



高职高专工程监理专业系列规划教材

GAOZHIGAOZHUAN

# 土木工程测量

赵文亮 主 编

张东明 李会青 副主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

98

3

高职高专工程监理专业系列规划教材

# 土木工程测量

赵文亮 主 编  
张东明 李会青 副主编



科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书共十三章,主要内容包括绪论、测量仪器及操作、测量误差理论的基础知识、水准测量、角度测量、距离测量、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘与应用、施工测量的基本工作、建筑施工控制测量、建筑工程施工测量、建筑物变形观测和竣工测量及测绘新技术简介。

本书可作为高职高专监理专业教学用书,亦可供土木工程测量人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

土木工程测量/赵文亮主编. —北京:科学出版社,2004

(高职高专工程监理专业系列规划教材)

ISBN 7-03-013479-6

I. 土… II. 赵… III. 土木工程-工程测量-高等学校:技术学校-教材  
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045471 号

---

责任编辑:董安齐 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方上林工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年7月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1—4 000 字数:264 000

定价:18.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 《高职高专工程监理专业系列规划教材》

## 编委会

**主 任** 胡兴福

**副主任** 沈养中 王胜明 刘晓立 钟芳林 童安齐

**委 员** (以姓氏笔画为序)

牛季收 生青杰 关俊良 刘长华

刘宝莉 孙世青 沈 建 张 弛

张书良 张贵良 张国强 张若美

李会青 杜绍堂 陈红领 陈素红

林 密 侯元恒 洪树生 赵文亮

徐 南 董 平 葛若东

# 前 言

近年来,以空间技术、计算机技术和信息技术为支柱的现代测绘新技术发展迅猛,测量仪器、测量工程技术和方法都取得了长足的进步。按照高职高专教育面向技术领域和职业岗位(群)的实际要求,本书内容紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展,不仅让学生学习和掌握工程现场使用的常规测量仪器、测量技术和测量方法等工程测量知识,而且在相关章节中还介绍了电子水准仪、电子经纬仪、电子全站仪。此外,本书还对全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、数字化测绘等新技术进行了介绍,反映了新技术和新方法在工程现场应用的新发展。本书具有较强的先进性和通用性,可作为建筑工程、土木工程监理、城市规划、城镇建设等专业的教材使用,也可供相关工程技术人员参考。

本书共分十三章,编写分工如下:昆明冶金高等专科学校赵文亮编写第一章、第二章,张东明编写第九章、第十章、第十一章,吕翠华编写第十二章和第十三章;深圳职业技术学院李会青编写第三章和第四章;平顶山工学院王卫军编写第七章和第八章;华北航天工业学院苏登天编写第五章和第六章;赵文亮负责全书的统稿定稿工作,并对部分章节做了补充和修改。

昆明理工大学方源敏教授对本书进行了审阅,并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 土木工程测量的内容和任务 .....	1
1.2 地面点位定位及表示 .....	2
1.3 测量工作的基本内容和原则 .....	7
1.4 水准面曲率对观测量的影响 .....	8
思考题 .....	10
<b>第二章 测量仪器及操作</b> .....	11
2.1 水准测量的仪器和工具.....	11
2.2 角度测量仪器.....	16
2.3 电子全站仪.....	22
2.4 测量仪器的检验和保管.....	27
思考题 .....	35
<b>第三章 测量误差理论的基础知识</b> .....	37
3.1 误差理论的概述.....	37
3.2 误差传播定律.....	40
3.3 平差值的计算.....	41
3.4 精度评定.....	43
思考题 .....	45
<b>第四章 水准测量</b> .....	46
4.1 水准测量原理.....	46
4.2 等外水准测量的实施.....	47
4.3 水准测量的成果计算.....	49
4.4 水准测量的误差来源与注意事项.....	54
思考题 .....	56
<b>第五章 角度测量</b> .....	58
5.1 水平角和竖直角测量原理.....	58
5.2 水平角的测量与计算.....	59
5.3 竖直角的测量与计算.....	63
5.4 角度测量的误差与注意事项.....	66

