

# 土木工程测量

主 编 徐广舒 陈向阳 胡 颖

副主编 丁以喜 石 东 丁忠明

刘国庆

参 编 郑海棠 李瑞红 许 茜

吴生海 陈清锦



北京理工大学出版社

# 土木工程测量

主 编 徐广舒 陈向阳 胡 颖

副主编 丁以喜 石 东 丁忠明

刘国庆

参 编 郑海棠 李瑞红 许 茜

吴生海 陈清锦



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 提 要

本书共分为九章，主要内容包括绪论、水准测量与水准仪、角度测量与经纬仪、距离测量与全站仪、控制测量与GPS、地形测量、地形图的应用、建筑工程测量和道路桥梁隧道测量等。每个章节都包括学习目标、关键概念和课后讨论等环节，具有较强的实用性和通用性。

本书可作为高等院校土建类相关专业的教材，也可供工程建设相关技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程测量 / 徐广舒, 陈向阳, 胡颖主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2020.7  
ISBN 978-7-5682-8799-9

I. ①土… II. ①徐… ②陈… ③胡… III. ①土木工程—工程测量—高等学校—教材  
IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第137154号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 485千字

版 次 / 2020年7月第1版 2020年7月第1次印刷

定 价 / 75.00元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 前 言

本书内容涵盖建筑工程全过程的测量、测绘工作，叙述深入浅出，通俗易懂。基本概念清晰，基本理论简明扼要，注重职业技能和素质的培养，反映新技术、新理论、新标准和新规范，同时补充道路桥梁和隧道工程测量的基本知识，以满足职业拓展的需要。本书强调一切工作均以现行国家相关技术规定和规范为标准，根据《工程测量规范》（GB 50026—2007）、《城市测量规范》（CJJ/T 8—2011）、《建筑变形测量规范》（JGJ 8—2016）等相应的规范和规程，按照基于工作过程的指导原则编写。

本书由徐广舒、陈向阳、胡颖担任主编，具体编写分工为：南通职业大学徐广舒，陈向阳编写第1、2、3、5章，金肯职业技术学院郑海棠编写第4章，南京工业职业技术学院丁以喜编写第6章，金肯职业技术学院胡颖编写第7、9章，南通职业大学石东编写第8章，南通职业大学许茜、吴生海编写第1至6章课后练习和讨论，南通职业大学李瑞红编写第7至9章课后练习和讨论。陈清锦负责第6章和第9章案例收集和编写。本书还得到了南通市江海测绘院有限公司副院长丁忠明、南通大地测绘有限公司技术部经理刘国庆的大力支持，不仅为本书的编写提供了相关规范和案例，还为实践及实训教学建言献策，同时为两校学生提供了测绘实践的机会。另外，第9章的插图和其他章节的部分插图是由郭言言同学绘制，在此一并表示感谢！本书配有丰富的教学资源和相关规范，读者可在中国大学慕课（MOOC）官网（[www.icourse163.org](http://www.icourse163.org)）搜索《土木工程测量》（胡颖、陈向阳）进行学习观看，也可扫码下载相关视频和规范。

本书在编写过程中参考和引用了大量文献资料，在此谨向相关作者表示衷心感谢。由于编者水平有限，本书难免存在不足和疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	1	<b>第2章 水准测量与水准仪</b> .....	21
<b>1.1 建筑工程测量的任务</b> .....	1	<b>2.1 水准测量原理与高程计算方法</b> .....	22
1.1.1 测量学的概念及分类 .....	2	2.1.1 水准测量原理 .....	22
1.1.2 建筑工程测量的任务 .....	2	2.1.2 高程计算方法 .....	23
<b>1.2 坐标系统和高程系统</b> .....	3	<b>2.2 水准测量的仪器及工具</b> .....	23
1.2.1 地球的形状和大小 .....	3	2.2.1 DS <sub>3</sub> 水准仪的构造 .....	23
1.2.2 确定地面点位的方法 .....	5	2.2.2 水准尺和尺垫 .....	26
<b>1.3 地球曲率对测量数值的影响</b> .....	9	<b>2.3 水准仪的使用</b> .....	26
1.3.1 对水平距离的影响 .....	9	<b>2.4 水准测量的方法与检核</b> .....	28
1.3.2 对高程的影响 .....	10	2.4.1 水准点和水准路线 .....	28
<b>1.4 建筑工程测量工作程序</b> .....	10	2.4.2 水准测量的方法 .....	30
1.4.1 测量的基本工作 .....	11	2.4.3 水准测量的测站检核 .....	31
1.4.2 测量工作的基本原则 .....	11	<b>2.5 水准测量的精度要求与成果计算</b> .....	32
1.4.3 测量工作的基本要求 .....	12	<b>2.6 自动安平水准仪和数字水准仪</b> 简介 .....	36
1.4.4 建筑工程施工测量作业流程 .....	12	2.6.1 自动安平水准仪 .....	36
1.4.5 测量数据凑整规则 .....	12	2.6.2 数字水准仪 .....	37
1.4.6 测量常用计量单位与换算 .....	13	<b>2.7 水准仪的检验与校正</b> .....	37
1.4.7 测量记录与计算规则 .....	13	2.7.1 水准仪应满足的几何条件 .....	38
<b>1.5 测量误差</b> .....	14	2.7.2 水准仪的检验与校正 .....	38
1.5.1 测量误差的概念和特点 .....	14	<b>2.8 水准测量的误差及分析</b> .....	40
1.5.2 衡量测量精度的指标 .....	16	2.8.1 仪器误差 .....	41
<b>本章小结</b> .....	18		
<b>课后习题</b> .....	18		

