测量 .....	(73)
第三节 直线定向 .....	(76)
第四节 罗盘仪的构造与使用 .....	(78)
第五节 电磁波测距 .....	(79)

复习思考题 .....	(81)
<b>第五章 测量误差基本知识 .....</b>	<b>(83)</b>
第一节 测量误差及其分类 .....	(83)
第二节 评定观测值精度的标准 .....	(85)
第三节 算术平均值及其观测值的中误差 .....	(87)
第四节 误差传播定律及其应用 .....	(91)
复习思考题 .....	(95)
<b>第六章 小区域控制测量 .....</b>	<b>(96)</b>
第一节 控制测量概述 .....	(96)
第二节 导线测量 .....	(97)
第三节 交会测量 .....	(104)
第四节 高程控制测量 .....	(107)
第五节 GPS 测量技术 .....	(111)
复习思考题 .....	(117)
<b>第七章 地形图的测绘与应用 .....</b>	<b>(119)</b>
第一节 地形图的基本知识 .....	(119)
第二节 测图前的准备工作 .....	(126)
第三节 地形图的测绘 .....	(128)
第四节 地形图的应用 .....	(131)
复习思考题 .....	(138)
<b>第八章 道路中线测量 .....</b>	<b>(140)</b>
第一节 概 述 .....	(140)
第二节 交点和转点的测设 .....	(141)
第三节 路线转角的测定和里程桩的测设 .....	(145)
第四节 圆曲线的主点测设 .....	(149)
第五节 圆曲线的详细测设 .....	(150)
第六节 遇障碍时圆曲线的测设 .....	(156)
第七节 缓和曲线的测设 .....	(160)
第八节 复曲线的测设 .....	(167)
第九节 回头曲线的测设 .....	(169)
第十节 用全站仪测设道路中线 .....	(170)
复习思考题 .....	(178)
<b>第九章 路线纵、横断面测量 .....</b>	<b>(180)</b>
第一节 概 述 .....	(180)
第二节 基平测量 .....	(180)
第三节 中平测量 .....	(181)
第四节 横断面测量 .....	(185)
复习思考题 .....	(188)

第十章 施工测量 .....	(189)
第一节 概 述 .....	(189)
第二节 施工放样的基本方法 .....	(189)
第三节 道路施工测量 .....	(195)
第四节 桥梁施工测量 .....	(204)
第五节 隧道施工测量 .....	(209)
复习思考题 .....	(216)
参考文献 .....	(217)

# 第一章 绪 论

## 本章重点

1. 测量学的任务及分类;
2. 大地水准面;
3. 常用的测量坐标系统;
4. 用水平面代替水准面的限度;
5. 测量工作的内容及基本原则。

## 第一节 道路工程测量的任务与作用

### 一、测量学及其任务

测量学是一门研究如何测定地球表面上点的位置,如何将地球表面的形状及其信息测绘成图,如何确定地球的形状和大小,并将设计图纸上的工程构造物在实地上定位的科学。它的任务包括两个部分:测绘和测设。

测绘是指运用测量仪器和工具,通过实地测量和计算得到一系列测量信息,把地球表面的地形绘制成图或编制成数据资料,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用。

测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构造物的位置在地面上用特定的方式标定出来,作为施工的依据。又称施工放样。

### 二、测量学的分类

测量学按照研究范围和对象的不同,可划分为如下几个分支。

#### (一)大地测量学

它是研究和测定地球的形状、大小和重力场、地球的整体与局部运动和测定地面点的几何位置以及它们的变化理论和技缩的科学。由于全球定位系统(GPS)、卫星激光测距(SLR)、甚长基线干涉(VLBI)和卫星测高(SA)等新技术的引进,导致大地测量从分维式发展到整体式,从静态发展到动态,从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理-几何空间,从地表层测量发展到地球内部结构的反演,从局部参考坐标系中的地区性大地测量发展到统一地心坐标系中的全球性大地测量。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。

