

高等院校土木工程专业规划教材

GONGCHENG CELIANG

# 工程测量

孔德志 主编



黄河水利出版社

高等院校土木工程专业规划教材

# 工 程 测 量

孔德志 主编

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书是在国家教育部关于本科教育宽口径的指导思想下,根据全国高等学校土木工程和建筑学专业指导委员会编制的相应的本科教育培养目标和培养方案及课程教学基本要求而编写的。全书共分为14章:第一~五章主要介绍测量学的基本知识和基本测量技能,包括一些主要测量仪器的测量原理和使用方法及测量误差的基本知识;第六~八章主要介绍控制测量及大比例尺地形图的基本知识和大比例尺地形图的测绘方法;第九~十三章主要介绍土建类各专业方向的工程应用测量基本技术,包括建筑工程、水利工程、地下工程、道路工程的施工测量和古建筑测绘技术;第十四章对现代测量学新技术和应用情况进行了简单介绍。

本书可作为高等学校土木工程、水利工程、建筑学、城市规划等专业本科生教材,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

工程测量/孔德志主编. — 郑州:黄河水利出版社,  
2006.12  
高等院校土木工程专业规划教材  
ISBN 7-80734-156-4

I. 工… II. 孔… III. 工程测量—高等学校—  
教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 165247 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:hhslcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:19.75

字数:457千字

印数:1—4 100

版次:2006年12月第1版

印次:2006年12月第1次印刷

---

书号:ISBN 7-80734-156-4/TB·16

定价:32.00元

# 前 言

随着科学技术的发展,社会对人才的需求更加向复合型发展。1998年教育部颁布了新的专业目录,将原来的500多个专业进行了合并与调整,这标志着我国人才培养模式向专业宽口径转变。随后全国土建类各专业指导委员会相继制定了各专业培养目标和培养方案指导性大纲,这对全国土建类专业的本科教学具有重要指导作用。2005年初长江大学、河南大学、南京工程学院等部分高校土建院系负责人进行教学研讨时提出,当前全国土建类教材很多,其中也有许多优秀教材,但是由于各高校学生的基础和特点具有一定的差异,有时选到十分适合的教材也很难,所以决定编辑出版一套具有一定特色的土建类专业教材,以适应当前普通高校土建类专业本科教学的需要和要求。

《工程测量》是高等学校土建类专业一门重要的专业基础课,是从事工程勘测、设计、施工和管理的基础。本书是在国家教育部关于本科教育宽口径的指导思想下,根据全国高等学校土木工程和建筑学专业指导委员会编制的相应的本科教育培养目标和培养方案及课程教学基本要求而编写的,在编写过程中参考了一些同类教材,结合编者多年的教学经验,并吸收了近年来测量学的一些最新科研成果,在内容上注重基本概念和基本技能的学习和训练,并力求做到概念清晰、层次分明,以便于教学和学习。全书共分四部分:第一部分(第一~五章),主要介绍测量学的基本知识和基本测量技能,包括一些水准仪、经纬仪、钢尺、光电测距仪等主要测量仪器的测量原理和使用方法及测量误差基本知识;第二部分(第六~八章),主要介绍控制测量及大比例尺地形图的基本知识和大比例尺地形图的测绘方法;第三部分(第九~十三章),主要介绍土建类各专业方向工程应用测量基本技术,包括建筑工程、水利工程、地下工程、道路工程的施工测量和古建筑测绘技术,在教学中可根据专业方向进行选修;第四部分(第十四章),对现代测量学新技术和应用情况进行了简单介绍,这部分内容在现代工程应用中范围正逐步扩大,因此有必要使学生有所了解。各章均附有习题,以供学生进行练习和思考,加强对基本理论和基本方法的理解,培养学生动手、实践和创新能力。本书可作为高等学校土木工程、水利工程、建筑学、城市规划等专业本科生教材,也可供相关专业工程技术人员学习参考。

本书由河南大学孔德志担任主编,洛阳大学林伟民和长江大学杜国锋担任副主编。参加编写的人员有:孔德志(第一章和第十三章)、林伟民(第三章和第九章)、赵国平(第四章和第十一章)、杜国锋(第二章和第十二章)、孔祥国(第六章和第十章)、尚纪斌(第七章和第八章)和郭丙军(第五章和第十四章)等;全书第一~六章由林伟民进行统稿,第七~十四章由杜国锋进行统稿,由孔德志进行了全书最后统稿工作。

