



新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

# 测量学

CELIANGXUE

总主编 李宏男  
主 编 王井利 朱伟刚  
主 审 徐茂林



大连理工大学出版社

高等教育土木工程类课程规划教材

# 测量学

CELIANGXUE

总主编 李宏男

主 编 王井利 朱伟刚

副主编 王崇倡 靳合波 李书群

主 审 徐茂林



大连理工大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

测量学 / 王井利, 朱伟刚主编. — 大连: 大连理工大学出版社, 2016. 2

新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

ISBN 978-7-5685-0210-8

I. ①测… II. ①王… ②朱… 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(2015)第 290661 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:19.25 字数:467千字

印数:1~3000

2016年2月第1版

2016年2月第1次印刷

---

责任编辑:王晓历

责任校对:李宇

封面设计:张莹

---

ISBN 978-7-5685-0210-8

定价:42.00元

# 普通高等教育土木工程类课程规划教材编审委员会

## 主任委员：

李宏男 大连理工大学

## 副主任委员(按姓氏笔画排序)：

于德湖 青岛理工大学  
牛狄涛 西安建筑科技大学  
年廷凯 大连理工大学  
范 峰 哈尔滨工业大学  
赵顺波 华北水利水电大学  
贾连光 沈阳建筑大学  
韩林海 清华大学  
熊海贝 同济大学  
薛素铎 北京工业大学

## 委员(按姓氏笔画排序)：

马海彬 安徽理工大学  
王井利 沈阳建筑大学  
王立成 大连理工大学  
王海超 山东科技大学  
王崇倡 辽宁工程技术大学  
王照雯 大连海洋大学  
卢文胜 同济大学  
司晓文 青岛恒星学院  
吕 平 青岛理工大学  
朱伟刚 长春工程学院  
朱 辉 山东协和学院  
任晓崧 同济大学  
刘 明 沈阳建筑大学  
刘明泉 唐山学院  
刘金龙 合肥学院  
许成顺 北京工业大学

苏振超 厦门大学  
李伙穆 闽南理工学院  
李素贞 同济大学  
李哲 西安理工大学  
李晓克 华北水利水电大学  
李恂昌 沈阳建筑大学  
何芝仙 安徽工程大学  
张玉敏 济南大学  
张金生 哈尔滨工业大学  
张鑫 山东建筑大学  
陈长冰 合肥学院  
陈善群 安徽工程大学  
苗吉军 青岛理工大学  
周广春 哈尔滨工业大学  
周东明 青岛理工大学  
赵少飞 华北科技学院  
赵亚丁 哈尔滨工业大学  
赵俭斌 沈阳建筑大学  
郝冬雪 东北电力大学  
胡晓军 合肥学院  
秦力 东北电力大学  
贾开武 唐山学院  
钱江 同济大学  
郭莹 大连理工大学  
唐克东 华北水利水电大学  
黄丽华 大连理工大学  
康洪震 唐山学院  
彭小云 天津武警后勤学院  
董仕君 河北建筑工程学院  
蒋欢军 同济大学  
蒋济同 中国海洋大学

# 前 言

《测量学》是新世纪普通高等教育教材编审委员会组编的土木工程类课程规划教材之一。

近年来,随着测绘技术的发展、新仪器设备的不断问世以及社会对人才培养需求的变化,为使教材内容满足经济建设的需要,适应工科院校专业改革的需要以及培养创新型人才的要求,结合多年的教学经验,编写了《测量学》一书。

本教材共分16章:绪论;水准测量;角度测量;距离测量与直线定向;全站仪及其使用;GNSS定位技术;测量误差基本理论;控制测量;大比例尺地形图的测绘;地形图的应用;测设的基本工作;建筑工程测量;道路工程测量;桥梁工程测量;地下工程测量;建筑物变形观测。