#### (二)摄影测量与遥感学

它是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据,从中提取几何的或物理的



信息,并用图形、图像和数字形式表达目标物的空间分布及相互关系的科学,这一科学过去称为摄影测量学。摄影测量本身已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”的发展历程,现在正进入“数字摄影测量阶段”。由于现代航天技术和计算机技术的发展,当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得的黑白像片更丰富的影像信息,因此在摄影测量中引进了遥感技术。目前,遥感技术不仅自身在飞速发展,而且与卫星定位技术和地理信息技术相集成,成为地球空间信息的科学技术。

### (三) 地图制图学与地理信息工程

它是研究利用地图图形科学地、概括抽象地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的科学。当今,随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具,地图制图学已经进入数字(电子)制图和动态制图的阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的科学。

### (四) 海洋测量学

它是海洋水体和海底为测绘对象,研究测量及海图编制的理论和方法的科学,主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。同陆地测绘相比,海洋测绘具有其独自的特点,主要有:①测量内容综合性强,要同时完成多种观测项目,需多种仪器配合施测;②测区条件复杂,大多为动态作业;③肉眼不能通视水域底部,精确测量难度较大等。因此,海洋测绘的基本理论、技术方法和测量仪器设备有许多不同于陆地测量之处。

### (五) 工程测量学

它是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段所进行的控制测量、地形测绘、施工放样和变形监测的理论和技术的科学。它是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用。

工程测量按工程建设的规划设计、施工建设和运营管理等三个阶段分为“工程勘测”、“施工测量”和“变形监测”,而现代工程测量已远远突破了仅仅为工程建设服务的狭隘概念,向着所谓“广义工程测量学”发展,正如瑞士苏黎世高等工业大学马西斯教授所指出:“一切不属于地球测量,不属于国家地图集范畴的地形测量和不属于公务测量的应用测量,都属于工程测量”。现代工程测量的发展趋势和特点可概括为“六化”和“十六字”:

(1)“六化”。即测量内外业作业的一体化;数据获取及处理的自动化;测量过程控制和系统行为的智能化;测量成果和产品的数字化;测量信息管理的可视化;信息共享和传播的网络化。

(2)“十六字”。即精确、可靠、快速、简便、连续、动态、遥测、实时。

本教材主要介绍测量学在道路工程测量中的有关应用。

## 三、道路工程测量的任务和作用

道路工程测量是研究道路工程建设在道路勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的

各种测量工作的学科,是在数学、物理学等有关学科的基础上应用各种测量技术解决道路工程建设中实际测量问题的学科,它是一门应用科学。

道路工程测量工作在道路工程建设中起着重要的作用。在公路建设中,为获得一条最经济、最合理的路线,首先要进行路线勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,进行纸上定线和路线设计,并将设计好的路线平面位置、纵坡及路基边坡等在地面上标定出来,以便指导施工。当路线跨越河流时,拟设置桥梁之前,应测绘河流两岸的地形图,测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面,为桥梁方案选择及结构设计提供必要的的数据。当路线穿越高山,采用隧道时,应测绘隧址处地形图,测定隧道的轴线、洞口、竖井等的位置,为隧道设计提供必要的的数据。

总之,道路、桥梁、隧道的勘测、设计、施工等各个阶段都离不开测量技术。因此,作为一名从事道桥专业的技术人员,必须具备测量学的基本理论、知识和技能,才能为我国的交通建设事业做出贡献。

## 第二节 地球的形状和大小

地球的自然表面十分复杂,有高山、丘陵、平原和海洋等,高低不平,很不规则。就整个地球而言,海洋面积约占地球总面积的71%,陆地面积约占29%。测量工作是在地球的自然表面上进行的,所以必须知道地球的形状和大小。

为了确定地面点的位置并绘制地形图,就有必要把直接观测的数据结果归化到一个参考面上,而这个参考面必须尽可能与地球形体的表面相吻合,因此我们有必要了解地球的形体和与测量有关的坐标系的问题。