南京工程学院何培玲、河北建筑工程学院李延涛、河南大学鲍鹏、洛阳大学张建设、长江大学许成祥等各位教授对本书的编写工作提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年8月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪 论</b> .....	(1)
第一节 工程测量的任务.....	(1)
第二节 地面点位置的确定.....	(2)
第三节 水准面与水平面.....	(6)
第四节 工程测量工作的基本原则和程序.....	(8)
第五节 测量学的发展概况.....	(9)
习 题 .....	(11)
<b>第二章 水准测量</b> .....	(12)
第一节 高程测量概述 .....	(12)
第二节 水准测量原理 .....	(12)
第三节 水准测量的仪器和工具 .....	(14)
第四节 水准仪的使用 .....	(20)
第五节 水准测量的施测方法 .....	(22)
第六节 水准测量的成果计算 .....	(26)
第七节 水准仪的检验与校正 .....	(28)
第八节 水准测量的误差与注意事项 .....	(31)
第九节 面水准测量 .....	(34)
第十节 精密水准仪与自动安平水准仪 .....	(35)
习 题 .....	(39)
<b>第三章 角度测量</b> .....	(41)
第一节 水平角与竖直角测量原理 .....	(41)
第二节 光学经纬仪 .....	(42)
第三节 水平角测量 .....	(47)
第四节 竖直角测量 .....	(51)
第五节 角度测量误差与注意事项 .....	(55)
第六节 经纬仪的检验与校正 .....	(57)
第七节 电子经纬仪 .....	(62)
习 题 .....	(64)
<b>第四章 钢尺量距和直线定线</b> .....	(67)
第一节 钢尺量距 .....	(67)
第二节 视距测量 .....	(77)
第三节 直线定向 .....	(80)

第四节	坐标正、反算	(83)
第五节	电磁波测距	(84)
习 题		(91)
<b>第五章</b>	<b>测量误差的基本知识</b>	(93)
第一节	概 述	(93)
第二节	测量误差的分类	(93)
第三节	评定精度的标准	(96)
第四节	误差的传播定律	(98)
第五节	观测值的算术平均值	(100)
第六节	观测值的中误差	(101)
第七节	权与定权的常用方法	(102)
第八节	观测值函数的权	(103)
习 题		(104)
<b>第六章</b>	<b>小区域控制测量</b>	(105)
第一节	控制测量概述	(105)
第二节	图根导线测量	(110)
第三节	交会法测量	(119)
第四节	高程控制测量	(123)
第五节	三角高程测量	(126)
习 题		(129)
<b>第七章</b>	<b>大比例尺地形图的基本知识</b>	(131)
第一节	地形图的比例尺	(131)
第二节	地形图的图名、图号和图廓	(132)
第三节	地物在大比例尺地形图上的表示方法	(134)
第四节	地貌在大比例尺地形图上的表示方法	(137)
第五节	地形图的应用	(139)
习 题		(148)
<b>第八章</b>	<b>大比例尺地形图测绘</b>	(149)
第一节	地形图测绘准备工作	(149)
第二节	平板仪的构造和使用	(150)
第三节	碎部测量方法	(152)
第四节	地形图的绘制	(156)
第五节	地形图的拼接、检查、整饰和验收	(158)
第六节	全站型电子速测仪	(160)
习 题		(169)
<b>第九章</b>	<b>建筑工程施工测量</b>	(170)
第一节	概 述	(170)
第二节	建筑场地上的施工控制测量	(171)