2.8.2 观测误差·····	41	3.7.2 观测误差·····	68
2.8.3 外界条件的影晌误差·····	41	3.7.3 外界条件的影晌·····	70
<b>2.9 工程案例</b> ·····	43	<b>本章小结</b> ·····	70
<b>本章小结</b> ·····	43	<b>课后习题</b> ·····	70
<b>课后习题</b> ·····	44		
<b>第3章 角度测量与经纬仪</b> ·····	47	<b>第4章 距离测量与全站仪</b> ·····	73
<b>3.1 角度测量原理</b> ·····	48	<b>4.1 钢尺量距</b> ·····	74
3.1.1 水平角测量原理·····	48	4.1.1 钢尺量距的工具·····	74
3.1.2 竖直角测量原理·····	48	4.1.2 直线定线·····	76
<b>3.2 经纬仪</b> ·····	49	4.1.3 钢尺量距的一般方法·····	76
3.2.1 DJ <sub>6</sub> 型光学经纬仪·····	50	4.1.4 钢尺量距的精密方法·····	79
3.2.2 DJ <sub>2</sub> 型光学经纬仪·····	51	4.1.5 钢尺量距的误差及注意事项·····	82
3.2.3 电子经纬仪·····	53	<b>4.2 视距测量</b> ·····	83
<b>3.3 经纬仪的使用</b> ·····	54	4.2.1 视距测量原理·····	83
3.3.1 安置仪器·····	54	4.2.2 视距测量与计算·····	85
3.3.2 瞄准目标·····	55	4.2.3 视距测量误差及注意事项·····	85
3.3.3 读数·····	55	<b>4.3 红外光电测距</b> ·····	86
<b>3.4 水平角观测</b> ·····	56	4.3.1 红外光电测距仪的测距原理·····	86
3.4.1 测回法·····	56	4.3.2 全站仪及其使用方法·····	87
3.4.2 方向观测法·····	58	<b>4.4 方向测量</b> ·····	90
3.4.3 水平角观测限差·····	59	4.4.1 直线定向·····	90
<b>3.5 竖直角观测</b> ·····	60	4.4.2 象限角与坐标反算·····	92
3.5.1 竖盘装置的结构·····	60	4.4.3 坐标方位角的推算·····	93
3.5.2 竖直角的计算公式·····	61	<b>4.5 工程案例</b> ·····	94
3.5.3 竖盘指标差·····	62	<b>本章小结</b> ·····	95
3.5.4 竖直角的观测·····	63	<b>课后习题</b> ·····	95
<b>3.6 经纬仪的检验与校正(理实         一体)</b> ·····	64		
3.6.1 经纬仪主要轴线及其相互关系·····	64	<b>第5章 控制测量与GPS</b> ·····	97
3.6.2 经纬仪常规项目的检验与校正·····	64	<b>5.1 控制测量概述</b> ·····	98
<b>3.7 角度测量的误差及分析</b> ·····	68	5.1.1 平面控制测量·····	98
3.7.1 仪器误差·····	68	5.1.2 高程控制测量·····	100
		5.1.3 国家控制网·····	100
		5.1.4 城市或厂矿地区控制测量·····	101

5.1.5 建筑施工控制测量	102	6.1.2 地形图的分幅与编号	147
<b>5.2 控制测量技术设计</b>	104	6.1.3 地形图图式	149
5.2.1 技术设计的一般规定	104	6.1.4 地物表示方法	154
5.2.2 技术设计的依据	104	6.1.5 地貌表示方法	154
5.2.3 技术设计的基本原则	104	6.1.6 地形图的识读	158
5.2.4 技术设计的主要内容	105	<b>6.2 地形图测绘</b>	160
5.2.5 控制测量技术设计过程	105	6.2.1 解析测图法	160
5.2.6 附表资料	105	6.2.2 数字测图(电子全站仪)法	162
5.2.7 报请审核	106	<b>本章小结</b>	163
<b>5.3 导线测量</b>	106	<b>课后习题</b>	163
5.3.1 踏勘选点	107	<b>第7章 地形图的应用</b>	166
5.3.2 导线的布设形式	108	<b>7.1 地形图应用的基本内容</b>	167
5.3.3 导线测量的技术、精度要求	108	7.1.1 量测点位坐标、两点边长及方位角	168
5.3.4 导线测量的外业	109	7.1.2 高程和直线坡度的量算	170
5.3.5 导线测量的内业计算	110	7.1.3 图形面积的量算	170
5.3.6 四等水准测量	117	7.1.4 根据指定方向绘制断面图	172
5.3.7 三角高程测量	120	7.1.5 按限制坡度选定最短路线	173
<b>5.4 GPS卫星定位技术</b>	124	<b>7.2 建筑场地土方平衡</b>	174
5.4.1 全球定位系统概述	124	7.2.1 将原始地表整理成水平面或倾斜面	175
5.4.2 全球定位系统的组成	125	7.2.2 场地平整土方量的计算方法	175
5.4.3 GPS卫星定位原理	128	<b>7.3 土方工程施工测量</b>	176
5.4.4 GPS的作业方式	129	<b>7.4 土方量的计算</b>	177
5.4.5 GPS测量常用坐标系	132	7.4.1 整理成水平场地	177
5.4.6 GPS测量设计与实施	132	7.4.2 整理成倾斜面	179
<b>5.5 工程案例</b>	136	<b>7.5 场地平整土石方量计算CAD案例</b>	182
5.5.1 工程概况	136	7.5.1 工程概况	182
5.5.2 平面控制测量	136	7.5.2 确定场地设计高程	182
5.5.3 高程测量	138	7.5.3 平均高程计算	183
5.5.4 控制网复核测量成果	138	7.5.4 计算零点位置(挖填边界)	184
<b>本章小结</b>	140	7.5.5 土方工程量计算	185
<b>课后习题</b>	140	<b>第6章 地形测量</b>	144
<b>第6章 地形测量</b>	144	<b>6.1 地形图基本知识</b>	145
<b>6.1 地形图基本知识</b>	145	6.1.1 地形图的基本概念	146
6.1.1 地形图的基本概念	146		

