

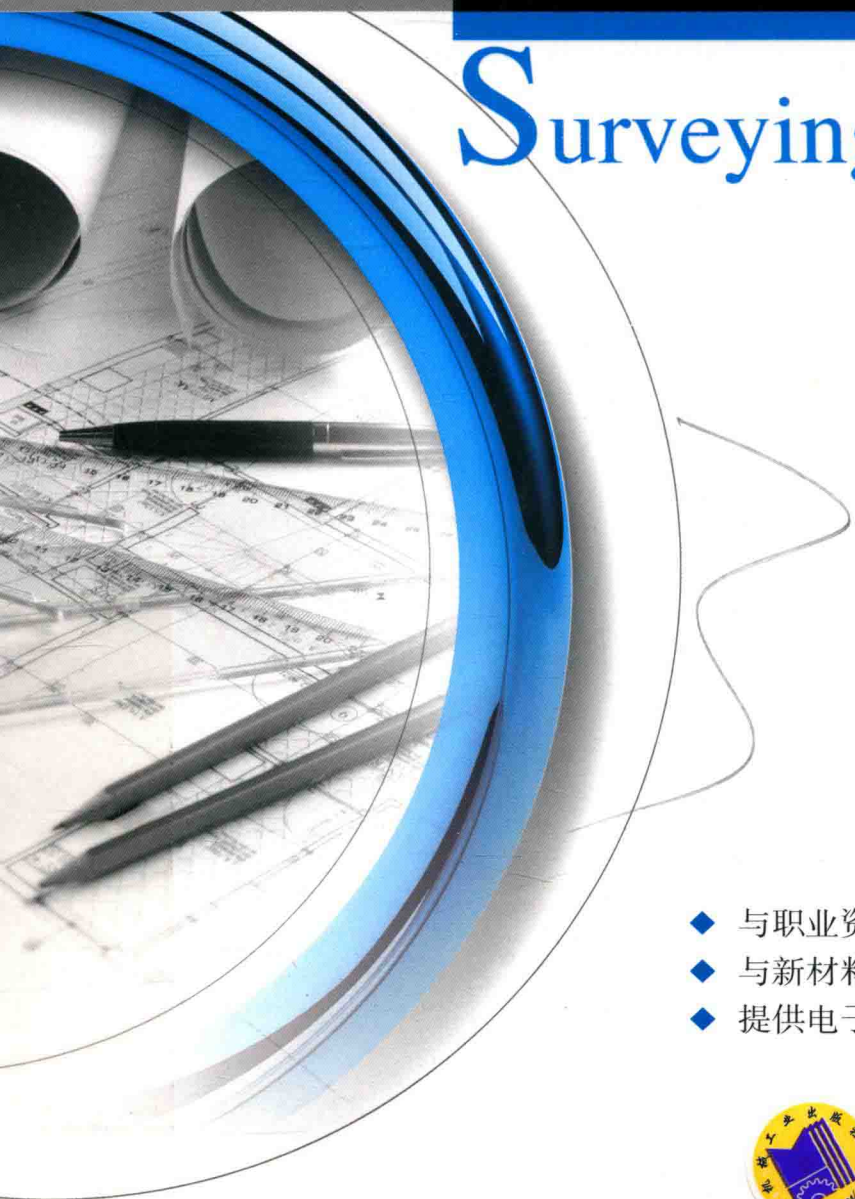


应用型本科土木工程系列规划教材

# 测量学

## Surveying

◎ 梁彦兰 主编



- ◆ 与职业资格考试相衔接
- ◆ 与新材料、新技术、新规范同步
- ◆ 提供电子课件和课后习题参考答案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

应用型本科土木工程系列规划教材



# 测 量 学

主 编 梁彦兰  
副主编 王海龙 程有坤  
参 编 曹 璐 张艺霞  
主 审 樊良新

机械工业出版社

本书共 12 章, 内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、控制测量、地形图的测绘与应用、数字化测图方法、施工测量基本原理、建筑施工测量、线路工程测量、房产测绘。本书结合学科发展前沿, 理论与实践相结合, 课后习题采用实践教学过程中的实测资料, 具有较强的指导意义。

本书可作为普通高等院校和高等职业院校土木建筑工程、市政工程、给水排水、房地产经营与管理、工程管理、城市规划、风景园林、地质工程等专业的教材及相关工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/梁彦兰主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 3

应用型本科土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-56045-6

I. ①测… II. ①梁… III. ①测量学-高等学校-教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 027775 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李宣敏 责任编辑: 李宣敏 于伟蓉

责任校对: 刘 岚 封面设计: 张 静

责任印制: 李 飞

北京天时彩色印刷有限公司印刷

2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 12.5 印张 · 321 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56045-6

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

本书的编者结合测绘基础知识体系和新技术的发展,以培养高等技术应用型专门人才为根本任务,对编写内容和体系进行了深入研究,在广泛征求意见的基础上,编写了本书。本书主要作为普通高等院校和高等职业院校土木建筑工程、市政工程、给水排水、房地产经营与管理、工程管理、城市规划、风景园林、地质工程等专业的教材及相关工程技术人员参考用书和测绘技能培训用书。

本书在阐述该课程基础理论知识的同时,注重理论与实践相结合,着重培养学生分析问题、解决问题的能力。目前测绘科学技术发展日新月异,本书增加了全站仪、RTK、CASS、电子水准仪、数字化测图等方法的介绍,在培养学生的新技术、新技能和与时俱进方面具有重要意义。本书突出实践性,课后习题采用实践教学过程中的实测资料,具有较强的指导意义。