第三节	多层与高层建筑的轴线投测和标高传递·····	(175)
第四节	民用建筑施工中的测量工作·····	(179)
第五节	工业厂房控制网的测设·····	(185)
第六节	厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量·····	(187)
第七节	工业厂房构件的安装测量·····	(189)
第八节	烟囱、水塔的施工测量·····	(192)
第九节	建筑物的沉降观测与倾斜观测·····	(193)
第十节	竣工总平面图的编绘·····	(200)
习 题	·····	(201)
<b>第十章</b>	<b>水利工程测量</b> ·····	(202)
第一节	渠道及堤线中线测量·····	(202)
第二节	圆曲线测绘·····	(203)
第三节	纵横断面测绘·····	(208)
第四节	土方计算·····	(212)
第五节	渠道断面的放样·····	(214)
第六节	管道测量·····	(216)
第七节	土坝的施工放样·····	(221)
第八节	水闸的施工放样·····	(225)
习 题	·····	(227)
<b>第十一章</b>	<b>地下工程施工测量</b> ·····	(229)
第一节	概 述·····	(229)
第二节	建立地面控制网·····	(230)
第三节	地面与地下联测·····	(233)
第四节	地下导线和地下水准测量·····	(244)
第五节	隧道开挖中的测量工作·····	(247)
第六节	洞室施工测量·····	(251)
第七节	竣工图测绘·····	(254)
习 题	·····	(255)
<b>第十二章</b>	<b>道路工程测量</b> ·····	(256)
第一节	概 述·····	(256)
第二节	中线复测·····	(256)
第三节	竖曲线的测设·····	(259)
第四节	路基、路面施工放样·····	(261)
第五节	桥、涵施工测量·····	(265)
习 题	·····	(272)
<b>第十三章</b>	<b>古建筑测绘</b> ·····	(273)
第一节	概 述·····	(273)
第二节	古建筑测绘的工具·····	(275)



第三节	古建筑测绘的内容·····	(276)
第四节	古建筑测绘的方法和原则·····	(288)
习 题	·····	(295)
<b>第十四章</b>	<b>“3S”技术的集成与应用简介</b> ·····	(296)
第一节	地理信息系统·····	(296)
第二节	全球定位系统·····	(299)
第三节	遥感技术系统·····	(304)
习 题	·····	(306)
<b>参考文献</b>	·····	(307)

# 第一章 绪 论

## 第一节 工程测量的任务

测量学,亦称测绘学,是研究地球的形状、大小和地表包括地面上各种物体的几何形状及其空间位置的科学。它的内容包括测定和测设两部分:测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算得到一系列的数据,再把地球表面的地物和地貌缩绘成地形图,供规划设计、经济建设、国防建设和科学研究使用;测设是指将图上规划设计好的建筑物、构筑物位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

随着社会生产和科学技术的不断发展,根据研究对象和工作任务的不同,测量学可划分为大地测量学、地形测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、地图制图学、海洋测绘和测绘仪器等几门主要分支学科。

**大地测量学** 大地测量学是研究在地球表面广大区域内建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术和方法的学科。大地测量为地形测量及各种测绘工作提供平面和高程控制基础,直接为国民经济各部门和国防建设服务,为地球科学、空间科学及地震预报等相关科学提供资料。

**地形测量学** 地形测量学是研究测绘地形图的理论、技术与方法的学科。地形测量就是将地球表面的地物、地貌及其他信息测绘成按一定比例尺和图式符号表示的地形图,以满足国民经济建设、国防建设、科学研究等各个方面的需要。

**摄影测量与遥感学** 摄影测量与遥感学是对地球表面与物体的摄影像片或辐射能图像信息进行处理、量测、判释和研究,以测得地面与物体的形态、大小和位置的模拟形式的图形或数学形式的信息成果,以及研究关于环境可靠性信息等方面的理论、方法和技术的学科。摄影测量与遥感技术在大比例尺地形测量、各种工程测量、无接触测量及特种图像信息量测等方面得到了广泛的应用。

**工程测量学** 工程测量学是研究矿山、道路、水利、军事、工业与民用建筑等各种工程建设在勘察设计、施工安装、营运管理等阶段中各项测量工作的理论、技术与方法的学科。工程测量的主要任务是建立工程控制网,提供规划设计所必需的地形图、断面图和其他数据,进行建筑物、构筑物的施工放样、竣工测量、沉陷和变形观测等,并进行长期的安全监测工作。