7.5.6 土方平整·····	187	<b>8.5 建筑工程变形观测</b> ·····	239
<b>本章小结</b> ·····	190	8.5.1 建筑工程变形观测概述·····	240
<b>课后习题</b> ·····	190	8.5.2 建筑物的沉降观测·····	241
<b>第8章 建筑工程测量</b> ·····	194	8.5.3 建筑物的倾斜观测·····	246
<b>8.1 施工测量概述</b> ·····	194	8.5.4 建筑物的裂缝观测·····	249
8.1.1 施工测量的目的和内容·····	195	8.5.5 建筑物的水平位移观测·····	251
8.1.2 施工测量的特点和原则·····	195	<b>8.6 竣工测量</b> ·····	253
8.1.3 建筑物施工放样、轴线投测和标高传递的允许偏差·····	195	8.6.1 竣工测量的目的、内容、方法与特点·····	253
<b>8.2 测设的基本工作</b> ·····	197	8.6.2 竣工总平面图的编绘·····	254
8.2.1 已知水平距离的测设·····	197	<b>本章小结</b> ·····	255
8.2.2 已知水平角度的测设·····	198	<b>课后习题</b> ·····	256
8.2.3 已知高程点的测设·····	199	<b>第9章 道路桥梁隧道测量</b> ·····	258
8.2.4 已知坡度线的测设·····	200	<b>9.1 道路工程测量</b> ·····	259
8.2.5 点的平面位置测设·····	201	9.1.1 道路工程测量概述·····	259
<b>8.3 建筑施工控制测量</b> ·····	204	9.1.2 道路中线测量·····	261
8.3.1 施工控制网概述·····	204	9.1.3 道路施工测量·····	284
8.3.2 平面控制网的布设·····	206	<b>9.2 桥梁工程测量</b> ·····	291
8.3.3 高程控制网的布设·····	208	9.2.1 桥梁工程控制测量·····	291
<b>8.4 建筑施工测量</b> ·····	209	9.2.2 涵洞施工测量·····	293
8.4.1 施工测量前的准备工作·····	209	9.2.3 桥梁工程施工测量·····	294
8.4.2 建筑物的定位·····	212	<b>9.3 隧道工程</b> ·····	298
8.4.3 建筑物轴线放样·····	214	9.3.1 隧道工程概述·····	298
8.4.4 施工控制桩和龙门板测设·····	216	9.3.2 隧道工程地面控制测量·····	299
8.4.5 基础施工测量·····	217	9.3.3 隧道工程联系测量·····	301
8.4.6 主体施工测量·····	217	9.3.4 隧道工程施工测量·····	307
8.4.7 建筑的高程测设·····	221	<b>本章小结</b> ·····	309
8.4.8 工业建筑施工测量·····	223	<b>课后习题</b> ·····	309
8.4.9 高层建筑施工测量·····	228	<b>参考文献</b> ·····	312
8.4.10 高耸建筑施工测量·····	232		
8.4.11 房屋建筑定位测量案例·····	234		

# 第 1 章 绪论

## 引 言

测量工作贯穿于工程建设项目全过程,测量工作的质量会严重影响工程建设项目的总体质量。测量工作能力是建筑工程施工技术人员必须重点掌握的核心技能。本章主要介绍测量基本知识。

## 学习目标

通过本章学习,能够:

1. 明确建筑工程测量的任务;
2. 理解测量工作的基准面和基准线;
3. 了解地面点的坐标、空间直角坐标系、地球曲率对测量数值的影响;
4. 熟悉测量的基本工作和基本原则;
5. 初识测量误差及衡量测量精度的指标。

## 文献导读

### 珠穆朗玛峰测绘

2005年10月9日上午10时,在国务院新闻办公室举办的新闻发布会上,原国家测绘局局长陈邦柱宣布:珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)峰顶岩石面海拔高程为8 844.43 m(其中珠峰峰顶岩石面高程测量精度为 $\pm 0.21$  m,峰顶冰雪深度为3.50 m),比我国1975年公布的高程8 848.13 m低3.7 m。同时也宣布,我国于1975年公布的珠峰高程数据8 848.13 m停止使用。

那么,珠峰到底有没有变矮呢?“珠峰是否变矮,现在还不能得出结论”,原国家测绘局局长陈邦柱解释说,“因为在珠峰的历次测量活动当中,有测量技术的进步程度问题,也有珠峰峰顶冰雪深度的测量精度问题,还有珠峰本身的地壳运动造成的问题。所以,在历次测量获得的不同数据中,还不能够完全得出珠峰变矮的结论,应该通过地学专家的研究才能作出准确的判断。但是,目前公布的这个数据是迄今为止最精确、最可靠的。”