### 一、大地水准面

尽管地球的表面高低不平,极不规则,甚至高低相差很大,如最高的珠穆朗玛峰高出海平面达8 844.43 m,最低的太平洋西部的马里亚纳海沟低于海平面达11 034 m。尽管有这样大的高低起伏,但它们均小于地球半径6 371 km的0.18%,故对地球形状的影响可以忽略不计。又由于地球表面的71%被海水所覆盖,因此可以把海水面延伸至陆地,将所包围的地球形体看做地球总的形状。

设想有一个自由静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭曲面,这个曲面我们称之为水准面。水准面作为流体的水面是受地球重力影响而形成的重力等势面,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。由于海水有潮汐,海水面时高时低,因此水准面有无数个,我们将其中一个与平均海平面相吻合的水准面称为大地水准面,如图1-1(a)所示。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

此外,我们将重力的方向线称为铅垂线,铅垂线是测量工作的基准线。

由于海水面受潮汐和风浪的影响,是个动态的曲面,平均静止的海水面实际在大自然中是不存在的。为此,我国在青岛设立验潮站,长期观察和记录黄海海水面的高低变化,取其平均值作为我国大地水准面的位置(其高程为零),并在青岛建立了水准原点。

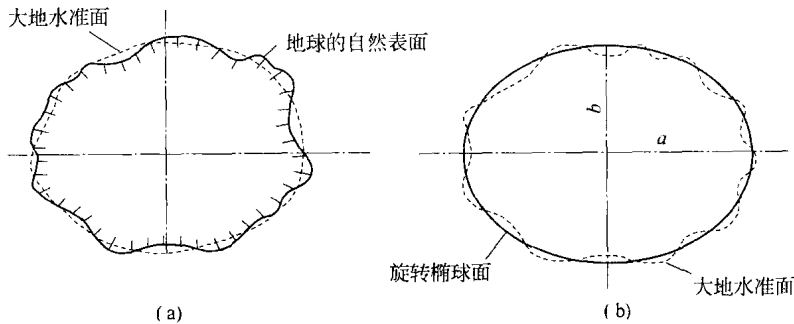


图 1-1 地球的自然表面、大地水准面和旋转椭球面

## 二、旋转椭球面

用大地体表示地球的形状是比较恰当的,但是由于地球内部质量分布不均匀,引起局部重力异常,导致铅垂线的方向产生不规则的变化,使得大地水准面上也有微小的起伏,如图 1-1(b)所示,成为一个复杂的曲面,因此无法在这个复杂的曲面上进行测量数据的处理。

长期的测量实践研究表明,地球形状接近于一个两极稍扁的旋转椭球。它是由一个椭圆绕其短轴旋转而成,如图 1-1(b)所示。这样,测量工作的基准面为大地水准面,而测量计算工作的基准面为旋转椭球面。

旋转椭球的形状和大小可由其长半轴  $a$  (或短半轴  $b$ ) 和扁率  $\alpha$  来表示。我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素为

长半轴:  $a = 6\,378.140\text{ km}$ ;

短半轴:  $b = 6\,356.755\text{ km}$ ;

扁率:  $\alpha = \frac{a-b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$ 。

由于旋转椭球的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把旋转椭球看做圆球,其半径近似值为

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6\,371\text{ km}$$

## 第三节 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置,需要建立测量坐标系。在一般工程测量中,确定地面点的空间位置,通常需要三个量,即该点在一定坐标系下的三维坐标,或该点的二维球面坐标或该点投影到平面上的二维平面坐标,以及该点到大地水准面的铅垂距离(高程)。为此,我们必须研究测量中常用的坐标系。