**地图制图学** 地图制图学是以地图信息传输为中心,探讨地图的理论实质、制作技术和使用方法的综合性学科。地图制图学最终为国民经济各部门、教育、科研和国防建设提供制作精美的各种比例尺的普通地图、专用地图、三维地图模型及地球仪等。

**海洋测绘** 海洋测绘是研究测绘海岸、水面及海底自然与人工形态及其变化状况的理论、方法和技术的综合性学科。海洋测绘是综合性很强的技术学科,广泛应用现代测绘

技术、空间定位技术、水下定位与海底探测及自动扫描技术等。

**测绘仪器学** 测绘仪器学是以光学、精密机械、电子和计算机等技术和工艺为手段,研究解决各种测绘仪器的设计、制造、使用和维护等理论与技术的学科。

以上各门学科,既自成系统,又是密切联系、互相配合的。本书主要讲述地形测量学、工程测量学等部分内容。着重介绍工程中常用测量仪器的构造与使用、大比例尺地形图的测绘方法和应用,以及工程建设施工测量方法等方面的内容。

测量学在国民经济建设、科学研究和现代化国防建设中都得到广泛的应用。各种工程建设的勘测规划设计、施工和运营管理等阶段都离不开测量工作。比如在河道上修建水库时,首先应测绘该流域坝址以上的地形图,作为水文计算、地质勘探、经济调查等规划设计的依据;初步设计后,又要为大坝、涵闸、厂房等水工建筑物的设计测绘较详细的大比例尺地形图;在施工过程中,又要通过施工放样指导开挖、砌筑和设备安装;工程竣工时,检查工程质量是否符合设计要求,还要进行竣工测量;在工程的使用管理过程中,为了监视运行情况,确保工程安全,应定期对大坝进行变形观测。由此可见,测量工作贯穿于工程建设的始终。作为一名工程技术人员,必须掌握必要的测量知识和技能,才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理等各项任务。

## 第二节 地面点位置的确定

测量学的任务之一是研究如何确定地面点的空间位置,而所有的测量工作都是在地球表面进行的。因此,首先要了解地球的形状和大小等基本概念。

### 一、地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,但地球表面形状十分复杂。通过长期的测绘工作和科学调查,了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%,世界第一高峰珠穆朗玛峰高达 8 848.13 m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11 022 m。尽管有这样大的高低起伏,但相对地球庞大的体积来说仍可忽略不计。因此,测量中把地球总体形状看做是由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

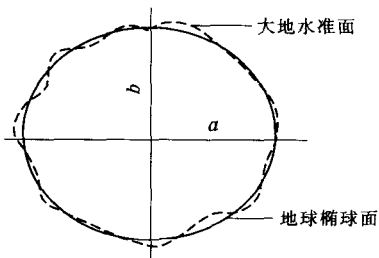


图 1-1 大地水准面

地球表面约 71% 的面积被海洋覆盖,地面高低起伏与地球半径相比很微小,所以人们通常把大地体当做地球的形体。由于地球内部质量分布的不均匀,导致地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化,因而大地水准面是一个有微小起伏的不规则曲面,不能用数学式子来表述(见图 1-1)。长期测量实践表明,大地体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球的形状十分近似,所以测绘工作便取大小与大地体很接近的旋转椭球作为地球的参考形状

和大小(见图 1-2)。世界各国通常均采用旋转椭球代表地球的形状,并称其为“地球椭球”。测量中把与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球;把与某个区域,如一个国家

大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其椭球面称为参考椭球面。由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个。我国目前采用的旋转椭球体的参数值为

$$\begin{aligned} \text{长半径} & a = 6\,378\,140 \text{ m} \\ \text{短半径} & b = 6\,356\,755 \text{ m} \\ \text{扁率} & \alpha = (a - b) / a = 1 / 298.257 \end{aligned}$$

由于旋转椭球的扁率很小,所以在测量精度要求不高的情况下,可以近似地把地球当做圆球,其平均半径  $R$  为  $6\,371 \text{ km}$ 。

地球上的任一点,都同时受到两个作用力,其一是地球自转产生的离心力;其二是地心引力。这两种力的合力称为重力,重力的作用线又称为铅垂线(见图 1-3)。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。

## 二、确定地面点位的方法

地面点位通常以地面点坐标及高程来确定。

### (一)地面点的坐标

#### 1. 大地坐标

用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示地面点在参考椭球面上投影位置的坐标,称为大地坐标。

如图 1-4 所示,  $O$  为参考椭球的球心,  $NS$  为椭球的旋转轴,通过该轴的平面称为子午面(如图 1-4 中的  $NPMS$  面)。子午面与椭球面的交线称为子午线,又称为经线,其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心  $O$  且垂直于短轴的平面称为赤道面(如图 1-4 中的  $WM_0ME$ ),赤道面与参考椭球面的交线称为赤道。通过椭球面上任一点  $P$  且与过  $P$  点切平面垂直的直线  $PK$ ,称为  $P$  点的法线。地面上任一点都可以向参考椭球面作一条法线。地面点在参考椭球面上的投影,即为通过该点的法线与参考椭球面的交点。