本书共12章,第1章、第2章、第3章由安阳工学院梁彦兰编写,第4章、第5章由安阳工学院曹璐编写,第6章、第7章、第8章由安阳工学院王海龙编写,第9章、第10章、第11章由哈尔滨理工大学程有坤编写,第12章由安阳工学院张艺霞编写,全书由梁彦兰统稿,并对文字进行了校核与修改。本书由河南理工大学测绘与国土信息工程学院樊良新副教授担任主审。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请广大读者朋友批评指正,以便修订时加以完善,谢谢。

编 者

# 目 录

前言		5.1 测量误差的概念	65
第1章 绪论	1	5.2 测量误差的来源	65
1.1 测量学概述	1	5.3 测量误差的分类	65
1.2 地球的形态和大小	3	5.4 偶然误差的特性	66
1.3 地面点位的确定	4	5.5 评定精度的标准	67
1.4 用水平面代替水准面的限度	7	思考题与习题	70
1.5 测量工作概述	8	第6章 控制测量	71
思考题与习题	10	6.1 概述	71
第2章 水准测量	12	6.2 工程控制网的建立	74
2.1 水准测量概述和原理	12	6.3 导线测量	76
2.2 水准测量的仪器和工具	14	6.4 交会定点测量	84
2.3 水准测量外业工作	23	6.5 高程控制测量	87
2.4 水准测量的内业	26	思考题与习题	89
2.5 微倾式水准仪的检验与校正	28	第7章 地形图的测绘与应用	90
2.6 水准测量的误差分析	30	7.1 地形图的基本知识	90
2.7 三、四等水准测量	32	7.2 地形图的测绘	99
思考题与习题	34	7.3 地形图的拼接、整饰和检查	103
第3章 角度测量	36	思考题与习题	105
3.1 角度测量原理	36	第8章 数字化测图方法	106
3.2 光学经纬仪	36	8.1 图解地形图的数字化	106
3.3 经纬仪的使用	37	8.2 地面数字测图	107
3.4 水平角观测	39	8.3 RTK 地形数据采集	110
3.5 竖直角观测	41	思考题与习题	116
3.6 经纬仪的检验与校正	43	第9章 施工测量基本原理	117
3.7 角度观测的误差分析	44	9.1 施工测量概述	117
3.8 电子经纬仪	45	9.2 施工测量的基本工作	117
3.9 全站仪	47	9.3 点的平面位置的测设	120
思考题与习题	51	9.4 坡度线的测设	121
第4章 距离测量与直线定向	53	思考题与习题	122
4.1 距离测量概述	53	第10章 建筑施工测量	123
4.2 钢尺测量	53	10.1 建筑场地施工控制测设	123
4.3 视距测量	57	10.2 民用建筑施工测量	126
4.4 光电测距	59	10.3 工业建筑施工测量	136
4.5 直线定向	61	10.4 烟囱施工测量	141
思考题与习题	64	10.5 建筑物变形观测	143
第5章 测量误差的基本知识	65	10.6 竣工测量	146

思考题与习题 .....	147	12.1 房产测绘概述 .....	177
<b>第 11 章 线路工程测量</b> .....	149	12.2 房产平面控制测量 .....	178
11.1 中线测量 .....	149	12.3 房产调查 .....	179
11.2 线路纵横断面测量 .....	159	12.4 房产要素测量 .....	180
11.3 道路施工测量 .....	163	12.5 房产图绘制 .....	182
11.4 隧道工程测量 .....	166	12.6 房产面积测算 .....	184
11.5 大、中型桥梁工程测量 .....	171	12.7 房产变更测量 .....	188
11.6 管道工程测量 .....	172	思考题与习题 .....	189
思考题与习题 .....	175	<b>参考文献</b> .....	190
<b>第 12 章 房产测绘</b> .....	177		

# 第1章 绪 论

## 1.1 测量学概述

### 1.1.1 测量学的基本内容及作用

测量科学是一门研究如何确定地球形态和大小以及地面、地下和空间各种物体的几何形态及空间位置关系的科学，为人类了解自然、认识自然和能动地改造自然服务。其任务概括起来主要有三个方面：一是精确地测定地面点的位置及地球的形状和大小；二是将地球表面的形态及其他相关信息制成各种类型的文字、相片、图片和其他资料；三是进行经济建设和国防建设所需要的其他测绘工作，如地籍测量、城市规划测量、GPS 导航图测绘等。测绘被广泛用于陆地、海洋和空间的各个领域，对国土规划整治、经济和国防建设、国家管理和人民生活都有重要作用，是国家建设中的一项先行性、基础性工作。它在各行各业中起着非常重要作用。

### 1.1.2 测量学的分类

测量学根据研究的重点对象和应用范围的差异，主要分为以下几门分支学科。

#### 1. 大地测量学

研究在广大地面上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。

#### 2. 普通测量学

研究地球表面小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科。在此区域内可以将地球表面视为平面，而不考虑地球曲率的影响。普通测量学的主要任务是根据需要，测绘局部地区各种比例尺地形图及地籍图。

#### 3. 摄影测量遥感学

摄影测量和遥感学是通过使用无人操作的成像和其他传感器系统进行记录和测量，然后对数据进行分析 and 表示，从而获得关于地球表面及环境和其他自然物体或过程的可靠信息的学科。