### 一、大地坐标系

用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示地面点投影到旋转椭球面上位置的坐标,称为大地

坐标系,亦称为大地地理坐标系。该坐标系以参考椭球面和法线分别作为基准面和基准线。

如图 1-2 所示,NS 为地球的自转轴(或称地轴),N 为北极,S 为南极。过地面任一点与地轴 NS 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线或经线。国际公认通过英国格林尼治(Greenwich)天文台的子午面,是计算经度的起算面,称为首子午面。

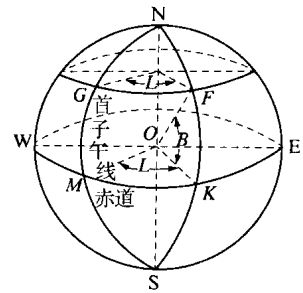


图 1-2 大地坐标系

过 F 点的子午面 NFKSON 与首子午面 NGMSON 所成的两面角,称为 F 点的大地经度。它自首子午线向东或向西由  $0^\circ$  起算至  $180^\circ$ ,在首子午线以东者为东经或写成  $0^\circ \sim 180^\circ\text{E}$ ,以西者为西经或写成  $0^\circ \sim 180^\circ\text{W}$ 。

垂直于地轴 NS 的平面与地球球面的交线称为纬线;通过球心 O 并垂直于地轴 NS 的平面,称为赤道平面。赤道平面与球面相交的纬线称为赤道。过 F 点的法线(与旋转椭球面垂直的线)与赤道面的夹角,称为 F 点的大地纬度。在赤道以北者为北纬或写成  $0^\circ \sim 90^\circ\text{N}$ ,在赤道以南者为南纬或写成  $0^\circ \sim 90^\circ\text{S}$ 。

例如,我国首都北京位于北纬  $40^\circ$ 、东经  $116^\circ$ ,也可用  $B = 40^\circ\text{N}$ 、 $L = 116^\circ\text{E}$  表示。

用大地坐标表示的地面点,统称大地点。一般而言,大地坐标是由大地经度 L、大地纬度 B 和大地高 H 三个量组成的,用以表示地面点的空间位置。

新中国成立初期,我国采用的大地坐标系为“1954 年北京坐标系”,亦称“北京 - 54 坐标系”(简称  $P_{54}$ )。该坐标系采用了原苏联的克拉索夫斯基椭球体,其参数是:长半轴  $a = 6\,378.245\text{ km}$ ;扁率  $\alpha = 1/298.3$ ;坐标原点位于原苏联的普尔科沃。

我国目前采用的大地坐标为“1980 年国家大地坐标系”,亦称“西安 - 80 坐标系”(简称  $C_{80}$ ),是根据椭球定位的基本原理和我国的实际地理位置建立的,大地原点设在陕西省西安市泾阳县永乐镇。椭球参数采用 1975 年国际大地测量与地球物理联合会的推荐值:椭球长半轴  $a = 6\,378.140\text{ km}$ ;扁率  $\alpha = 1/298.257$ 。

## 二、地心坐标系

地心坐标系属于空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动,地心坐标系取地球质心为坐标原点 O。 $x$ 、 $y$  轴在地球赤道平面内,首子午面与赤道平面的交线为  $x$  轴, $z$  轴与地球自转轴相重合,如图 1-3 所示。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标  $x_A$ 、 $y_A$  和  $z_A$  表示。