我国测量工作者在本次珠峰测量中,为了得出更精确的权威数据,采用了经典测量与卫星GPS测量结合的技术方案,并首次动用了冰雪深雷达探测仪。

## 1.1 建筑工程测量的任务

### 学习目标

1. 了解测量学的概念;
2. 明确建筑工程测量的任务。

测定、测设、竣工测量、变形观测。

### 1.1.1 测量学的概念及分类

测量学是研究地球的形状和大小及确定地面点位的科学，其内容包括测定(测绘)和测设(放样)两部分。测定(测绘)是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算得到一系列测量数据，将地球表面的地物和地貌缩绘成地形图；测设(放样)是指将设计图纸上规划设计好的建筑物、构筑物位置及标高，在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学按照研究对象、性质及采用技术的不同，又可分为以下几类：

(1)大地测量学。大地测量学是研究和确定地球形状、大小、重力场、整体与局部运动和地表面点的几何位置，以及它们变化的理论和技术的学科。近年来随着空间技术的发展，大地测量正在向空间大地测量和卫星大地测量方向发展。其基本任务是建立国家大地控制网，测定地球的形状、大小和重力场，为地形测图和各种工程测量提供基础计算数据；为空间科学、军事科学及研究地壳变形、地震预报等提供重要资料。按照测量手段的不同，大地测量学又可分为常规大地测量学、卫星大地测量学及物理大地测量学等。

(2)普通测量学。普通测量学是研究地球表面局部区域内测绘工作的基本理论、仪器和方法的学科。它是测绘学的一个基础部分。局部区域是指在该区域内进行测量、计算和制图时，可以不顾及地球的曲率，将这个区域的地面简单地当作平面处理，而不致影响测图的精度。

(3)摄影测量与遥感学。摄影测量与遥感学是研究利用电磁波传感器获取目标物的影像数据，从中提取语义和非语义信息，并用图形、图像和数字形式表达的学科。其基本任务是通过对摄影像片或遥感图像进行处理、量测、解译，以测定物体的形状、大小和位置制作成图。根据获得影像的方式及遥感距离的不同，本学科又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学和航天遥感测量等。

(4)地图制图学。地图制图学是研究模拟和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术、方法及应用的学科。其基本任务是利用各种测量成果编制各类地图，内容一般包括地图投影、地图编制、地图整饰和地图制印等。

(5)工程测量学。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。工程测量是测绘科学与技术国民经济和国防建设中的直接应用，是综合性的应用测绘科学与技术。

### 1.1.2 建筑工程测量的任务

建筑工程测量是工程测量学的一个组成部分。其是研究建筑工程在勘测设计、施工和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。其主要任务如下：

(1)测绘大比例尺地形图。将工程建设区域内的各种地面物体的位置和形状，以及地面的起伏形状，依照规定的符号和比例尺绘制成地形图，为工程建设的规划设计提供必要的图纸和资料。

(2)施工放样和竣工测量。将图纸上已设计好的建(构)筑物，按设计要求在现场标定出来，作为施工的依据；配合建筑施工，进行各种测量工作，以保证施工质量；开展竣工测量，为工程验收、日后扩建和维修管理提供资料。

(3) 建筑物的变形观测。对于一些重要的建(构)筑物, 在施工和运营期间, 为了确保安全, 了解建(构)筑物变形规律, 应定期对建(构)筑物进行变形观测。

由此可见, 测量工作贯穿于工程建设的整个过程, 测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量, 因此每一位从事工程建设的人员, 都必须掌握必要的测量知识和技能。

### 提示

建筑工程施工测量工作的主要内容有施工前期的场地测量, 控制测量, 定位、放线测量, 基础和主体施工测量, 装饰装修施工测量, 工程后期的竣工测量和施工过程中至投入使用阶段的变形测量。

### 课后讨论

1. 测定和测设的概念是什么?
2. 建筑工程测量的任务是什么?

## 1.2 坐标系统和高程系统

### 学习目标

1. 熟悉我国常用的平面坐标系统和高程系统;
2. 掌握测量工作的基准面和基准线;
3. 熟悉确定地面点位的方法。

### 关键概念

水准面、水平面、大地体、大地水准面、铅垂线、参考椭球体、大地原点、测量工作的基准面和基准线。

### 1.2.1 地球的形状和大小

建筑测量工作是在地球表面上进行的, 其基本任务是地面点位置的确定。点是地球表面上形成地物和地貌最基本的单元, 合理地选择一些地面点, 对其进行测量, 就能将地物和地貌准确地表现出来, 因此, 在测量工作中最基本的工作就是地面点位的确定。

为了确定地面点位, 就需要相应的基准面和基准线作为依据, 测量工作是在地球表面进行的, 则测量工作的基准面和基准线就与地球的形状及大小有关。

地球的自然表面是很不规则的, 其上有高山、深谷、丘陵、平原、江湖和海洋等, 最高的珠峰高出海平面 8 844 m, 最深的太平洋马里亚纳海沟低于海平面 11 022 m, 其相对高差约 20 km, 与地球的平均半径 6 371 km 相比, 是微不足道的, 就整个地球表面而言, 陆地面积仅占 29%, 而海洋面积占了 71%。因此, 可以设想地球的整体形状是被海水所包围的球体, 即设想将静止的海水向整个陆地延伸, 用所形成的封闭曲面来代替地球表面, 如图 1-1 所示, 此封闭曲面称为大地水准面。通常用大地体代表地球的真实形状和大小。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。