#### 4. 海洋测量学

海洋测量学是指以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制工作，是海洋事业的一项基础工业性工作，其成果广泛应用于经济建设、国防建设和科学研究的各个领域。

#### 5. 地图制图学

地图制图学是指研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的学科，主要包括地图的编制、投影、整饰和印刷等内容。

#### 6. 工程测量学

在测绘界，人们把工程建设中的所有测绘工作统称为工程测量。实际上它包括在工程建设勘测、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作。它是直接为各建设项目的勘测、设计、

施工、安装、竣工、监测以及营运管理等一系列工程工序服务的。可以这样说，没有测量工作为工程建设提供的数据和图纸，并及时与测量工作配合进行指挥，任何工程建设都无法进展和完成。

工程测量学是研究在工程建设的设计、施工和管理各阶段中进行测量工作的理论、方法和技术的学科。

按照测量精度，工程测量可分为普通工程测量和精密工程测量。

按照工程对象，工程测量可分为：建筑工程测量、水利工程测量、线路工程测量、桥隧工程测量、地下工程测量、海洋工程测量、军事工程测量、工业测量，以及矿山测量、城市测量等。

按照测绘资质分级标准，工程测量可分为：地形测量、城乡规划定线测量、城乡用地测量、规划检测测量、日照测量、市政工程测量、水利工程测量、建筑工程测量、精密工程测量、线路工程测量、地下管线测量、桥梁测量、矿山测量、隧道测量、变形（沉降）观测、形变测量、竣工测量。

### 1.1.3 工程测量的任务和内容

工程测量包括在工程建设勘测、设计、施工和管理阶段所进行的各种测量工作。它是直接为各建设项目的勘测、设计、施工、安装、竣工、监测以及营运管理等一系列工程工序服务的。

#### 1. 工程测量任务

(1) 工程规划阶段 工程规划阶段工程测量的主要任务是工程勘测。工程勘测是为工程设计用图需要而测绘各种比例尺地形图，开展测图控制网建立、地形图测绘工作，并为工程地质勘探、水文地质勘探以及水文测验等进行辅助测量。位于重要工程或地质条件不良地区，还要进行地层稳定性监测。

(2) 工程建设阶段 工程建设阶段工程测量的主要任务是施工测量和监理测量。施工测量是将工程设计目标的位置标定在现场，作为施工的依据，开展施工控制网建立、施工放样工作，部分工程还要开展变形监测、设备安装测量、竣工测量等工作。监理测量是检查并审核施工测量数据，以确保工程质量，主要开展施工控制网复测、施工放样检测、施工质量抽查、施工图审批等工作。

(3) 工程运营阶段 工程运营阶段工程测量的主要任务是安全监测。对于大型工程和重要工程，为保障安全运营，需要进行工程的安全性和稳定性周期监测，开展变形监测网建立、变形监测工作；根据需要，还要进行工程数据库、工程管理信息系统建设。

#### 2. 工程测量内容

测量工作的基本内容是高差测量、角度测量、距离测量。测量工作一般分为外业和内业两种。外业工作的内容包括应用测量仪器和工具在测区内所进行的各种测定和测设工作。内业工作是将外业观测的结果加以整理、计算，并绘制成图以便使用。

工程测量是研究工程建设在勘测设计阶段、施工准备阶段、施工阶段、竣工验收阶段以及交付使用后的服务管理阶段所进行的各种测量工作的一门学科，工程测量的主要任务是为建设工程服务。就其性质而言，可分为测定和测设。

测定是指用恰当的测量仪器、工具和测量方法对地球表面的地物和地貌进行实地测量，并按照一定的比例尺缩绘成图的过程。测定的主要内容有控制测量、地形测绘、竣工测量、变形观测等。



测设是指用恰当的测量仪器、工具和测量方法将规划、设计在图纸上的建筑物、构筑物标定到实地上，作为施工依据的过程。测设的主要内容有建筑基线及建筑方格网的测设、施工放样、设备安装测量等。

无论是测定还是测设，都是确定点的位置的工作，可见工程测量的实质是确定点的位置。

测量工作的一般程序是：“从整体到局部，从高级到低级，先控制后碎步”。也就是说，在与工程项目有关的适当的范围内布设若干个“控制点”，用较精密的方法和较精密的仪器测算出它们之间的位置关系，然后以这些“控制点”为基准点，再测算出它们附近的各“碎步点”的位置。这样做可以使测量误差的传播与累积受到限制，并被控制在不影响工程质量的范围内。

### 1.1.4 本课程的学习内容

测量学是一门应用科学，要求学以致用，本书将从实用的观点出发，主要掌握如下知识点：

- 1) 测量技术基础知识：测量学的基本知识、测量方法和仪器、小区域控制测量、地形图测绘及其应用、误差基础知识。
- 2) 施工放样：把图上设计好的建筑物、构筑物标定在实地上，作为施工的依据。
- 3) 工程测量技术：工程测量的基本工作、道路测量、房屋建筑测量、房产测量和地籍测绘、建筑变形测量与竣工图测绘。

## 1.2 地球的形态和大小

地球的自然表面是一个凹凸不平、极不规则的曲面，由海洋和陆地两部分构成。海洋占地球表面积的71%，而陆地约占29%。陆地和海底起伏不平，有高达8844.43m的珠穆朗玛峰，也有深达11022m的马里亚纳海沟，但这样的高低起伏与地球的半径相比还是微小的，地球总的形态接近于两极稍扁的椭球体。