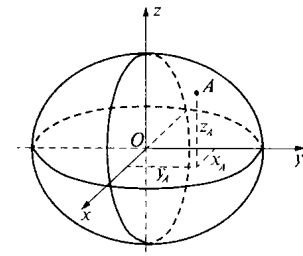


图 1-3 地心坐标系

地心坐标和大地坐标可以通过一定的数学公式进行换算。

## 三、高斯 - 克吕格平面直角坐标系

在工程测量中,常将椭球坐标系按一定的数学法则投影到平面上成为平面直角坐标系。为满足工程测量及其他工程上的应用,我国采用高斯 - 克吕格投影,简称高斯

(Gauss) 投影。

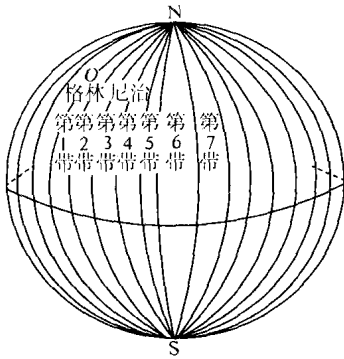


图 1-4 高斯投影分带

高斯投影法是将地球划分成若干带,然后将每带投影到平面上,如图 1-4 所示。投影带是从首子午线起,每隔经差 6°划一带(称为 6°带),自西向东将整个地球划分成经差相等的 60 个带,各带从首子午线起,自西向东依次用数字 1、2、3、…、60 表示。位于各带中央的子午线,称为该带的中央子午线。第一个 6°带的中央子午线的经度为 3°,任意带的中央子午线经度  $L_0$  可按式计算

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

式中  $N$ ——投影带的号数。

按上述方法划分投影带后,即可进行高斯投影。如图 1-5(a) 所示,设想将一个平面卷成一个空心圆柱,把它横着套在旋转椭球外面,使圆柱的中心轴线位于赤道面内并通过球心,且使旋转椭球上某 6°带的中央子午线与圆柱面相切。在椭球面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的情况下,将整个 6°带投影到圆柱面上。然后将圆柱沿着通过南北极的母线切开并展成平面,便得到 6°带在平面上的影像,如图 1-5(b) 所示。中央子午线经投影展开后是一条直线,以此直线作为纵轴,即  $x$  轴;赤道是一条与中央子午线相垂直的直线,将它作为横轴,即  $y$  轴;两直线的交点作为原点,则组成了高斯平面直角坐标系。将投影后具有高斯平面直角坐标系的 6°带一个个拼接起来,便得到如图 1-6 所示的图形。

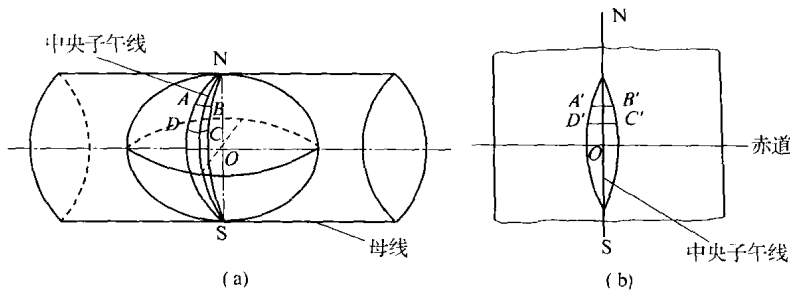


图 1-5 高斯投影

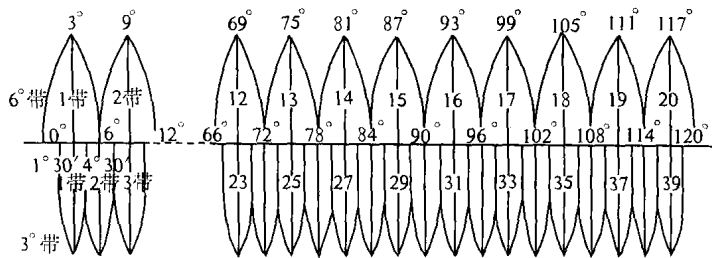


图 1-6 6°带和 3°带投影

我国位于北半球,  $x$  坐标均为正值,而  $y$  坐标有正有负。为避免横坐标  $y$  出现负值,故规定把坐标纵轴向西平移 500 km,如图 1-7 所示。另外,为了根据横坐标能确定该点位

于哪一个  $6^\circ$  带内,还规定在横坐标值前冠以带号,例如,  $y_A = 20\ 225\ 760\text{ m}$ ,表示  $A$  点位于第 20 带内,其真正的横坐标值为:  $225\ 760\text{ m} - 500\ 000\text{ m} = -274\ 240\text{ m}$ 。