本教材由沈阳建筑大学王井利、长春工程学院朱伟刚任主编;辽宁工程技术大学王崇倡、青岛理工大学靳合波、合肥学院李书群任副主编;沈阳建筑大学刘茂华、姚静、马运涛、孙立双,青岛理工大学翟清翠、张红梅、侯红梅,中铁隧道勘测设计院有限公司何晓辉,大连理工大学尹晓东参与了编写。具体编写分工如下:王井利编写第1章、第5章、第12章;李书群、朱伟刚编写第2章、第6章、第7章;刘茂华编写第3章;姚静编写第4章;王崇倡编写第8章;靳合波编写第9章、第10章;马运涛编写第11章;孙立双编写第13章;翟清翠、张红梅、侯红梅编写第14章;何晓辉编写第15章;尹晓东编写第16章。辽宁科技大学徐茂林教授审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢。

本教材以测绘新规范、测绘教学指导委员会的教学大纲为编写依据,以测绘仪器的电子化和自动化、测量计算的程序化和成图的数字化为发展方向,从而适应对测绘技术精度要求的提高和应用范围的扩大。本教材在删除一些陈旧内容的同时,依据编者在科研、教学、生产中的实践经验和成果,更新



和充实了下列新内容:新型测量仪器的使用、建筑工程中控制测量的方法、地形图测绘的新方法、建筑测绘和施工放样方面的实用技术等。本教材可作为土木工程专业、水利工程专业、城市规划专业、土地管理专业、给排水专业、交通工程专业、测绘工程专业等的专业基础课“测量学”或“工程测量”课程的教材使用;也可供从事工程勘察和工程施工技术人员参考。

本教材在编写过程中得到了大连理工大学、辽宁工程技术大学、沈阳建筑大学、长春工程学院、青岛理工大学、合肥学院等院校相关教师的大力支持,在此表示感谢。同时,沈阳建筑大学研究生张宁和邓伟也做了很多资料整理、图表绘制等工作,在此一并表示感谢!

在编写本教材的过程中,我们参考、借鉴了许多专家、学者的相关著作,对于引用的段落、文字尽可能一一列出,谨向各位专家、学者一并表示感谢。

尽管我们在教材特色的建设方面做出了许多努力,但由于测量科学技术的迅速发展,加之编者水平有限,教材中也许仍有疏漏和不妥之处,敬请专家和读者批评指正,以使教材日臻完善。

编 者

2016年2月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708445 84708462

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	1
1.1 测量学的任务及作用 .....	1
1.2 测量学的发展简况 .....	2
1.3 测量工作的基准 .....	5
1.4 测量工作的组织原则与程序.....	12
<b>第 2 章 水准测量</b> .....	15
2.1 水准测量原理.....	15
2.2 微倾式水准仪的构造与使用.....	16
2.3 普通水准测量的外业施测.....	20
2.4 普通水准测量的内业计算.....	27
2.5 三、四等水准测量 .....	30
2.6 自动安平水准仪和电子水准仪简介.....	33
<b>第 3 章 角度测量</b> .....	37
3.1 角度测量原理.....	37
3.2 光学经纬仪的基本构造及使用.....	38
3.3 电子经纬仪 .....	40
3.4 水平角测量.....	42
3.5 竖直角测量.....	46
3.6 水平角测量误差.....	49
3.7 经纬仪的检验与校正.....	53
<b>第 4 章 距离测量与直线定向</b> .....	58
4.1 钢尺量距.....	58
4.2 视距测量.....	64
4.3 电磁波测距.....	66
4.4 直线定向.....	72
<b>第 5 章 全站仪及其使用</b> .....	78
5.1 全站仪概述.....	78
5.2 全站仪的结构原理.....	79
5.3 全站仪的功能及使用.....	83
5.4 全站仪的数据通信.....	90
5.5 全站仪的检校及注意事项.....	92