因此，我们可以设想用一个平衡静止的海水面来代替地球表面，即假设处于平衡静止的海水面延伸穿过大陆和岛屿形成封闭曲面，这个封闭曲面就称为大地水准面（图1-1）。由大地水准面所围成的形体，称为大地体。由于海水面实际上不可能保持平衡静止状态，事实上我们是在海滨设立验潮站，利用多年观测海水的涨落，计算出的平均海水面来作为大地水准面。大地水准面与地球椭球面如图1-2所示。

假设静止水面延伸到陆地下面形成曲面，这个曲面就称为水准面。由于水面高度不一样，故水准面有无数个，大地水准面是其中的一个。

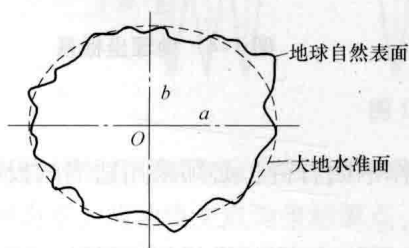


图 1-1 大地水准面与地球自然表面

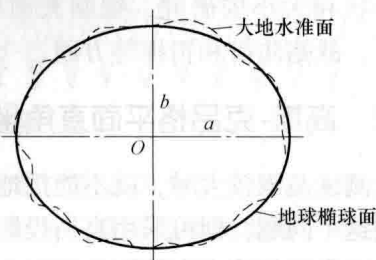


图 1-2 大地水准面与地球椭球面

地球上的任一点，都同时受到两个力的作用，一个是地球自转产生的离心力，另一个是地心引力，这两个力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线，它是测量外业工作的基准线，而大地水准面又是测量外业工作的基准面。

地球内部质量不均匀所引起的铅垂线方向的变化，使大地水准面成为一个十分复杂而又不规则的曲面。如果在此曲面上进行测量工作，测量、计算、制图都非常困难。为此，根据不同轨迹卫星的长期观测成果，经过推算，选择了一个非常接近大地体又能用数学式表达的规则几何形体来代表地球的整体形状。这个几何形体称为旋转椭球体，其表面称为旋转椭球面。测量上将概括地球总形体的旋转椭球体称为参考椭球体，如图 1-3 所示，相应的规则曲面称为参考椭球面。其数学表达式为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

式中， $a$ 、 $b$  为椭球体几何参数， $a$  为长半轴， $b$  为短半轴；参考椭球体扁率  $\alpha$  应满足：

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

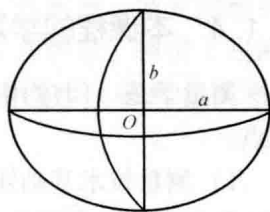


图 1-3 参考椭球体

我国现采用的参考椭球体的几何参数为： $a = 6378.136\text{km}$ ， $b = 6356.752\text{km}$ ， $\alpha = 1/298.257$ 。由于  $\alpha$  很小，当测区面积不大时，可将地球当作圆球体，其半径采用地球平均半径，取近似值为  $6371\text{km}$ 。

## 1.3 地面点位的确定

测量的基本工作是确定地面特征点的位置。在数学上，一个点的空间位置，一般用它在三维空间直角坐标系中的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个量来表示，测量上也采用同样的方法来确定点的空间位置。测量上通常采用地理坐标系、高斯-克吕格平面直角坐标系，独立平面直角坐标系。

### 1.3.1 地理坐标系

用经度、纬度来表示地面点位置的坐标系，称为地理坐标系。用  $L$  表示大地经度、 $B$  表示大地纬度，如图 1-4 所示。地面上任意点  $P$  的大地经度  $L$  是该点的子午面与首子午面所夹的二面角， $P$  点的大地纬度  $B$  是过该点的法线（与旋转椭球面垂直的线）与赤道面的夹角。地理坐标为一种球面坐标，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。

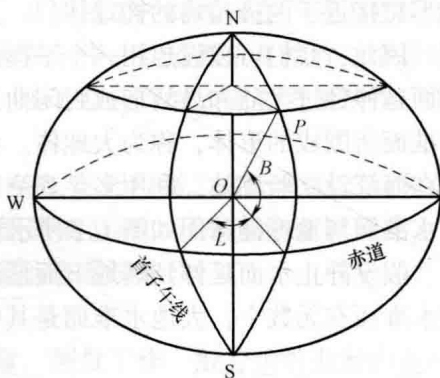


图 1-4 地理坐标系

### 1.3.2 高斯-克吕格平面直角坐标系

当测区范围较大时，就不能把地球很大一块地表当作平面看待，必须采用适当的投影方法来解决这个问题，即可采用高斯投影的方法。

地理坐标如建立在球面的基础上，就不能直接用于测图、工程建设规划、设计、施工，因为测量工作最好是在平面上进行。为此，需要将球面坐标按一定的数学算法归算到平面上去，即按照地图投影理论（高斯投影）将球面坐标转化为平面直角坐标。

高斯投影,是设想将截面为椭圆的柱面套在椭球体外面(图 1-5),使柱面轴线通过椭球中心,并且使椭球面上的中央子午线与柱面相切,而后将中央子午线附近的椭球面上的点、线正投影到柱面上,再将椭圆柱沿通过南北极的母线切开,展成平面。这样就形成的平面称为高斯投影平面。由此可见,经高斯投影后,中央子午线与赤道呈直线,其长度不变,并且两者正交。而离开中央子午线和赤道的点、线均有变形,离得越远变形越大。