高斯投影中,离中央子午线近的部分变形小,离中央子午线愈远变形愈大,两侧对称。当测绘大比例尺图要求投影变形更小时,可采用  $3^\circ$  分带投影法。它是从东经  $1^\circ 30'$  起,自西向东每隔经差  $3^\circ$  划分一带,将整个地球划分为 120 个带,每带中央子午线的经度  $L'_0$  可按下式计算

$$L'_0 = 3 \times n \quad (1-2)$$

式中  $n$  ——  $3^\circ$  带的号数。

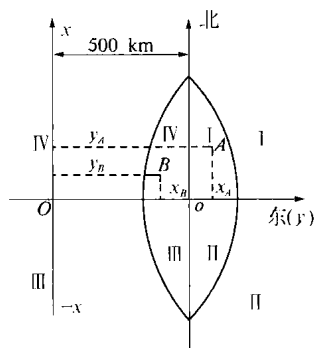


图 1-7 高斯平面直角坐标

#### 四、独立平面直角坐标系

大地水准面虽然是曲面,但当测量区域较小(如半径不大于 10 km 的范围)时,可以用测区中心点  $a$  的切平面来代替曲面,如图 1-8 所示。地面点在切平面上的投影位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标系如图 1-9 所示。以两条互相垂直的直线为坐标轴,两轴的垂点为坐标原点,规定南北方向为纵轴,并记为  $x$  轴, $x$  轴向北为正,向南为负;以东西方向为横轴,并记为  $y$ , $y$  轴向东为正,向西为负。地面上某点  $P$  的位置可用  $x_p$  和  $y_p$  表示。平面直角坐标系中象限按顺时针方向编号。

$x$  轴与  $y$  轴和数学上规定的互换,其目的是为了定向方便(测量上习惯以北方向为起始方向),且将数学上的公式直接照搬到测量的计算工作中,不需作任何变更。原点  $O$  一般选在测区的西南角,如图 1-9 所示,使测区内各点的坐标均为正值。

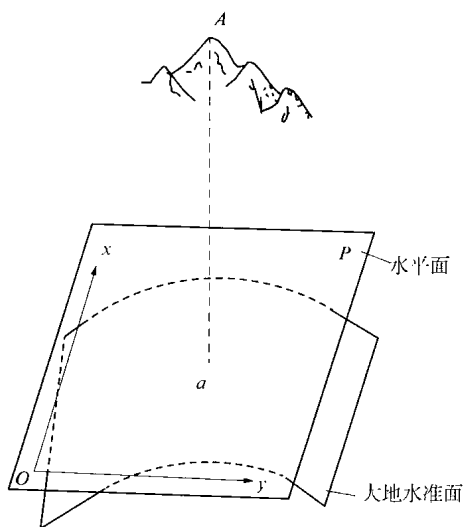


图 1-8 以切平面代替曲面

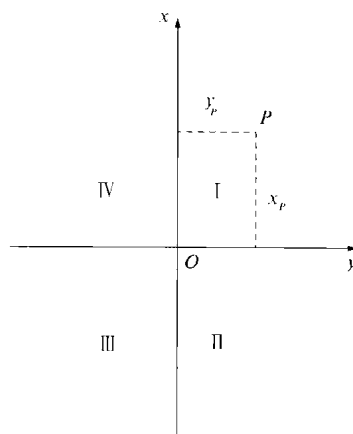


图 1-9 独立平面直角坐标系

## 五、高程系统

为了确定地面点的空间位置,除了要确定其在基准面上的投影位置外,还应确定其沿投影方向到基准面的距离,即确定地面的高程。

为了建立全国统一的高程系统,必须确定一个高程基准面。统一采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面,平均海水面的确定是通过验潮站多年验潮资料来求定的。我国确定平均海水面的验潮站设在青岛,根据青岛验潮站 1950~1956 年 7 年验潮资料求定的高程基准面,称为“1956 年黄海平均高程面”,以此基准面建立了“1956 年黄海高程系”。我国自 1959 年开始,统一采用 1956 年黄海高程系。