<b>第 6 章 GNSS 定位技术</b> .....	95
6.1 GNSS 概述 .....	95
6.2 全球导航定位系统 .....	95
6.3 GPS 定位原理 .....	106
6.4 差分 GPS 测量原理 .....	109
6.5 GPS 卫星信号接收机 .....	115
6.6 GPS 测量外业实施 .....	120
6.7 技术总结和上交资料 .....	125
6.8 GPS 的发展前景及趋势 .....	126
<b>第 7 章 测量误差基本理论</b> .....	127
7.1 测量误差概述 .....	127
7.2 偶然误差的特性 .....	129
7.3 评定精度的标准 .....	130
7.4 误差传播定律 .....	133
7.5 不同精度观测值的直接平差 .....	135
<b>第 8 章 控制测量</b> .....	140
8.1 控制测量概述 .....	140
8.2 地方独立坐标系及坐标系统转换 .....	144
8.3 平面控制测量 .....	145
8.4 高程控制测量 .....	161
<b>第 9 章 大比例尺地形图的测绘</b> .....	170
9.1 测图前的准备工作 .....	170
9.2 碎部测量 .....	172
9.3 地形图的绘制 .....	177
9.4 大比例尺数字化测图方法 .....	180
9.5 数字化测图技术的发展和趋势 .....	184
<b>第 10 章 地形图的应用</b> .....	185
10.1 地形图应用的基本知识 .....	185
10.2 地形图的工程应用 .....	186
10.3 数字地图应用简介 .....	194
<b>第 11 章 测设的基本工作</b> .....	199
11.1 水平距离、水平角和高程的测设 .....	199
11.2 点的平面位置测设 .....	202
11.3 已知坡度直线的测设 .....	205

<b>第 12 章 建筑工程测量</b> .....	207
12.1 建筑场地施工控制网概述 .....	207
12.2 民用建筑放样 .....	209
12.3 工业厂房放样 .....	214
12.4 建筑物的变形观测 .....	217
12.5 竣工总平面图的编绘 .....	220
<b>第 13 章 道路工程测量</b> .....	223
13.1 线路初测阶段的测量工作 .....	223
13.2 曲线测设 .....	231
13.3 道路施工测量与竣工测量 .....	249
<b>第 14 章 桥梁工程测量</b> .....	252
14.1 概述 .....	252
14.2 桥梁施工控制测量 .....	252
14.3 桥梁施工测量 .....	255
<b>第 15 章 地下工程测量</b> .....	260
15.1 地下工程测量概述 .....	260
15.2 地下工程控制测量 .....	261
15.3 隧道联系测量 .....	263
15.4 隧道施工测量 .....	269
15.5 管道施工测量 .....	271
15.6 地下建筑工程竣工测量 .....	275
15.7 新技术在隧道施工中的应用 .....	275
<b>第 16 章 建筑物变形观测</b> .....	278
16.1 变形观测的内容、目的及意义 .....	278
16.2 变形观测的特点和方法 .....	279
16.3 建筑物变形观测系统 .....	280
16.4 建筑物沉降观测 .....	284
16.5 变形分析 .....	288
16.6 变形测量成果整理 .....	293
<b>参考文献</b> .....	297

# 第1章 绪论

## 1.1 测量学的任务及作用

### 1.1.1 测量学的基本概念

测量学是测绘学科中的一门基础技术课,也是土木工程、交通工程、测绘工程和土地管理等专业的一门必修课,学习本课程的目的是掌握测量学的基本理论、测量仪器的使用、如何测量地形图、地形图如何应用和工程建筑施工放样的基本理论和方法。

我国测绘法规定:所称测绘,是指对自然地理要素或者地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等进行测定、采集、表述以及对获取的数据、信息、成果进行处理和提供的活动。

《中国大百科全书》中关于测绘学的定义为:研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地理分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科。随着科学技术的发展,测绘学的研究对象不仅包括地球表面,还包括地球外层空间的各种自然实体和人造实体。

现今,一般认为测量学是测绘学的一个狭义的概念,因而,测量学可以定义为:测量学是研究地球形状、大小和重力场以及确定地面(包括空中、地下和海底)点位的科学。

### 1.1.2 测量学的研究内容

测量学研究的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用各种测量仪器和工具,通过实地测量和计算,把地球表面缩绘成地形图,供科学研究、国防建设和经济建设规划设计使用。测设是将图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

随着生产的发展和科学的进步,测量学包括的内容越来越丰富,分科也越来越细。例如,研究地球的形状和大小,解决大地区测量基准和测量坐标系问题的,属于大地测量学的内容;测量小区域地球表面的形状时,不顾及地球曲率的影响、把地球表面当作平面看待所进行的测量工作,属于普通测量学的内容。利用航空摄影和陆地摄影像片来测绘地形图的工作,属于摄影测量学的范围。研究测量学的理论、技术和方法在各种工程建设中的应用,属于工程测量学的内容。利用测量所得的成果,研究如何编绘和制印各种地图的工作属于制图学的范围。本教材主要介绍普通测量学和工程测量学中部分的内容。