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。两直线交点为原点,则组成高斯平面直角坐标系。

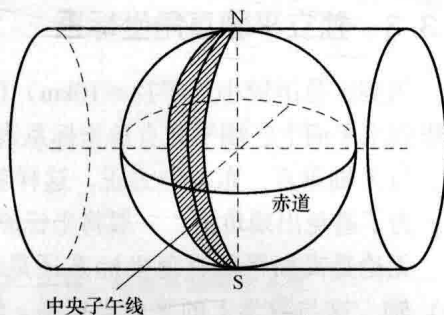


图 1-5 高斯投影

投影带一般分为六度带和三度带两种。

六度带:高斯投影将地球分成若干个带,投影带从首子午线起,每经  $6^\circ$  划分一带,自西向东将整个地球划分成相等的 60 个带,用阿拉伯数字表示,依次为 1、2、3……60。位于各投影带中央的子午线称为中央子午线,第一个六度带的中央子午线经度为  $3^\circ$ ,任意带的中央子午线经度  $L_0$  与该投影带的号数  $n$  的关系如下

$$L_0 = 6^\circ n - 3^\circ$$

高斯投影中,离中央子午线近的部分变形小,远的变形大,两侧对称。当测绘大比例尺图要求投影变形更小时,可采用三度分带投影法。

三度带:三度带从东经  $1^\circ 30'$  起,每经差  $3^\circ$  划分一带,将整个地球划分成 120 个带,每带中央子午线的经度  $L'_0$  与该投影带的号数  $m$  的关系如下

$$L'_0 = 3^\circ m$$

将投影后具有高斯平面直角坐标系的六度带或三度带一个个拼接起来,便得到如图 1-6 所示的地球分带与高斯投影。测量平面坐标的构成如图 1-7 所示。

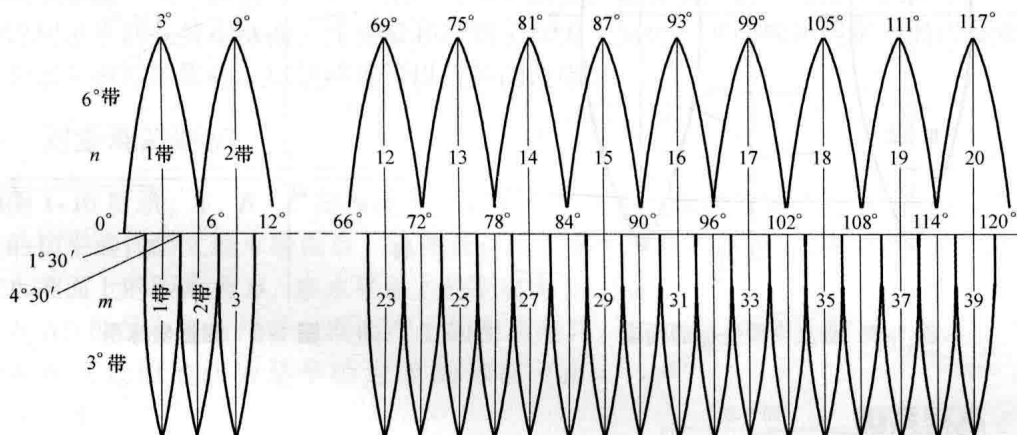


图 1-6 地球分带与高斯投影

高斯平面直角坐标系是以各带的中央子午线投影为  $x$  轴,北方向为正,赤道投影为  $y$  轴,东方向为正,两轴线交点为坐标原点,构成各带独立的坐标系。我国位于北半球,所以纵坐标  $x$  均为正,横坐标  $y$  有正有负。如图 1-7 所示,  $B$  点在中央子午线以西,  $y$  坐标值为  $-284440.4\text{m}$ ;  $A$  点在中央子午线以东,  $y$  坐标值为  $+147600.5\text{m}$ ,这些值称为坐标自然值。

为了不使横坐标出现负值,通常将  $x$  轴线向西移动  $500\text{km}$ ,则  $A$  点、 $B$  点的坐标值分别为

647600.5m、215559.6m。为了识别某点位于哪一个投影带的坐标系中，规定在横坐标之前冠以带号，转换后的坐标值称为坐标通用值。假设A点和B点位于带号为20的6°投影带内，则A点、B点的坐标通用值为：

$$Y_A = 20 + 500000.0 + 147600.5 = 20647600.5 (\text{m})$$

$$Y_B = 20 + 500000.0 - 284440.4 = 20215559.6 (\text{m})$$

### 1.3.3 独立平面直角坐标系

当测区范围较小（半径 $\leq 10\text{km}$ ）时，可将地球表面视作平面，直接将地面点沿铅垂线方向投影到水平面上，用平面直角坐标系表示该点的投影位置。纵轴为X轴，北方向为正；横轴为Y轴，与X轴垂直，东方向为正。这样就建立了独立平面直角坐标系，如图1-8所示。实际测量中，为了避免出现负值，一般将坐标原点选在测区的西南角，故又称假定平面直角坐标系。

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(x)轴，横轴为Y(y)轴，这与数学上的平面坐标系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(x)轴和Y(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。