·思考题 .....	69
<b>第六章 距离测量 .....</b>	<b>72</b>
6.1 普通视距测量 .....	72
6.2 直线定向与钢尺量距 .....	75
6.3 光电测距 .....	84
思考题 .....	89
<b>第七章 小区域控制测量 .....</b>	<b>90</b>
7.1 控制测量概述 .....	90
7.2 导线测量的外业工作 .....	92
7.3 导线测量的内业计算 .....	95
7.4 小三角测量 .....	103
7.5 交会定点 .....	104
7.6 高程控制测量 .....	107
思考题 .....	112
<b>第八章 大比例尺地形图测绘与应用 .....</b>	<b>114</b>
8.1 地形图的基础知识 .....	114
8.2 地形图符号 .....	117
8.3 地形图测绘的基本原理与方法 .....	125
8.4 数字测图 .....	131
8.5 地形图的拼接、检查与整饰 .....	136
8.6 地形图在工程建设中的应用 .....	138
思考题 .....	146
<b>第九章 施工测量的基本工作 .....</b>	<b>148</b>
9.1 建筑工程测量概述 .....	148
9.2 测设的基本工作 .....	149
9.3 设计平面点位的测设 .....	152
9.4 已知坡度直线的测设 .....	155
思考题 .....	155
<b>第十章 建筑施工控制测量 .....</b>	<b>157</b>
10.1 施工控制网概述 .....	157
10.2 施工控制网的坐标换算 .....	158
10.3 平面施工控制网 .....	159
10.4 施工场地的高程控制测量 .....	163
思考题 .....	163
<b>第十一章 建筑工程施工测量 .....</b>	<b>165</b>
11.1 建筑施工测量概述 .....	165

11.2	建筑物的定位与放线·····	166
11.3	建筑物基础施工测量·····	169
11.4	安装测量·····	171
11.5	高层建筑物施工测量·····	174
11.6	管道施工测量·····	176
	思考题·····	181
<b>第十二章</b>	<b>建筑物变形观测和竣工测量</b> ·····	<b>183</b>
12.1	概述·····	183
12.2	建筑物的沉降观测·····	183
12.3	建筑物的倾斜观测·····	187
12.4	建筑物的位移观测·····	190
12.5	建筑物的裂缝观测·····	190
12.6	竣工测量与竣工总平面图的编绘·····	191
	思考题·····	192
<b>第十三章</b>	<b>测绘新技术简介</b> ·····	<b>194</b>
13.1	概述·····	194
13.2	GPS 基本知识 ·····	194
13.3	RS 基本知识 ·····	198
13.4	GIS 基本知识·····	201
13.5	数字测图基本知识·····	206
	思考题·····	209
<b>参考文献</b>	·····	<b>210</b>



# 第一章 绪 论

本章主要介绍土木工程测量的研究内容和任务,概述地球的形状和大小的概念及研究方法。重点讲述测量常用坐标系及地球表面点位置的确定方法及测量原理,测量工作的程序及基本内容。分析了水准面的曲率对观测量的影响。

## 1.1 土木工程测量的内容和任务

测量学(亦称测绘学)是一门研究对地球整体和其表面形态以及对外层空间的物体的有关空间位置信息进行采集、处理、分析、描述、管理和利用的科学。测绘科学按照研究的重点内容 and 应用范围来分类,包括以下多个学科:

大地测量学——研究地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技術。其基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球的形状、大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

摄影测量与遥感学——研究利用摄影和遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。由于获得的图像的方法不同,摄影测量又分为航空摄影测量、水下摄影测量、地面摄影测量和航空遥感等。

海洋测量学——以海洋和陆地水域为研究对象,研究港口、码头、航道及水下地形测量的理论和方法。

工程测量学——研究在工程建设和自然资源开发中的规划、设计、施工、竣工验收和营运中测量的理论和方法。工程测量学包括控制测量、地形测绘、变形监测及建立相应的信息系统等内容。

地图制图学——研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

土木工程测量是测量学的一个组成部分,它包括土木工程在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作。它的主要任务是:

### 1. 工程建设区域控制测量

根据土木工程建设的需要建立工程控制网,为测绘大比例尺地形图、施工放样和竣工测量、建(构)筑物形变的监测提供平面基准和高程基准。

## 2. 测绘大比例尺地形图

把工程建设区域内的地貌和各种物体的几何形状及空间位置,按照一定的符号和比例尺,运用测量学的理论、方法和工具测绘成地形图,为规划设计提供图纸和资料。

## 3. 地形图应用

为工程建设的规划设计,从地形图中获取所需的资料,例如点的平面坐标和高程、两点间的距离、地块的面积、地面的断面和地形分析资料等。

## 4. 施工放样和竣工测量

把图纸上设计的建(构)筑物,按照设计要求在现场标定出来,作为施工的依据;配合建筑施工工程,进行各种测量工作,保证施工质量;开展竣工测量,为工程验收、日后扩建和维修管理提供资料。

## 5. 建筑物变形观测

对于一些重要的建(构)筑物,在施工和营运其间,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。

归纳起来,测量工作大致可分为测定和测设两部分。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、设计好的建筑物位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测绘工作贯穿于工程建设的全过程,直接关系到工程建设的速度和质量。因此,学好土木工程测量,掌握必要的测量知识和技能是很重要的。

# 1.2 地面点位定位及表示

## 1.2.1 地球的形状和大小

地面点位的确定,要求我们研究地球的形状和大小。地球的自然表面有高山、丘陵、平原、海洋等起伏形态,海洋面积约占地球表面的 71%,陆地面积约占 29%,是一个不规则曲面。假设一个静止不动的水准面延伸并穿过陆地,包围整个地球,形成一个闭合曲面,称之为水准面;与水准面相切的平面称为水平面。在地球上重力方向线与水准面相垂直,因此重力方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。

水准面与因其高度不同而有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,它可以近似地代表地球的形状,如图 1.1 和图 1.2 所示。图中  $PP_1$  为地球自转轴。

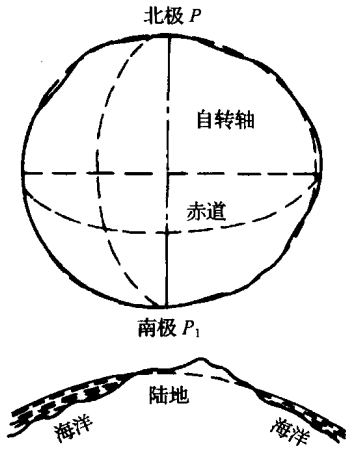


图 1.1 地球自然表面

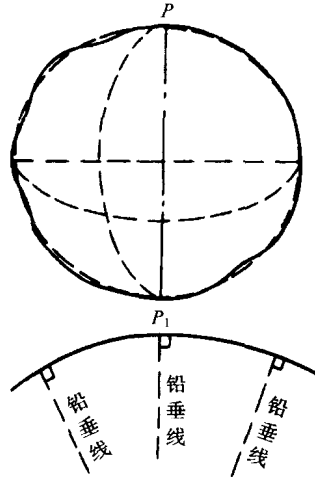


图 1.2 大地水准面

大地水准面所包围的形体称为大地体。为了确定地面点的位置，必须有一个参照基准面，在实际测量工作中，是以大地水准面作为测量的基准面。由于地球内部质量分布不均匀，重力受其影响，致使大地水准面成为一个不规则的、复杂的曲面。如果将地球表面上的点位投影到这样一个不完全均匀变化的曲面上，在计算上将是很困难的。因此，经过长期测量实践表明，大地体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球体的形状十分近似，所以测绘工作便取大小与大地体很接近的旋转椭球体作为地球的参考形状和大小，如图 1.3 所示。

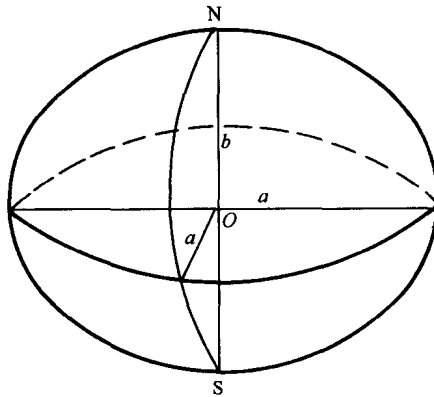


图 1.3 地球椭球体

我国目前采用的旋转椭球体的参数值为：

长半径

$$a = 6378140\text{m}$$

短半径

$$b = 6356755\text{m}$$

扁率

$$a = (a - b)/a = 1/298.257$$

由于旋转椭球的扁率很小,在测区面积不大,可以近似地把地球当作圆球,其半径  $R$  可按式计算:

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \quad (1.1)$$

在测量精度要求不高时,其近似值为 6371km。

### 1.2.2 坐标系统

测量工作的任务是确定地面点位。通常用下面几种坐标系来确定地面点位。

#### 1. 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标,根据不同的投影面,分为天文地理坐标系和大地坐标系。如图 1.4 所示,  $N$ 、 $S$  分别是地球的北极和南极,  $NS$  称为自转轴。包含自转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。通过原格林尼治天文台的子午面称为首子午面。通过地心垂直于地球自转轴的平面称为赤道面,赤道面与椭球面的交线称为赤道。

以法线为依据,以地球椭球面为基准面的球面坐标系称为大地坐标系,赤道面和首子午面是确定地面点大地坐标的两个基准面,地面点的大地坐标用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  来表示。某点  $P$  的大地经度为过  $P$  点的子午面与首子午面的夹角  $L$ ;某点  $P$  的大地纬度为通过  $P$  点的法线与赤道平面的夹角  $B$ ,如图 1.4 所示。

若点的位置以铅垂线为依据,则以大地水准面为基准面的球面坐标系称天文坐标系。地面点的天文坐标用经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  来表示。某点  $P$  的经度为过  $P$  点的子午面与首子午面的夹角  $\lambda$ ;某点  $P$  的纬度为通过  $P$  点的铅垂线与赤道平面的夹角  $\varphi$ ,如图 1.5 所示。

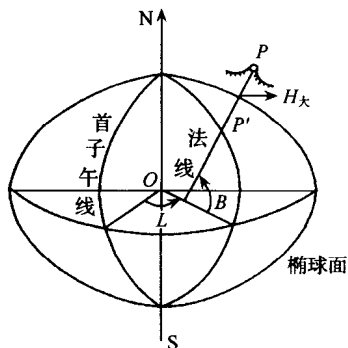


图 1.4 大地坐标系

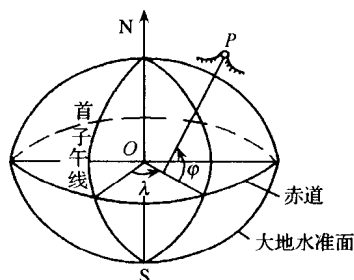


图 1.5 天文坐标系

大地坐标和天文坐标,自首子午线起,向东  $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$  称东经,向西  $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$  称西经。自赤道起,向北  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$  称北纬,向南  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$  称南纬。例如北京某点的大地坐标为东经  $L=116^{\circ}28'$ ,北纬  $B=39^{\circ}54'$ 。

## 2. 高斯平面直角坐标系

地理坐标是球面坐标,由于工程设计与计算是在平面上进行的,需要将点的位置和地面图形表示在平面上,因而地理坐标不便于直接进行各种计算。为此,需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。

高斯投影方法是首先将地球按经线划分成带,称为投影带。投影带从首子午线起,每隔  $6^{\circ}$  划分一带(称为  $6^{\circ}$  带),如图 1.6,共划分成 60 个带,如图 1.6(a)所示。从首子午线开始自西向东编号,东经  $0^{\circ}\sim 6^{\circ}$  为第一度带, $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$  为第二度带,依次类推,如图 1.6(b)。位于每一带中央的子午线称为中央子午线,第一带子午线的经度

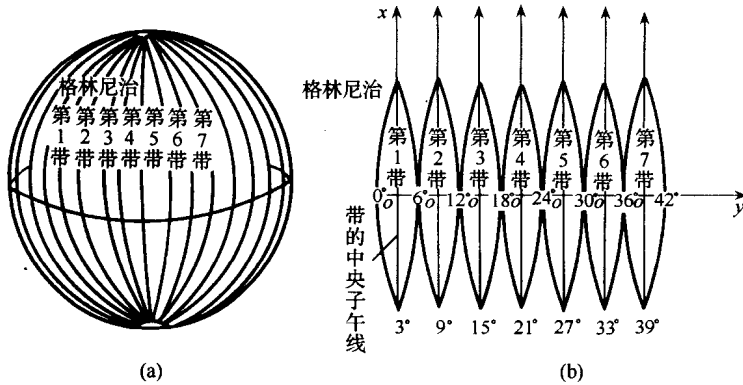


图 1.6 高斯投影  $6^{\circ}$  分带

为  $3^{\circ}$ ,任意一带的中央子午线经度  $\lambda_0$  为:

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1.2)$$

式中: $N$ —— $6^{\circ}$ 带的带号。

采用高斯投影时,设想取一个空心圆柱与地球椭球的某一中央子午线相切,如图 1.7 所示。在地球图形与柱面图形保持等角的条件下,将球面上的图形投影到圆柱面上,然后将圆柱沿着通过南、北的母线切开、并展成平面。在这个平面上,中央子午线与赤道线成为相互垂直的直线,其他子午线和纬线成为曲线,如图 1.9 所示。取中央子午线为坐标纵轴  $X$ ,取赤道为坐标横轴  $Y$ ,两轴的交点  $O$  为坐标原点,组成高斯自然平面直角坐标系。

在坐标系内,规定  $X$  轴向北为正, $Y$  轴向东为正。我国位于北半球, $X$  坐标均为正值, $Y$  坐标则有正有负,如图 1.9(a)所示, $Y_A=136780\text{m}$ , $Y_B=-272440\text{m}$ 。为了避免  $Y$  坐标出现负值,将每带的坐标原点向西移动  $500\text{km}$ ,如图 1.9(b)所示,纵

轴西移后,  $Y_A = 500\,000 + 136\,780 = 636\,780\text{m}$ ,  $Y_B = 227\,560\text{m}$ 。由于每个投影带中都有这样一个坐标的点, 为说明点所在的投影带, 在  $Y$  坐标前再冠之以投影带的带号, 以构成高斯实用坐标。如该两点在第 26 投影带中, 则  $Y_A = 26\,636\,780\text{m}$ ,  $Y_B = 26\,227\,560\text{m}$ 。在高斯投影中, 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。当要求投影变形更小时, 可采用  $3^\circ$  带投影或  $1.5^\circ$  带投影法。

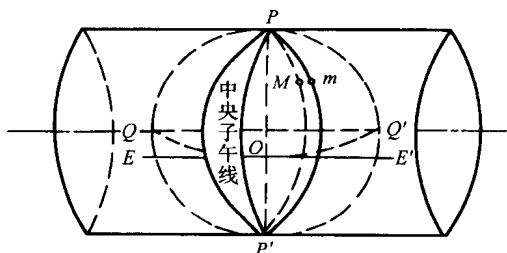


图 1.7 高斯投影

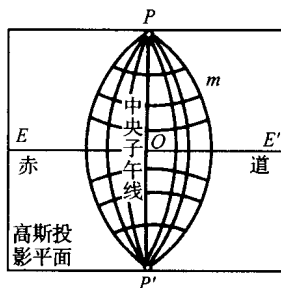
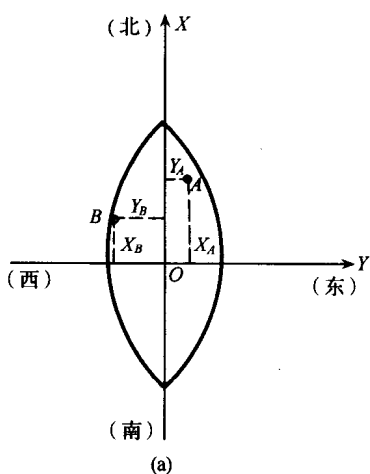
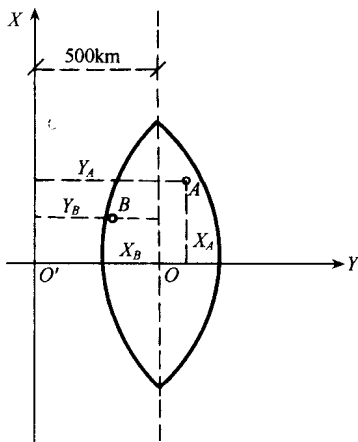


图 1.8 高斯投影平面



(a)



(b)

图 1.9 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标系和数学笛卡儿坐标系相比较, 象限顺序不同, 并赋予了统一的地理方位的意义, 这个变化不影响平面点线之间的数学关系。