水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。水准面和铅垂线就是实际测量工作所依据的基准面和基准线。

因为地球内部质量分布不均匀，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则变化，所以，大地水准面是一个不规则的无法用数学式表述的曲面，在这样的面上是无法进行测量数据的计算及处理的。因此，人们进一步设想，用一个与大地体非常接近的又能用数学式表述的规则球体，即旋转椭球体代表地球的形状，如图 1-2 所示。它是由椭圆 NESW 绕短轴 NS 旋转而成的。旋转椭球体的形状和大小由椭球基本元素确定，即椭圆的长半轴  $a$ 、短半轴  $b$  及扁率  $\alpha$ ，其关系式为

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

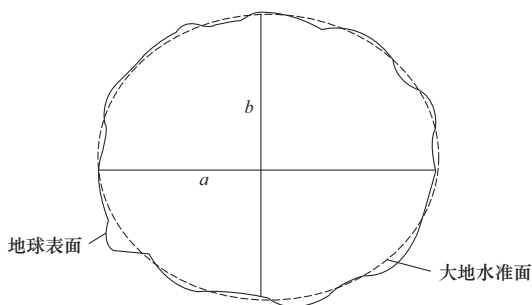


图 1-1 地球自然表面

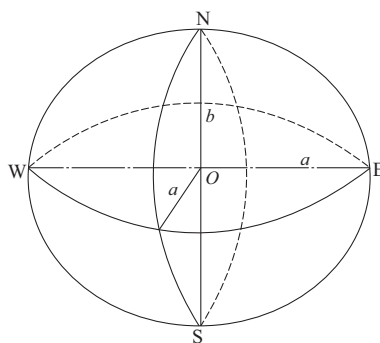


图 1-2 旋转椭球体

某一国家或地区为处理测量成果而采用与大地体的形状、大小最接近，又适合本国或本地区要求的旋转椭球体，这样的椭球体称为参考椭球体。确定参考椭球体与大地体之间的相对位置关系，称为椭球体定位。参考椭球体面只具有几何意义而无物理意义，它是严格意义上的测量计算基准面。

1954 年北京坐标系(P54)采用的是克拉索夫斯基椭球，1980 国家大地坐标系(C80)采用的是 1975 国际椭球，而全球定位系统(GPS)采用的是 WGS-84 椭球。我国 2008 年 7 月 1 日启用的地心坐标系——2000 国家大地坐标系，英文名称为 China Geodetic Coordinate System 2000，英文缩写为 CGCS2000，其地球椭球体的参数值： $a=6\,378\,137\text{ m}$ ， $b=6\,356\,752.314\,14\text{ m}$ ， $\alpha=1:298.257\,222\,101$ 。

由于参考椭球的扁率很小，故在小区域的普通测量中可以将地(椭)球看作圆球，其半径  $R=(a+b)/2=6\,371\text{ km}$ 。当测区范围更小时，还可以将地球看作是平面，使计算工作更为简单。

(1)水准面和水平面。人们设想以一个静止不动的海水面延伸穿越陆地，形成一个闭合的曲面包围了整个地球，这个闭合曲面称为水准面。水准面的特点是水准面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。与水准面相切的平面称为水平面。

(2)大地水准面。水准面有无数个，其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。其是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的形体称为大地体。

(3)铅垂线。重力的方向线称为铅垂线。其是测量工作的基准线。在测量工作中，取得铅垂线的方法如图 1-3 所示。

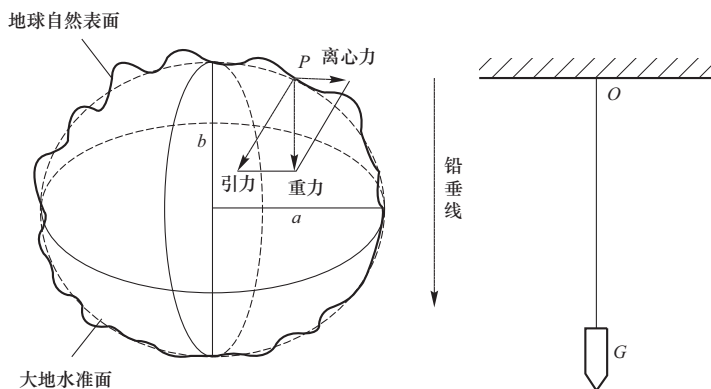


图 1-3 铅垂线(地球重力线)

### 提示

大地水准面、水平面、铅垂线是外业测量工作的基准面和基准线。

测量工作的坐标系建立在参考椭球面上，参考椭球面是测量内业计算工作的基准面。在建筑施工场地区域不太大的范围内，以参考椭球面与以大地水准面为基准面建立的坐标系，其对水平距离及水平角度的影响小到可以忽略不计。另外，测绘仪器很容易得到大地水准面的铅垂线，所以，将铅垂线作为测量工作的基准线(以其作为安置的依据)，进而将大地水准面(或水平面)作为测量工作的基准面。