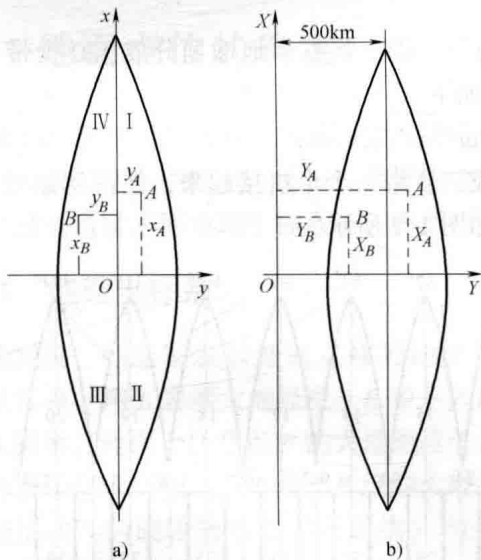


图 1-7 测量平面坐标的构成

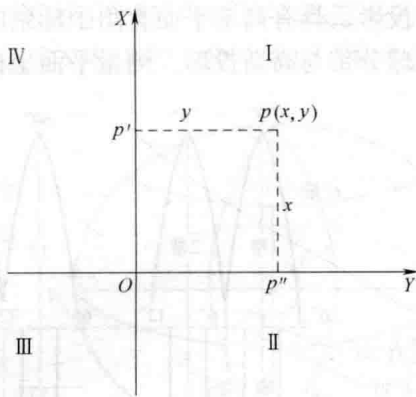


图 1-8 测量坐标系

### 1.3.4 高程系统

地面点至水准面的铅垂距离，称为该点的高程。地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程（简称高程）或海拔，用 $H$ 表示。A、B两点的高程为 $H_A$ 、 $H_B$ ，如图1-9所示。新中国成立以来，我国把以青岛市大港1号码头两端的验潮站多年观测资料求得的黄海平均海水面作为高程基准面，建立了1956黄海高程系。并在青岛市观象山建立了中华人民共和国水准原点，其高程为72.289m。随着观测资料的积累，采用1953年—1979年的验潮资料，1985年精确地确定了黄海平均海水面，推算得国家水准原点的高程为72.260m，由此建立了1985

国家高程基准，作为统一的国家高程系统，1987年开始启用。现在仍在使用的1956黄海高程系以及其他高程系（如吴淞江高程系、珠江高程系等）都应统一到“1985国家高程基准”上。在局部地区，若采用国家高程基准有困难时，也可以假定一个水准面作为高程基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离，称为该点的相对高程或假定高程，通常用 $H'$ 表示。如图1-9所示，A、B点的相对高程分别为 $H'_A$ 、 $H'_B$ 。

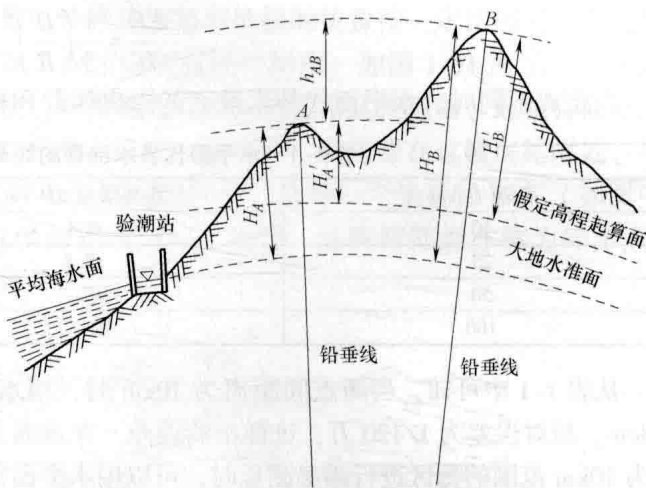


图 1-9 高程、高差及其相互关系

地面上两点间的高程差称为两点间的高差，用 $h$ 表示。高差有正、负之分。

例如A、B两点的高差 $h_{AB}=H_B-H_A$ ，当 $h_{AB}$ 为正时，说明B点高于A点；当 $h_{AB}$ 为负时，说明B点低于A点；当 $h_{AB}$ 为零时，说明两点在同一水准面上（高程值相等）。

当使用绝对高程有困难时（无法与国家高程系统联测），可采用任意假定的水准面为高程起算面，即为相对高程或假定高程。在建筑工程中所使用的标高，就是相对高程，它是以建筑物地坪（±0.000）为基准面起算的。

不论采用绝对高程还是相对高程，其高差值是不变的，均能表达两点间的高低相对关系。即 $h_{AB}=H_B-H_A=H'_B-H'_A$

## 1.4 用水平面代替水准面的限度

水准面是一个曲面，在曲面上的图形投影到平面上时，总会产生一定的变形。实际上如果把一小块水准面当成平面看待，其产生的变形不超过测量和制图误差的允许范围时，即可在局部范围内用水平面代替水准面，使测量和绘图工作大大简化。下面探讨用水平面代替水准面对距离、角度和高差的影响，以便明确可以代替的范围。

### 1.4.1 对距离的影响

如图1-10所示，A、B、C是地面点，它们在大地水准面的投影点是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为a、b'和c'。设A、B两点在大地水准面上的距离为D，在水平面上的距离为D'，两者之差 $\Delta D$ 即是水平面代替水准面产生的距离差异。将大地水准面近似地认为是半径为R的球面（ $R=6371\text{km}$ ），则