### 3. 任意平面直角坐标系

当测量的范围较小时, 可以将该测区的大地水准面当作平面看待, 在该面上建立独立平面直角坐标系。通常将任意直角坐标系的原点选在测区西南角, 以使测区内任意点的坐标均为正值。坐标系原点可以是假定坐标值, 也可采用高斯平面直角坐标值。规定  $X$  轴向北为正,  $Y$  轴向东为正。

### 1.2.3 高程系统

地面点高程是指一定高程基准面至地面点的垂直距离, 简称高程, 用  $H$  表示

如图 1.10 所示,  $H_A$ 、 $H_B$  分别为  $A$  和  $B$  点的高程。

我国的高程系统是以青岛验潮站历年记录的黄海平均海平面为基准,并在青岛建立了国家水准原点,其高程为 72.260m,称为 1985 年国家高程基准。

在局部地区有时可以假定一个水准面作为高程起算面(指定某个固定点并假设其起算高程为零),假定水准面到地面点的铅垂线长称为该点的相对高度。如图 1.10 所示,  $H'_A$ 、 $H'_B$  分别表示  $A$  点和  $B$  点的相对高度。

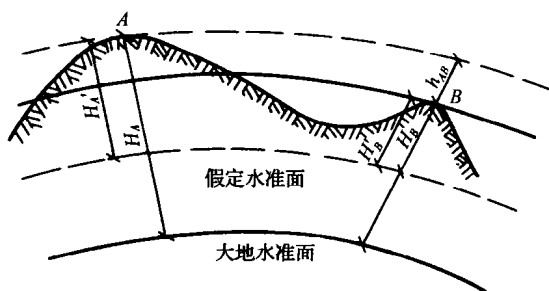


图 1.10 高程系统

地面两点之间的高程差称为高差,用  $h$  来表示。 $A$ 、 $B$  两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3)$$

在我国有的地方,其高程系统还在沿用 1956 年黄海高程系统。1956 年黄海高程系统青岛原点高程为 72.289m。

### 1.3 测量工作的基本内容和原则

#### 1.3.1 测量工作的基本内容

地球表面高低起伏、有各种地物,其外形是复杂的。测绘工作的基本任务是用测绘技术确定地面点的位置,即地面点定位。地面点定位过程有测绘和测设两个方面。测绘是利用测量技术手段测定地面点的空间位置,并以图形、数据等信息表示出来的过程;测设是利用测量技术手段把设计拟定的点位标定到地面上的过程。实际测量工作中,一般不能直接测出地面点的坐标和高程。通常是求得待定点与已测出坐标和高程的已知点之间的几何位置关系,然后再推算出待定点的坐标和高程。

如图 1.11 所示,设  $M$ 、 $N$  点的坐标已知, $P$  点为待定点, $A$  的高程已知, $B$  点为待定点。在  $\triangle MNP$  中,通过测量角度值  $\alpha$  和边长  $D$  即可解算出  $P$  点的坐标。欲求  $B$  点的高程,则要测量出  $A$ 、 $B$  点间高差  $h$ ,并可推算出  $B$  点高程。确定点的高程的主要测量工作是测高差。