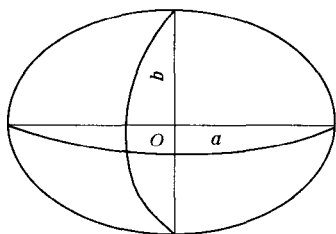


图 1-2 参考椭球



图 1-3 铅垂线

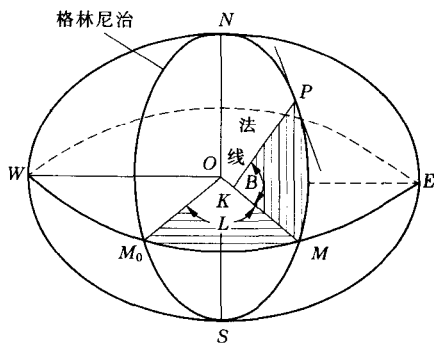


图 1-4 大地坐标

大地经度  $L$ ,即通过参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角。由起始子午面起,向东  $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西  $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。同一子午线上各点的大地经度相同。

大地纬度  $B$ ,即参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。从赤道面起,向北  $0^\circ \sim$

90°称为北纬;向南0°~90°称为南纬。纬度相同的点的连线称为纬线,它平行于赤道。

地面点的大地经度和大地纬度可以通过大地测量的方法确定。

大地坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系统,用它来表示地面点的位置形象直观。但它的观测和计算都比较复杂,而且实际运用时,更多的是把它投影到某个平面上来。

## 2. 高斯平面直角坐标

地理坐标是球面坐标,不便于直接进行各种计算。在工程建设的规划、设计与施工中,宜在平面上进行各项计算。为此,须将球面上的图形用平面表现出来,这就必须采用适当的投影方法。我国采用的是高斯投影法,这种坐标系由高斯创建,经克吕格改进而得名。

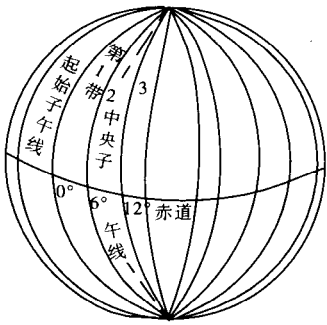


图 1-5 地球表面分带示意图

为了建立高斯平面直角坐标系,首先将地球表面每隔经度差6°划为一带,整个地球分为60个带,并从起始子午线开始自西向东编号。如图1-5所示,东经0°~6°为第一带,6°~12°为第二带……位于每一带中央的子午线称为中央子午线,如第一带中央子午线的经度为3°。任一带中央子午线的经度为

$$\lambda_0 = 6N - 3^\circ \quad (1-1)$$

式中  $N$ ——带的编号。

经分带后,每一个六度带仍然是一个曲面。为了能用平面直角坐标表示点的平面位置,要把曲面上的点,按一定的地图投影规则转绘到平面上,并在平面上建立起直角坐标系。

为了叙述方便,把地球看做圆球,并设想把投影平面卷成圆柱面套在地球上,使圆柱面与某六度带的中央子午线相切(见图1-6(a))。投影时,可以近似地假想在地球中心有一个点光源,由点光源发出来的光线,把六度带上的点、线投影到圆柱面上。然后,将圆柱面沿过南、北极的母线剪开并展开成平面,此平面称为高斯投影平面。如图1-6(b)所示,投影后,在高斯投影平面上的中央子午线为一直线,长度保持不变。其余的经线为凹向中央子午线而收敛于南、北极的曲线。赤道的投影也是一条直线,并与中央子午线垂直,其余的纬线则为凸向赤道的曲线。因为在投影平面上,中央子午线与赤道互相垂直,所以选取每一带的中央子午线作为纵轴( $x$ 轴),赤道作为横轴( $y$ 轴),交点为坐标原点,从而构成使用于这一带的高斯平面直角坐标系(见图1-6(b)),在这个投影面上每一点的位置,就可用直角坐标值  $x$ 、 $y$  来确定。