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

又因为 $\theta$ 很小，则

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3$$

$$\theta = \frac{D}{R}$$

从而得

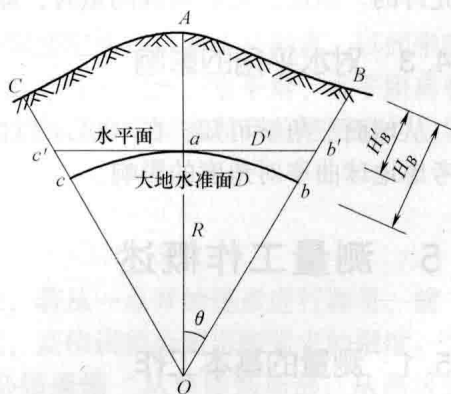


图 1-10 水平面代替水准面的影响

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

当距离不同时，水平面代替水准面的距离误差和相对误差见表 1-1。

表 1-1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 $D/\text{km}$	距离误差 $\Delta D/\text{cm}$	距离相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1/120 万
25	12.8	1/20 万
50	102.7	1/4.9 万
100	821.2	1/1.2 万

从表 1-1 中可知，当两点间距离为 10km 时，用水平面代替大地水准面产生的长度误差为 0.8cm，相对误差为 1/120 万，这样小的误差，在地面上进行精密测距时也是允许的。所以在半径为 10km 范围的测区进行距离测量时，可以用水平面代替大地水准面，而不必考虑地球曲率对距离的影响。对于一般工程测量和地形测量来说，在半径为 20km 的范围内，可忽略其影响。

### 1.4.2 对高程的影响

如图 1-10 所示，地面点  $B$  的高程应是铅垂距离  $H_B$ ，用水平面代替水准面后， $B$  点的高程为  $H'_B$ ， $\Delta h$  即为水平面代替水准面产生的高程误差。计算如下：

$$\Delta h = H_B - H'_B = o'_b - o_b = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1)$$

而  $\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$ ，因  $\theta$  值很小，取前两项代入，得

$$\Delta h = \left( 1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) R$$

又因  $\theta = \frac{D}{R}$ ，故：

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

据此，不同距离  $D$ ，水平面代替水准面的高程误差见表 1-2。

表 1-2 水平面代替水准面的高程误差

距离 $D/\text{m}$	10	50	100	200	500	1000
$\Delta h/\text{mm}$	0.0	0.2	0.8	3	20	80

从表 1-2 可以看出，地球曲率对高程的影响较大，距离 200m 就有 3mm 的高程误差，这是不允许的。因此，进行高程测量时，即使距离很短，也应考虑地球曲率对高程的影响。

### 1.4.3 对水平角的影响

从球面三角学可知，在  $100\text{km}^2$  以内进行水平角测量时，可以用水平面代替水准面，而不必考虑地球曲率对角度的影响。

## 1.5 测量工作概述

### 1.5.1 测量的基本工作

测量学的主要任务是测定和测设。

测定是使用测量仪器和工具，通过测量与计算将地物和地貌的位置按一定比例尺、图式规定的符号缩小绘制成地形图，供科学研究和工程建设规划设计使用。如图 1-11 所示，测区内有山丘、房屋、河流、小桥和公路等，测绘地形图的过程是先测量出这些地物、地貌特征点的坐标，然后按要求展绘在图纸上。例如要在图纸上绘出一幢房屋，就需要在这幢房屋附近、与房屋通视且坐标已知的点（如图中的 A 点）上安置测量仪器，选择一个坐标已知点（如图中的 B 点）作为定向方向，才能测出这幢房屋角点的坐标。地物、地貌特征点亦称为碎步点，测量碎步点坐标的方法与过程称为碎步测量。

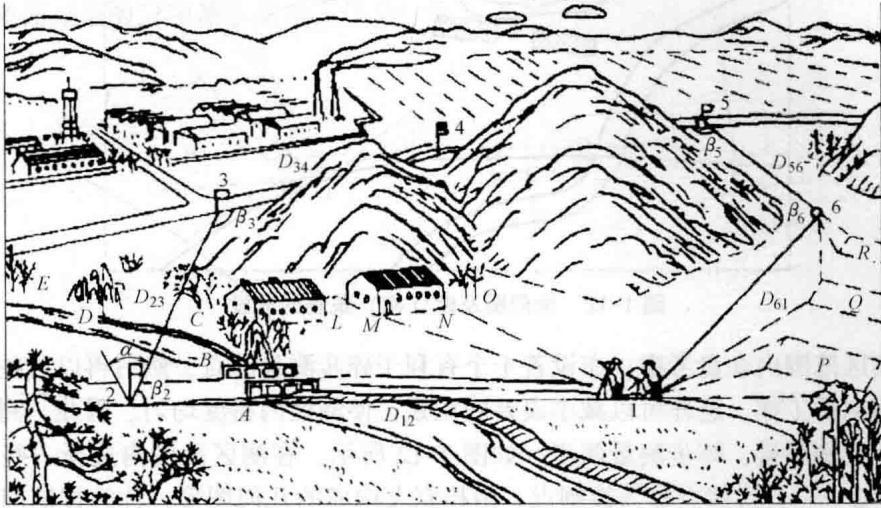


图 1-11 地物、地貌测绘

如图 1-11 所示，在 A 点安置仪器可以测绘出西面的河流、小桥及北面的山丘，因为不能通视，所以无法完成山北面的工厂区的测绘工作。因此，需要在可通视厂区的位置布置一些点，如图中的 C、D、E 点，这些点的坐标值必须已知。由此可知，测绘地形图，首先要在测区内均匀布置一些点，并测量计算出它们的三维坐标值 ( $X, Y, H$ )。测量上将这些点称为控制点，测量与计算控制点坐标的方法与过程称为控制测量。