### 1.1.3 测量学的应用范围

测绘技术的应用非常广泛。在国防方面,诸如国界的划分,战略的部署,战役的指挥,都要应用地形图和进行测量工作。在经济建设方面,计划生产是社会主义国民经济建设的特点,必须对我国的资源进行一系列的调查和勘测工作,根据获得的资料编制各种规划,在进行这种调查和勘测时,都需要应用地形图和进行测量工作。另外,在进行各项工农业基本建设中,从勘测设计开始,直至施工、竣工为止,都需要进行大量的测绘工作。在科学实验方面,诸如地壳的升降、海岸线的变迁、地震预报以及地极周期性运动的研究等,都要用到测绘资料。

在工程建设方面,如工业与民用建筑、给水排水、地下建筑、建筑学及城市规划等专业的工作中,测量技术都有着广泛的应用。例如:在勘测设计阶段,要测绘各种比例尺的地形图,供选择厂址及管道线路之用,供总平面图设计及竖向设计之用;在施工阶段,要将设计的建筑物和管线等的平面位置和高程测设在实地,作为施工的依据;还要进行竣工测量,施测竣工图,供日后扩建和维修之用;即使竣工以后,对某些大型及重要的建筑物还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

### 1.1.4 学习测量学的目的

建筑院校各专业学习《测量学》的目的是:通过测量学的基本知识、基本理论的学习和绘图训练,能掌握各种常用测量仪器(如水准仪、经纬仪、全站仪、GNSS接收机等)的操作及坐标计算的技能,能识读和应用地形图,能进行基本的施工测量工作,以便能独立、灵活地应用测量知识为其专业工作服务。

## 1.2 测量学的发展简况

### 1.2.1 测量学的发展简史

测量学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业等生产的需求。古埃及尼罗河每年洪水泛滥,淹没了土地界线,水退以后需要重新划界,从而在公元1400年就已经有了地产边界的测量。公元前2世纪,中国司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治理洪水的情况:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州、通九道、破九泽、度九山”。这段记载说明在公元前很久,中国人为了治水,已经会使用简单的测量工具了。

测量学的发展是从人类对地球形状的认识过程开始的,公元前6世纪古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)最早提出地球是球形的概念。17世纪末,英国牛顿(I. Newton)和荷兰的惠更斯(C. Huygens)首次从力学的观点探讨地球形状,提出地球是两极略扁的椭球体,称为地扁说。19世纪初,随着测量精度的提高,通过对各处弧度测量结果的研究,发现测量所依据的垂线方向同地球椭球面的法线方向之间的差异不能忽略。因此法国的拉普拉斯(P. S.)和德国的高斯(C. F.)相继指出,地球形状不能用旋转椭球来代表。1849年斯托克斯(Sir G. G.)提出利用地面重力观测资料确定地球形状的理论。1873年,利斯廷(J. B. Listing)首次使用“大地

水准面”一词,以该面代表地球形状。人类对地球形状的认识和测定,经过了“球—椭球—大地水准面”三个阶段,花去了两千五六百年的时间,随着对地球形状和大小的认识和测定的日益精确,测绘工作中精密计算地面点的平面坐标和高程逐步有了可靠的科学依据,同时也不断丰富了测量学的理论。

测量学的发展和地图制图的发展是分不开的。地图的出现可追溯到远古时代,那时由于人类从事生产和军事等活动,就产生了对地图的需要。据文字记载,中国春秋战国时期地图已用于地政、军事和墓葬等方面。公元2世纪,古希腊的托勒密(C.)所著《地理学指南》一书,提出了地图投影问题。16世纪,地图制图进入了一个新的发展时期,随着测量技术的发展,尤其是三角测量方法的创立,西方一些国家纷纷进行大地测量工作,并根据实地测量结果绘制国家规模的地形图,这样测绘的地形图不仅有准确的方位和比例尺,具有较高的精度,而且能在地图上描绘出地表形态的细节,还可按不同的用途,将实测地形图缩制编结成各种比例尺的地图。