由于我国位于北半球,所以在我国范围内,所有点的  $x$  坐标均为正值,而  $y$  坐标则有正有负,如图1-7(a)所示,  $y_A = +136\ 780\text{ m}$ ,  $y_B = -272\ 440\text{ m}$ 。为了使  $y$  坐标不出现负值,规定在实际  $y$  坐标值上加500 km作为使用坐标,即相当于把每一带的纵坐标轴向西平移了500 km,如图1-7(b)所示,则  $y_A = 500\ 000 + 136\ 780 = 636\ 780(\text{m})$ ,  $y_B = 500\ 000 - 272\ 440 = 227\ 560(\text{m})$ 。

每一个六度带都有其相应的平面直角坐标系。为了表明某点位于哪一个六度带,规定在横坐标值前面加上带号,如点  $A$ 、 $B$  均位于20带,  $y_A = 20\ 636\ 780\text{ m}$ ,  $y_B =$

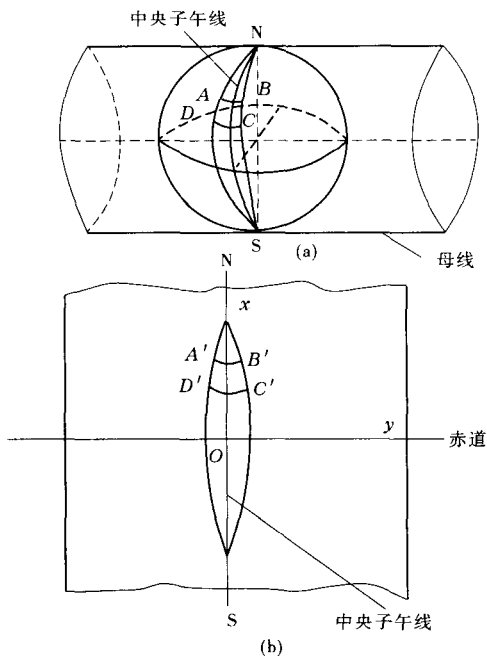


图 1-6 高斯坐标的形成

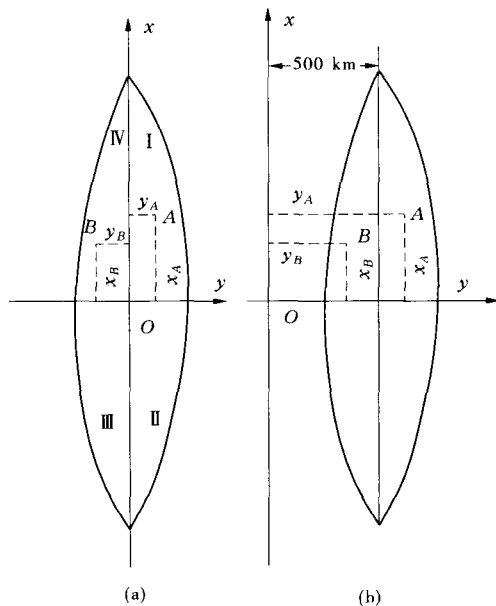


图 1-7 地面点的高斯坐标

20 227 560 m。

在高斯投影中,除中央子午线外,球面上其余的曲线,投影后都会发生长度变形。离中央子午线愈远,长度变形愈大。因此,当要求投影变形更小时,应采用三度带。三度带是从东经  $1^{\circ}30'$  起,每隔经度差  $3^{\circ}$  划分一带,整个地球划为 120 个带。每一带按前面所述方法,建立起各自的高斯平面直角坐标系。各带的中央子午线经度为

$$\lambda_0 = 3n \quad (1-2)$$

式中  $n$ ——三度带的编号。

### 3. 独立(假定)平面直角坐标

当测区范围较小时,可以不考虑地球曲率而把大地水准面看做平面,在该面上设置平面直角坐标系。地面点在大地水准面上的投影位置,就可用该平面直角坐标系中的坐标值  $x$ 、 $y$  来确定(见图 1-8)。

测量上选用的平面直角坐标系,规定纵坐标轴  $x$  为轴,横坐标轴为  $y$  轴,并常使  $x$  轴方向和过原点的子午线方向一致。象限名称按顺时针方向排列(见图 1-9)。坐标系原点可按实际情况选定。为了使整个测区各点的坐标不出现负值,通常把坐标系原点选在测区的西南角处。坐标系原点也可采用高斯平面直角坐标值。