由于海洋潮汐长期变化周期为 18.6 年,经对 1952~1979 年验潮资料的计算,确定了新的平均海水面,称为“1985 年国家高程基准”。经国务院批准,我国自 1987 年开始采用“1985 年国家高程基准”。

为确定平均海水面的高程,必须设立与验潮站相联系的水准点作为高程起算点,这个水准点叫水准原点。我国水准原点设在青岛市观象山上,全国各地的高程都以它为基准进行测算。“1956 年黄海高程系”的水准原点高程为 72.289 m,“1985 年国家高程基准”的水准原点高程为 72.260 m。

在一般测量工作中均以大地水准面作为高程基准面。地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔,通常以  $H_i$  表示。如图 1-10 所示,  $H_A$  和  $H_B$  即为 A 点和 B 点的绝对高程。

当个别地区引用绝对高程有困难时,可采用假定高程系统,即采用任意假定的水准面作为高程起算的基准面。如图 1-10 所示,地面点到假定水准面的铅垂距离,如  $H'_A$  和  $H'_B$ ,称为假定高程。

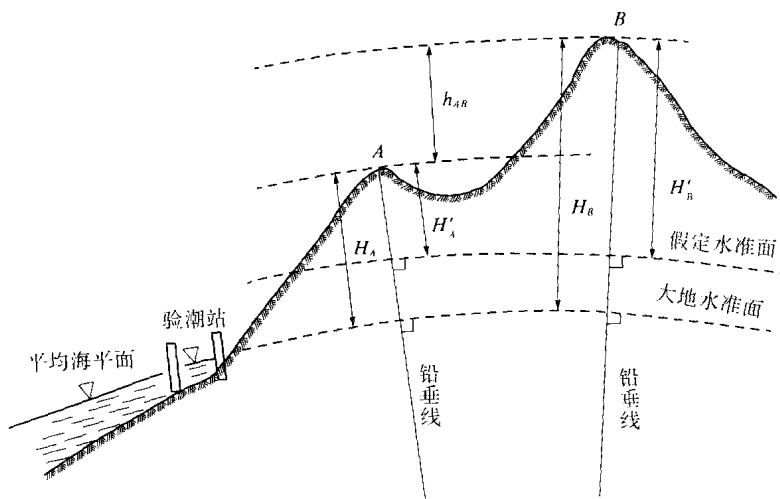


图 1-10 高程和高差

地面上两个点之间的高程差称为高差,通常用  $h_{ij}$  表示。如地面点  $A$  与点  $B$  之间的高差为  $h_{AB}$ ,即

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

由此可见,两点间的高差与高程起算面无关。

## 第四节 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面。从理论上讲,即使将极小部分的水准面当做平面看待,也是要产生变形的。但是由于测量和绘图的过程中都不可避免地产生误差,若将小范围的水准面当做平面看待,其产生的误差不超过测量和绘图的误差,那么这样做是可以的,而且也是合理的。下面来讨论以水平面代替水准面时对距离和高程的影响,以便明确用水平面代替基准面的范围。

### 一、对距离的影响

如图 1-11 所示, $A$ 、 $B$ 、 $C$  是地面点,它们在大地水准面上的投影点分别为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ,用该区域中心点的切平面代替大地水准面后,地面点在水平面上的投影点是  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ ,现分析由此而产生的影响。设  $A$ 、 $B$  两点水准面上的距离为  $D$ ,在水平面上的距离为  $D'$ ,则两者之差为  $\Delta D$ ,即用水平面代替水准面所引起的距离差异。在推导公式时,近似地将大地水准面视为半径为  $R$  的球面,则有