同时测量学的发展和测绘技术、仪器工具的变革是分不开的。17世纪之前,人们使用简单的工具,如中国的绳尺、步弓、矩尺和圭表等进行测量。1730年,英国的西森(Sisson)制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。

19世纪初,随着测量方法和仪器的不断改进,测量数据的精度也不断提高,精确的测量计算就成为研究的中心问题。1806年和1809年法国的勒让德(A. M. Legendre)和德国的高斯(C. F.)分别发表了最小二乘准则,这为测量平差计算奠定了科学基础。19世纪50年代初,法国洛斯塔(A. Lause-dat)首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪,地面立体测图仪等。

从20世纪50年代起,测绘技术又朝电子化和自动化方向发展。首先是测距仪器的变革。1948年起陆续发展起来的各种电磁波测距仪,由于可用来直接精密测量远达几十公里的距离,因而使得大地测量定位方法除了采用三角测量外,还可采用精密导线测量和三边测量。大约与此同时,电子计算机出现了,并很快应用到测绘学中。这不仅加快了测量计算的速度,而且还改变了测绘仪器和方法,使测绘工作更为简便和精确。继而在60年代,又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。

自从1957年第一颗人造地球卫星发射成功后,测绘工作有了新的飞跃,在测绘学中开辟了卫星大地测量学这一新领域。同时,由于利用卫星可从空间对地面进行遥感,因而可将遥感的图像信息用于编制大区域内的小比例尺影像地图和专题地图。所以20世纪50年代以后,测绘仪器的电子化和自动化以及许多空间技术的出现,不仅实现了测绘作业的自动化,提高了测绘成果的质量,而且使传统的测绘学理论和技术发生了巨大的变革,测绘的对象也由地球扩展到月球和其他天体。

### 1.2.2 测量学的发展现状

随着空间技术、计算机技术和信息技术的发展,测绘学同时也得到飞速发展。以“3S”为代表的现代测绘技术使测绘学在空间化、信息化和自动化方面发生了革命性变化。而其中,以“3S”集成为核心的地球空间信息科学是建立“数字地球”的基础。

## 1. “3S”技术

“3S”是指:全球卫星定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)。

全球卫星定位系统(Global Positioning System,简称GPS)是美国军方于1973年开始发展的新一代卫星导航定位系统。前苏联也于20世纪80年代开始建设了一套与GPS相似的GLONASS,另外,欧洲空间局和欧洲联盟于2002年也批准了建设新一代卫星导航定位系统GALILEO(伽利略)。中国、印度等非欧盟国家也在参与该系统的建设。

遥感(Remote Sensing,简称RS),是在不接触物体本身,用传感器采集目标物的电磁波信息,经处理、分析后,得到目标物几何、物理性质的一项技术。其主要是利用物体本身的特征和所处的环境不同,具有不同的电磁波反射或反射辐射特征。目前,遥感平台主要以飞机和卫星为主,因而可以在较短时间内获得大面积区域的信息。遥感数据呈现出高空间分辨率、高光谱分辨率和高时相分辨率的发展趋势,卫星遥感QuickBird的空间分辨率已达到0.61m。随着遥感分辨率的提高,其应用也越来越普及,如资源勘察、测绘、农业、林业、水文、环境、气象和灾害监测等,成为快速获取地理信息的重要手段。

地理信息系统(Geographic Information System,简称GIS)是一种以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面与空间和地理分布有关的数据的信息系统。其核心技术是如何利用计算机表达和管理地理空间对象及其特征。目前,常用的国外GIS基础软件主要有ArcGIS、MapInfo等,国内的GIS基础软件主要有MapGIS、SuperMap、GoStar等。目前,GIS的进展主要表现在:组件GIS,即采用面向对象的COM/GCOM技术,使得可以方便地利用VC、VB、Delphi等语言进行应用系统开发;互联网GIS,利用互联网进行地理数据的分布式采集、存储和查询,是GIS发展的必然趋势;多维动态GIS,从传统的二维加属性形式向三维发展,最终发展到含时态信息的四维GIS;移动GIS,利用移动终端(如掌上电脑)结合GPS、移动通信等技术,可进行移动定位、车辆导航等移动服务。