## (二)地面点的高程

为了确定地面点位,除了要知道它的平面位置外,还要确定它的高程。

### 1. 绝对高程

地面点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程,亦称为海拔。在图 1-10

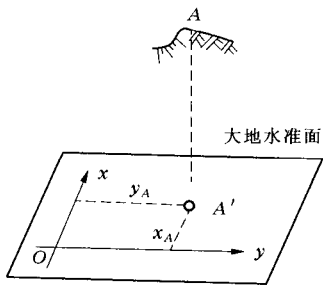


图 1-8 地面点在水准面上投影

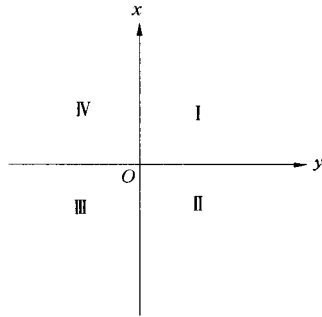


图 1-9 独立平面直角坐标

中,地面点  $A$  和  $B$  的绝对高程分别为  $H_A$  和  $H_B$ 。我国规定以黄海平均海水面作为大地水准面。黄海平均海水面的位置,是青岛验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。由于平均海水面不便于随时联测使用,故在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”,作为全国推算高程的依据。1956年,验潮站根据连续7年(1950~1956年)的潮汐水位观测资料,第一次确定了黄海平均海水面的位置,测得水准原点的高程为72.289 m。按这个原点高程为基准去推算全国的高程,称为“1956年黄海高程系”。由于该高程系存在

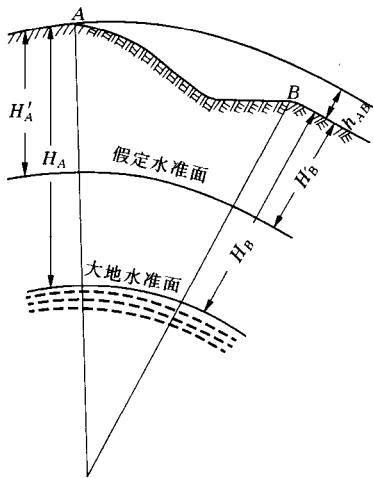


图 1-10 独立平面直角坐标

在验潮时间过短、准确性较差的问题,后来验潮站又根据连续28年(1952~1979年)的潮汐水位观测资料,进一步确定了黄海平均海水面的精确位置,再次测得水准原点的高程为72.2604 m。1985年决定启用这一新的原点高程作为全国推算高程的基准,并命名为“1985国家高程基准”。

## 2. 相对高程

地面点沿铅垂线方向至任意假定水准面的距离称为该点的相对高程,亦称为假定高程。在图1-10中,地面点  $A$  和  $B$  的相对高程分别为  $H'_A$  和  $H'_B$ 。两点高程之差称为高差,以符号  $h$  表示。图1-10中,  $A$ 、 $B$  两点的高差  $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。测量工作中,一般采用绝对高程,只有在偏僻地区,没有已知的绝对

高程点可以引测时,才采用相对高程。

综上所述,确定地面点的位置必须进行三项基本测量工作,即角度测量、距离测量和高程测量。在后面的有关章节中,将详细介绍进行这三项工作的基本方法。

## 第三节 水准面与水平面

水准面是由静止的海水面向陆地延伸所包围的一个有微小起伏的不规则曲面,各国通常采用与该国家大地水准面最为密合的椭球面作为参考水准面。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,可将椭球面视做球面,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,所采用的平面称为水平面。以水平面代替水准面有一定限度,只有投影后产生的误差不超过测量和制图要求的限差才可采用。下面讨论用水平面代替水准面对距离、水平角和高程的影响。

### 一、用水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-11 所示,设地球是半径为  $R$  的圆球。地面上  $A$ 、 $B$  两点投影到大地水准面上的距离为弧长  $D$ ,投影到水平面上的距离为  $D'$ ,显然两者之差即为用水平面代替水准面所产生的距离误差,设其为  $\Delta D$ ,则

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \tan\theta - R \cdot \theta$$