由此可见,测量的基本工作是角度测量、距离测量和高差测量。角度、距离和高差是地面定位的基本观测量。

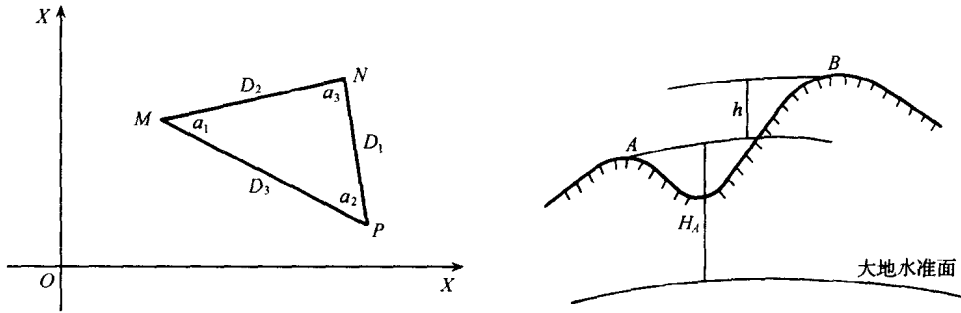


图 1.11 地面点位的基本定位元素

### 1.3.2 测量工作的基本原则

地表形态和建筑物形状是由许多特征点决定的。在进行土木工程测量时,就需要测定(或测设)许多特征点(也称碎部点)的平面位置和高程。如果从一个特征点开始逐点进行施测,虽然可得到待测各点的位置坐标,但由于测量工作中存在不可避免的误差,会导致前一点的测量误差传递到下一点,并且误差会积累起来,最后可能使点位误差达到不可容许的程度。而且如一旦出现错误,将使后续工作由于在错误的基础上而完全错误。因此,测量工作必须按照一定的原则进行。在实际测量工作中,应遵循以下三个原则:

#### 1. 整体原则

即“从整体到局部”的原则。任何测绘工作都必须先总体布置,然后分期、分区、分项实施,任何局部的测量过程必须服从全局的定位要求。

#### 2. 控制原则

即“先控制后碎部”的原则。也就是先在测区内选择一些有控制意义的点(称为控制点),把它们的平面位置和高程精确地测定出来,然后再根据这些控制点测定出附近碎步点的位置。这种测量方法可以减少误差积累,而且可以同时几个控制点上同时进行测量,加快工作进度。

#### 3. 检核原则

即“步步检核”的原则。测量工作必须重视检核,防止发生错误,避免错误的结果对后续测量工作的影响。

## 1.4 水准面曲率对观测量的影响

水准面是一个曲面,曲面上的图形投影到平面上,会产生一定的变形。在实际测量工作中,当测区面积不大,并能满足一定的变形精度要求时,往往以水平面代替水准面,即以水平面为基准面。



如图 1.12 所示,  $S$  为地面上  $M$ 、 $N$  两点在大地水准面  $P$  上的弧长,  $S'$  为  $M$ 、 $N$  两点投影点到水平面上的长度, 投影的距离误差  $\Delta S = S' - S$ ,  $n'n$  为高程误差  $\Delta h$ ,  $R$  为地球半径。

水平面代替大地水准面所产生的距离误差, 可用下式表示:

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad (1.4)$$

水平面代替大地水准面所产生的高程误差, 可用下式表示:

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (1.5)$$

取  $R = 6371\text{km}$ , 以不同的  $S$  值代入式(1.4)和式(1.5), 所产生的距离和高程误差分别如表 1.1 和表 1.2 所列。

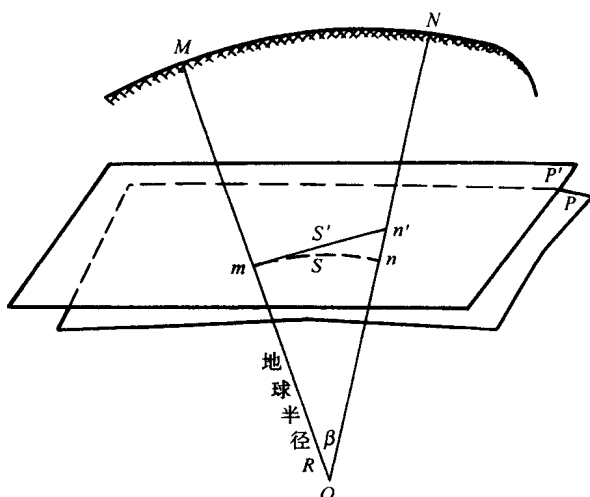


图 1.12 水平面代替水准面所产生的误差

由表 1.1 可知, 当  $S = 20\text{km}$  时, 距离相对误差仅为  $1 : 300\,000$ , 对常规的测量精度要求而言也是允许的。因此, 在半径为  $20\text{km}$  的范围内可以用水平面代替水准面。

由表 1.2 可知, 距离仅  $100\text{m}$  时, 高程误差已达  $0.8\text{mm}$ ; 当距离为  $200\text{m}$  时, 高程误差达  $3.1\text{mm}$ 。显然, 进行高程测量时, 应考虑地球曲率对高程的影响。

表 1.1 所产生的距离误差

$S/\text{km}$	$\Delta S/\text{cm}$	$\Delta S/S$
10	0.8	$1 : 1\,220\,000$
20	6.6	$1 : 304\,000$