## 1.2.2 确定地面点位的方法

地面点的空间位置需由三个参数来确定，即该点在大地水准面上的投影位置(两个参数)和该点的高程。

### 1. 地面点在大地水准面上的投影位置

地面点在大地水准面上的投影位置，可以用地理坐标、高斯平面直角坐标和独立平面直角坐标表示。

(1)地理坐标。地理坐标是用经度  $\lambda$  和纬度  $\varphi$  表示地面点在大地水准面上的投影位置，由于地理坐标是球面坐标，故不便于直接进行各种计算。

(2)高斯平面直角坐标。高斯平面直角坐标是利用高斯投影法建立的平面直角坐标系。在大区域内确定点的平面位置，一般采用高斯平面直角坐标。

高斯投影法是将地球划分成若干带，再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，每隔经度  $6^\circ$  划分一带，称为  $6^\circ$  带，将整个地球划分成 60 个带。带号从首子午线起自西向东编序， $0^\circ \sim 6^\circ$  为第 1 号带， $6^\circ \sim 12^\circ$  为第 2 号带。位于各带中央的子午线，称为中央子午线。第 1 号带中央子午线的经度为  $3^\circ$ ，任意号带中央子午线的经度  $L_0$  可按式(1-2)计算：

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (1-2)$$

反之，已知地面任一点的经度  $L$ ，则该点所在  $6^\circ$  带编号的计算公式为

$$N = \text{int} \left( \frac{L + 3}{6} + 0.5 \right) \quad (1-3)$$

式中  $N$ —— $6^\circ$  带的带号；

int——取整函数。

将地球看作椭圆球，并设想将投影面卷成圆柱面套在地球上，如图 1-5 所示，使圆柱的轴心通过椭圆球的中心，并与某 6°带的中央子午线相切，将该 6°带上的图形投影到圆柱面上，再将圆柱面沿过南极、北极的母线剪开，并展开成平面，这个平面称为高斯投影平面。中央子午线和赤道的投影是两条互相垂直的直线。

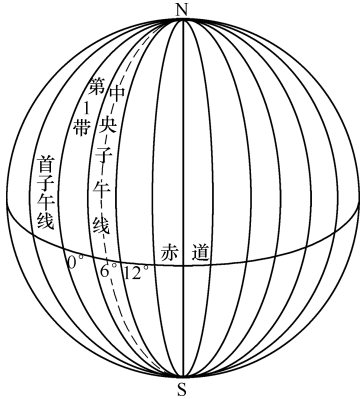


图 1-4 高斯平面直角坐标的分带

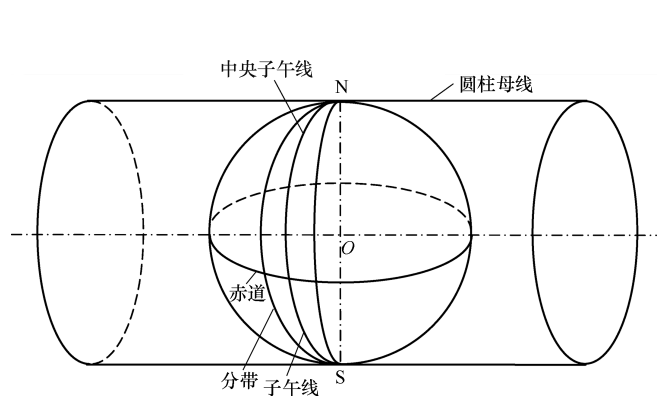


图 1-5 高斯平面直角坐标的投影

中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的纵轴  $x$ ，向北为正；赤道的投影为高斯平面直角坐标系的横轴  $y$ ，向东为正；两坐标轴的交点  $O$  为坐标原点。由此建立了高斯平面直角坐标系，如图 1-6 所示。

地面点的平面位置，可以用高斯平面直角坐标  $x$ 、 $y$  表示。由于我国位于北半球，故  $x$  坐标均为正值， $y$  坐标则有正有负。

如图 1-6(a) 所示， $y_A = +136\ 780\text{ m}$ ， $y_B = -272\ 440\text{ m}$ 。为了避免  $y$  坐标出现负值，将每带的坐标原点向西平移 500 km，如图 1-6(b) 所示，纵轴西移后： $y_A = 500\ 000 + 136\ 780 = 636\ 780\text{ (m)}$ ， $y_B = 500\ 000 - 272\ 440 = 227\ 560\text{ (m)}$ 。

在横坐标值前冠以投影带带号，如 A、B 两点均位于第 20 号带，则： $y_A = 20\ 636\ 780\text{ m}$ ， $y_B = 20\ 227\ 560\text{ m}$ 。

如图 1-7 所示，高斯平面直角坐标系与数学中的笛卡尔坐标系不同。高斯平面直角坐标系纵轴为  $x$  轴，横轴为  $y$  轴，坐标象限编号按顺时针方向递增；角度从  $x$  轴的北方向起算，顺时针方向增大。这些都与笛卡尔的数学坐标系正好相反，其目的是使内业数据计算系统与外业测量系统一致(测绘仪器外业定向只能是北方向)，并能将三角公式不作任何变动地应用到测量计算中。

当要求投影变形更小时，可以采用 3°带投影。如图 1-8 所示，3°带是从东经 1°30′开始，每隔经度 3°划分一带，将整个地球划分成 120 个带。每一带按前面所述方法，建立各自的高斯平面直角坐标系。