式中  $\theta$ ——弧长  $D$  所对的圆心角。

将  $\tan\theta$  用级数展开,并取级数前两项,得

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

由于  $\theta = \frac{D}{R}$ , 所以

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}$$

以  $R = 6\,371\text{ km}$  和不同  $D$  值代入上式,计算出误差  $\Delta D$  和相对误差  $\Delta D/D$  值列表如表 1-1 所示。由表中可以看出,距离为 10 km 时,产生的相对误差为 1/1 217 700,小于目前最精密的距离测量允许误差 1/1 000 000,因此可以认为,在半径为 10 km 的区域,地球曲率对水平距离的影响可以忽略不计,即可以把该部分水准面当做水平面看待。在精度要求较低的测量工作中,其半径可扩大到 25 km。

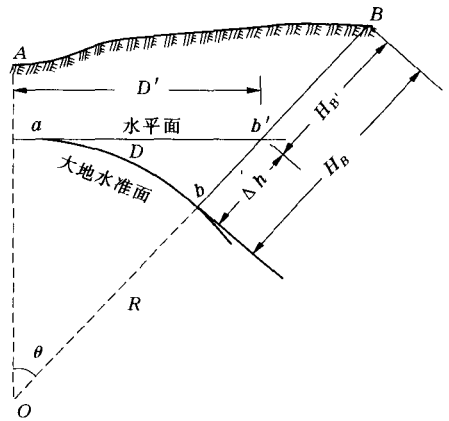


图 1-11 水平面与水准面的关系

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 $\Delta D$ (cm)	距离相对误差 $\Delta D/D$
1	0.00	—
5	0.10	1:5 000 000
10	0.82	1:1 217 700
15	2.77	1:541 516

### 二、用水平面代替水准面对水平角的影响

从球面三角可知,球面上三角形内角之和比平面上相应三角形内角之和多出一部分,多出部分称为球面角超,其值可用多边形面积求得,即



$$\epsilon = \frac{A}{R^2} \rho \quad (1-3)$$

式中  $\epsilon$ ——球面角超, s;

$A$ ——球面多边形面积;

$\rho$ ——弧度秒值,  $\rho = 206\,265''$ ;

$R$ ——地球半径。

以球面上不同面积代入式(1-3), 求出球面角超, 列入表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面对角度的影响

球面面积 $A(\text{km}^2)$	10	50	100	500
球面角超 $\epsilon('')$	0.05	0.25	0.51	2.54

计算结果表明, 当测区范围在  $100 \text{ km}^2$  时, 用水平面代替水准面时, 对角度影响仅  $0.51''$ , 在普通测量工作中可以忽略不计。

### 三、用水平面代替水准面对高程的影响

在图 1-11 中, 地面点  $B$  的绝对高程  $H_B = Bb$ , 用水平面代替大地水准面时,  $B$  点的高程  $H'_B = Bb'$ , 两者之差  $\Delta h$  即为对高程的影响。由图 1-11 得

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + D'^2$$

$$\Delta h = \frac{D'^2}{2R + \Delta h}$$

由前述证明可知  $D'$  与  $D$  相差很小, 可用  $D$  代替  $D'$ 。同时,  $\Delta h$  与  $2R$  相比可忽略不计, 则

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-4)$$

以  $R = 6\,371 \text{ km}$  和不同的  $D$  代入式(1-4)计算所得  $\Delta h$  值如表 1-3 所示。

表 1-3 水平面代替水准面对高程的影响

距离 $D(\text{m})$	10	50	100	200	500	1 000
高程误差 $\Delta h(\text{mm})$	0.0	0.2	0.8	3.1	19.6	78.5

上述计算结果表明, 进行高程测量时, 一般应考虑地球曲率对高程的影响, 当距离不超过  $100\text{m}$ , 且精度要求不高时, 也可忽略地球曲率对高程的影响。

## 第四节 工程测量工作的基本原则和程序

由前述可知, 测量工作的内容很多, 其应用领域也很广泛。测量工作有外业与内业之分, 利用测量仪器在野外测出控制点之间或控制点与碎部点之间的距离、水平角和高差, 称为测量外业; 将外业成果在室内进行整理、计算和绘图, 称为测量内业。测量最基本的问题是测定点的位置。为了避免误差的积累, 保证测量区域内一系列点位之间具有必要