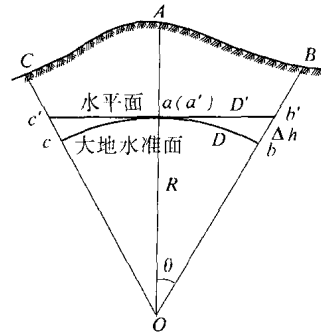


图 1-11 水平面代替水准面的影响

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-4)$$

将  $\tan\theta$  展开成级数:  $\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$

由于  $\theta$  角很小,因此可略去三次方以上的高次方项,只取其前两项代入式(1-4)中,得

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

又因  $\theta = D/R$ ,故

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-5)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-6)$$

在式(1-5)、式(1-6)中,取地球半径  $R = 6\,371$  km,当距离  $D$  取不同的值时,则得到不同的  $\Delta D$  和  $\Delta D/D$ ,其结果列入表 1-1 中。

从表 1-1 可以看出,当  $D = 10$  km 时,所产生的相对误差为 1:1 250 000,这样小的误差,对精密量距来说也是允许的。因此,在半径为 10 km 的面积之内进行距离测量时,用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计,即可不考虑地球曲率对距离的影响。



表 1-1 用水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 $D$ (km)	距离误差 $\Delta D$ (cm)	相对误差 $\Delta D/D$	距离 $D$ (km)	距离误差 $\Delta D$ (cm)	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1:1 250 000	50	102.6	1:49 000
25	12.8	1:200 000	100	821.2	1:12 000

## 二、对高程的影响

在图 1-11 中,地面上点  $B$  的高程应是铅垂距离  $bB$ ,如果用水平面作基准面,则  $B$  点的高程为  $b'B$ ,两者之差为  $\Delta h$ ,即为对高程的影响。从图中可得

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (1-7)$$

将  $\sec \theta$  展开成级数  $\sec \theta = 1 + \frac{1}{2}\theta^2 + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$

因  $\theta$  角很小,因此只取其前两项代入式(1-7),又因  $\theta = D/R$ ,则得

$$\Delta h = R(1 + \frac{1}{2}\theta^2 - 1) = \frac{1}{2}R\theta^2 = \frac{D^2}{2R} \quad (1-8)$$

取  $R = 6\,371\text{ km}$ ,用不同的距离  $D$  代入式(1-8),便得表 1-2 所列的结果。

表 1-2 用水平面代替水准面的高差误差

$D$ (km)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00
$\Delta h$ (cm)	0.08	0.31	0.71	1.26	1.96	7.85	31.39	196.20	784.81

从表 1-2 可以看出,用水平面作基准面对高程的影响是很大的。例如,距离为 200 m 时就有 0.31 cm 的高程误差,在 500 m 时高程误差达 1.96 cm,这在测量中是不允许的。因此,就高程测量而言,即使距离很短,也必须用水准面作为测量的基准面,即应考虑地球曲率对高程的影响。

## 第五节 测量工作的程序与原则

地球表面的各种形态(或简称为地形),可分为地物和地貌两大类。地面上所有人工或自然形成的固定性物体如河流、湖泊、道路和房屋等,称为地物;地面上高低起伏形态如山岭、谷地和陡崖等,称为地貌。下面以地物和地貌测绘到图纸上为例,介绍测量工作的程序和原则。

图 1-12(a)所示为一幢房屋。其平面位置由房屋轮廓线的一些折线组成,如能确定 1~8 各点的平面位置,则这幢房屋的位置就确定了。图 1-12(b)所示是一条河流,它的岸边线虽然很不规则,但弯曲部分可看成是由折线所组成,只要确定 9~16 各点的平面位置,这条河流的位置也就确定了。至于地貌,其地势起伏变化虽然复杂,但仍可看成是由许多不同方向、不同坡度的平面相交而成的几何体。相邻平面的交线就是方向变化线和坡度变化线。只要确定出这些方向变化线与坡度变化线上转折点的平面位置和高程,地