各带中央子午线的经度  $L'_0$  可按式(1-4)计算：

$$L'_0 = 3^\circ n \quad (1-4)$$

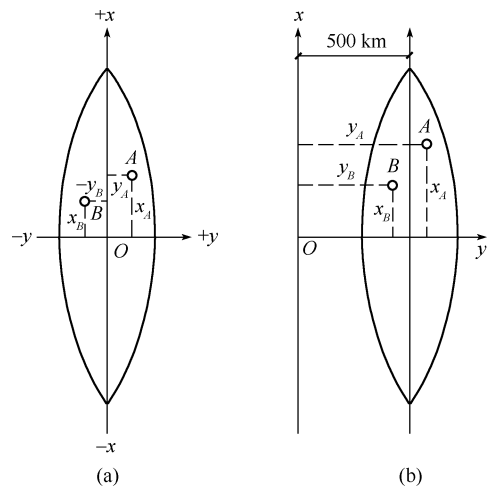


图 1-6 高斯平面直角坐标系

(a) 坐标原点西移前的高斯平面直角坐标系；

(b) 坐标原点西移后的高斯平面直角坐标系

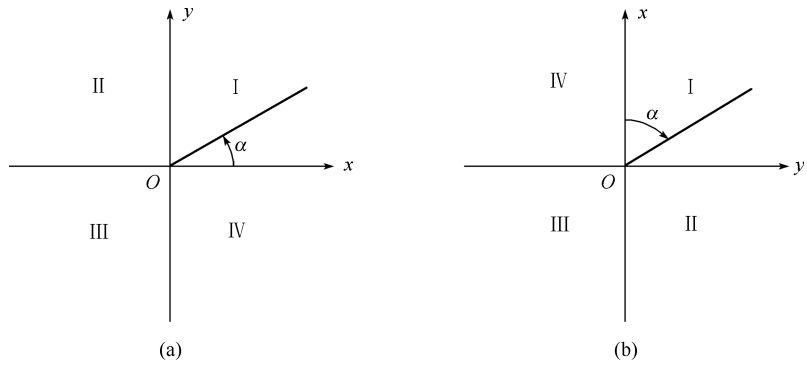


图 1-7 笛卡尔坐标系与直角坐标系  
(a)笛卡尔坐标系；(b)高斯-克吕格直角坐标系

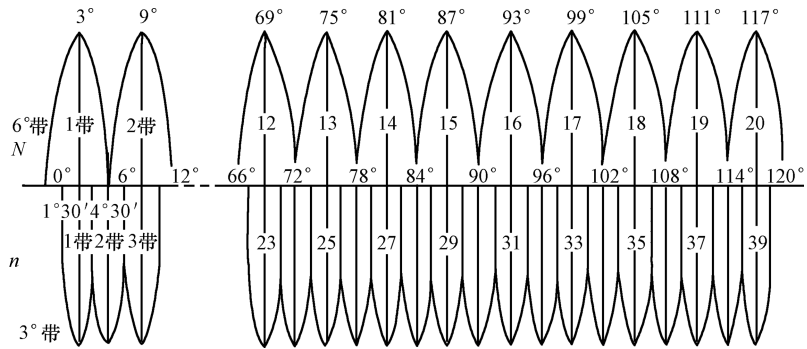


图 1-8 高斯平面直角坐标系 6°带投影与 3°带投影的关系

反之，已知地面任一点的经度  $L$ ，则该点所在 3°带编号的计算公式为

$$n = \text{int}\left(\frac{L}{3} + 0.5\right) \quad (1-5)$$

式中  $n$ ——3°带的带号；  
 $\text{int}$ ——取整函数。

(3)独立平面直角坐标。如图 1-9 所示，当测区范围较小时，可以用过测区中心点  $C$  的任意水平面来代替大地水准面。在这个平面上建立的测区平面直角坐标系，称为独立平面直角坐标系。在局部区域内确定点的平面位置，可以采用独立平面直角坐标。

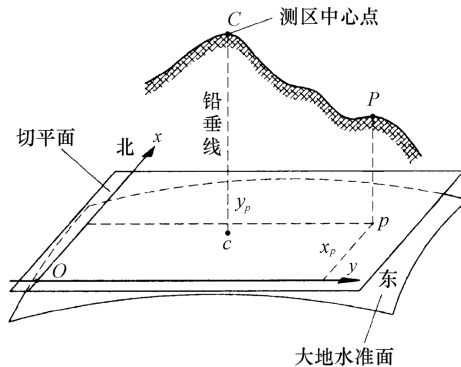


图 1-9 独立平面直角坐标系

在独立平面直角坐标系中，规定南北方向为纵坐标轴，记作  $x$  轴，向北为正，向南为负；以东西方向为横坐标轴，记作  $y$  轴，向东为正，向西为负；坐标原点  $O$  一般选择在测区的西南角，使测区内各点的  $x$ 、 $y$  坐标均为正值；坐标象限按顺时针方向编号，如图 1-10 所示。其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中，而无须作任何变更。