测设是将在地形图上设计出的建筑物和构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。假设图 1-12 是测绘得到的地形图，图上 P、Q、R 为设计好的三幢拟建建筑物，施工人员可以采用极坐标法将它们的位置标定到实地。其方法是在控制点 1 号上安置仪器，使用 6 号点（或 2 号点）定向，根据平面几何知识，根据控制点到碎步点的水平距离和角度确定出拟建建筑物的实地位置。

在上述测量工作中，无论是测定还是测设工作，都需要测定水平角和水平距离，以此来确定点的平面位置。另外，测量地面点间的高差可确定各点的高程。因此，水平角、水平距离和高差是确定地面点位置的三个基本要素，测量地面点的水平角、水平距离和高差是测量的主要基本工作。

### 1.5.2 测量工作的基本原则

测量过程中的误差产生是必然的。无论是测定或测设，若从一点开始逐点进行测量，前一点测量的误差会传递到下一点，依次积累，随着范围扩大，点位误差会超出所要求的限度。为了限制误差传递和误差积累，提高测量精度，测量工作必须遵循“从整体到局部，从高级到低级，先控制后碎步”的原则来组织实施。

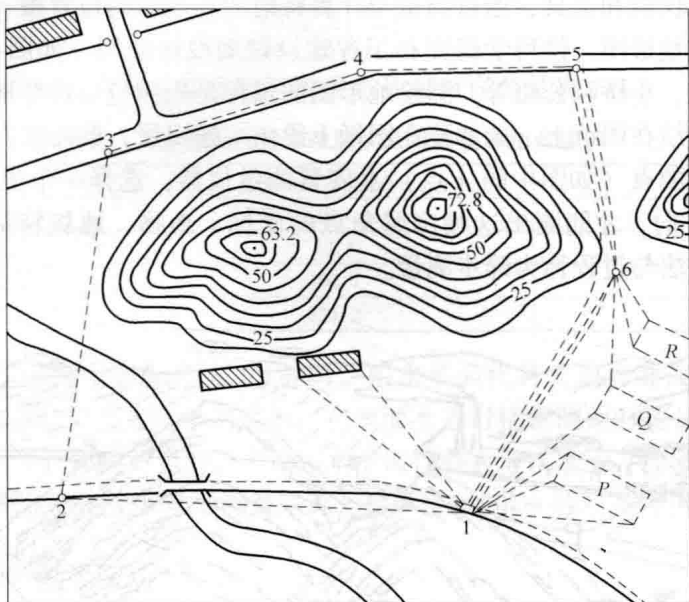


图 1-12 地形图及建（构）筑物的测设

首先在测区范围内全盘考虑，布设若干个有利于碎步测量的点，然后再以这些点为依据进行碎步地区的测量工作，这样可以减小误差的积累，使测区内精度均匀。因此，测量工作的基本程序可分为控制测量、碎步测量两步。如图 1-12 所示，在测区范围内选择一些具有控制意义的点 1、2、3……，这些点称为控制点。由控制点构成的几何图形，称为控制网。以较高精度的测量方法测定控制点的平面位置和高程，称为控制测量，然后根据控制点再测定碎步点的位置，称碎步测量。例如，在控制点上测定其周围的碎步点，这样道路、房屋的位置就可以绘在图纸上。

测量工作的另一项原则是“步步检核”，即只有在前一项工作检核正确无误后，才能进行下一步工作。只有这样，才能更好地保证测绘成果的可靠性。测量工作有外业测量和内业计算之分。在野外用仪器测量水平距离、水平角和高差称为外业，而在室内进行整理计算、平差、绘图的工作称为内业。测量工作无论是外业测量还是内业计算，都必须遵循边工作边校核的原则，以防止错误发生。

### 1.5.3 测量数据计算的凑整原则

测量数据在成果计算过程中，往往涉及凑整问题。为了避免凑整误差的积累而影响测量成果的精度，通常采用“四舍六进，逢五单进双舍”的凑整规则。例如，下列观测数值凑整后保留三位小数分别为：

$$2.6332 = 2.633 \quad (\text{四舍})$$

$$2.6336 = 2.634 \quad (\text{六进})$$

$$3.1415 = 3.142 \quad (\text{逢五单进})$$

$$3.1425 = 3.142 \quad (\text{逢五双舍})$$

## 思考题与习题

1. 测量学包括哪两大部分内容，两者如何区别？



2. 何谓大地水准面？它在测量工作中的作用是什么？
3. 何谓绝对高程和相对高程？两点之间绝对高程之差与相对高程之差是否相等？
4. 测量工作中所用的平面直角坐标系与数学中的平面直角坐标系有哪些不同之处？
5. 高斯平面直角坐标系是怎样建立的？
6. 某地的经度为  $116^{\circ}23'$ ，试计算它所在的六度带和三度带号，相应六度带和三度带的中央子午线的经度是多少？
7. 用水平面代替水准面对距离、水平角和高程有何影响？
8. 测量工作中的两个原则及其作用是什么？
9. 确定地面点位的三项基本测量工作是什么？