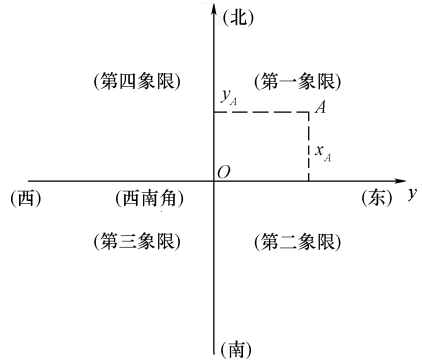


图 1-10 坐标象限

**提示**

高斯平面直角坐标系坐标原点向西平移 500 km 的讨论。

高斯  $6^\circ$  带对应的赤道弧全长为  $[-y, +y]$ ，WGS-84 地球椭球参数长半轴  $a=6\,378.137$  km，则  $6^\circ$  带赤道弧全长为  $6^\circ \times a = (6\pi/180) \times 6\,378.137 = 667.916\,9$  (km)，则赤道弧全长的一半即横坐标  $y$  负值部分的最大值  $y_{\max} = 333.958$  km，将坐标纵轴向西平移 500 km，则该带内的所有点的横坐标均为正值(最小也为  $500 - 333.958 = 166.042$  (km))。

**2. 地面点的高程**

(1) 绝对高程。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，用  $H$  表示。如图 1-11 所示，地面点  $A$ 、 $B$  的高程分别为  $H_A$ 、 $H_B$ 。

中华人民共和国成立之前，我国各地区曾采用众多高程系统。中华人民共和国成立之后，我国在青岛建立了国家水准原点，统一了高程系统，先后共有两个。一个是 1956 年的黄海高程系，水准原点高程为 72.289 m；另一个是目前采用的“1985 年国家高程基准”，水准原点高程为 72.260 m。后者大地水准面高出前者大地水准面 0.029 m。

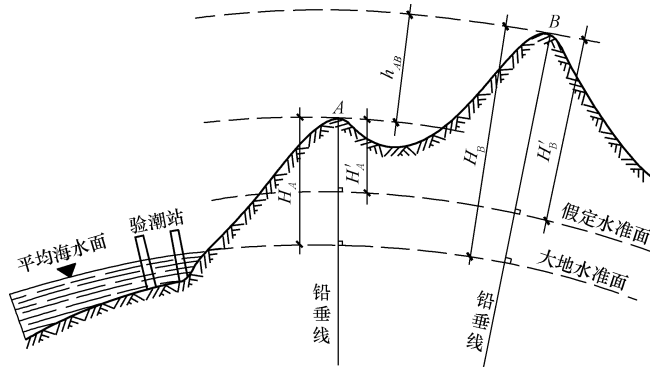


图 1-11 高程和高差

(2) 相对高程。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。如图 1-11 中， $A$ 、 $B$  两点的相对高程为  $H'_A$ 、 $H'_B$ 。

(3) 高差。地面两点之间的高程之差，称为高差，用  $h$  表示，高差有方向和正负。 $A$ 、 $B$  两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-6)$$

当  $h_{AB}$  为正时， $B$  点高于  $A$  点；当  $h_{AB}$  为负时， $B$  点低于  $A$  点。 $B$ 、 $A$  两点的高差为

$$h_{BA} = H_A - H_B \quad (1-7)$$

$A$ 、 $B$  两点的高差与  $B$ 、 $A$  两点的高差，绝对值相等，符号相反，即

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-8)$$

根据地面点的三个参数  $x$ 、 $y$ 、 $h$ ，地面点的空间位置就可以确定了。

### 提示

在建筑工程中，除室外部分使用绝对高程与场区外部联系起来外，室内部分均采用相对高程系统。以首层主要房间的地坪绝对高程作为假定  $\pm 0.000$  m 高程，其他部位的标高均为从地坪开始向上(+)、向下(-)标注的铅垂距离。

### 课后讨论

1. 我国曾经采用的坐标系统有哪几个？高程系统有哪几个？
2. 测量工作的基准面和基准线分别是什么？
3. 高斯投影  $6^\circ$ 带和  $3^\circ$ 带的中央子午线如何计算？
4. 高斯直角坐标系如何建立？
5. 为避免高斯直角坐标系中的  $y$  坐标出现负值，一般如何处理？
6. 画图说明绝对高程、相对高程的概念。

## 1.3 地球曲率对测量数值的影响

### 学习目标

1. 掌握地球曲率对距离测量的影响；
2. 掌握地球曲率对高差测量的影响。

### 关键概念

水平面代替水准面的限度。

#### 1.3.1 对水平距离的影响

地面点  $A$ 、 $B$  在水平面上的投影距离为切线长  $ab' = D'$ ，在大地水准面上的投影距离为弧长  $\widehat{ab} = D$ ；两者之差即水平面代替水准面所产生的距离误差，称为  $\Delta D$ ，由图 1-12 可见：

$$\Delta D = D' - D = R \cdot \tan\theta - R\theta = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-9)$$

将  $\tan\theta$  按级数展开，得：

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$$

因为  $\theta$  角很小，只取其前两项代入式(1-9)得： $\Delta D = \frac{1}{3}R\theta^3$ ，又因为  $\theta = \frac{D}{R}$ ，所以

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

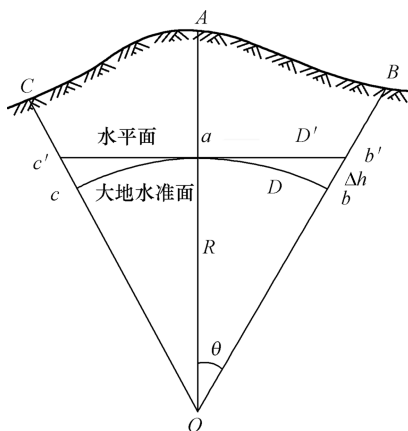


图 1-12 用水平面代替水准面对量距及测高差的影响