目前,3S技术正趋于集成化。GPS主要用于实时、快速地提供目标的空间位置;RS用于实时、快速地提供大面积地表地物及其环境的几何与物理信息,以及他们的各种变化;GIS则对多种来源的时空数据与属性数据进行综合处理与分析应用。

## 2. 数字地球与地球空间信息科学

数字地球是美国前副总统戈尔于1998年1月31日在“数字地球——认识21世纪我们这颗星球”的报告中提出的一个概念。其可以理解为对真实地球及其相关现象统一的数字化重现和认识,特点是嵌入海量地理数据,实现多分辨率的、对地球三维的描述。数字地球的支撑技术主要包括:信息高速公路和计算机宽带高速网络技术、高分辨率卫星影像技术、空间信息技术、大容量数据处理与存储技术、科学计算以及可视化和虚拟现实技术。

地球空间信息科学(Geo-Spatial Information Science,简称Geomatics)是实现数字地球的基础,是以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)等空间信息技术为主要内容,并以计算机技术和通信技术为主要技术支撑,用以采集、量测、分析、存储、管理、显示、传播和应用与地球和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学和技术。地球空间信息科学理论框架的核心是地球空间信息机理,即通过对地球圈层间信息传输过程与物理机制的研究,揭示地球几何形态和空间分布及变化规律。

### 3. 工程测量中的测绘新技术

目前,工程测量正趋于内外业一体化和自动化。即数据的外业获取和内业处理的自动化。例如,在大坝变形观测中,可以采用自动照准全站仪(测量机器人)或GPS信号接收机进行实时、自动地数据采集,通过有线或无线的数据传输系统将观测数据传入主控计算机中,在数据处理软件的支持下变形分析和作业控制。

近年来,激光仪器在工程测量中得到长足的发展和应。例如,常规工程测量使用的激光扫平仪、激光垂准仪,大大方便了施工测量工作,提高了工程施工效率。在精密工程测量中,激光跟踪测量仪可以以0.05 mm的精度方便地进行各种高精度的工业测量。目前该仪器在宝马汽车公司、波音飞机制造公司、中国科学技术大学同步辐射实验室等高精度工业安装及仪器定位监测中得到广泛应用。三维激光扫描仪可以进行近距离对地物海量点位的扫描,从而通过扫描获得的点云数据进行地物的三维建模。

## 1.3 测量工作的基准

### 1.3.1 测量工作的基准

测量工作是以地球为核心进行的,因此必须首先研究地球的形状和大小。目前,我们已经知道,地球的总形状是一个不规则的曲面包围的形体(图1-1(c))。由于地球表面形态非常复杂,例如,珠穆朗玛峰高出海平面达8844.43 m,而马里亚纳海沟则在海平面下11034 m,但与超过6000 km的地球半径相比只能算是极其微小的起伏。就整个地球表面而言,海洋的面积约占71%,陆地面积约占29%,可以认为是一个由水面包围的球体。若直接用地球表面形态作为地球形体来研究则非常复杂而无法进行。

由于地球的自转,地球上任一点都受到离心力和地心吸引力的作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线称为铅垂线,可用线绳悬挂一个垂球表示铅垂线。处处与重力方向垂直的连续曲面称为水准面。任何自由静止的水面都是水准面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面因其高度不同而有无数个,其中与静止的平均海水面相重合并延伸向大陆岛屿且包围整个地球的闭合曲水准面称为大地水准面。大地水准面包围的形体称为大地体。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。用大地体表示地球形体是恰当的,但由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化。致使大地水准面是一个高低起伏不规则的复杂的曲面,如图1-1(a)、图1-1(d)所示,因此无法在这曲面上进行测量数据处理。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体,如图1-1(b)可用地球的椭球面来代替地球的形状,椭球面可作为测量计算工作的基准面,地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称为旋转椭球:如图1-2所示,旋转椭球体的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球的基本元素是:

长半轴  $a$ , 短半轴  $b$  和扁率  $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。



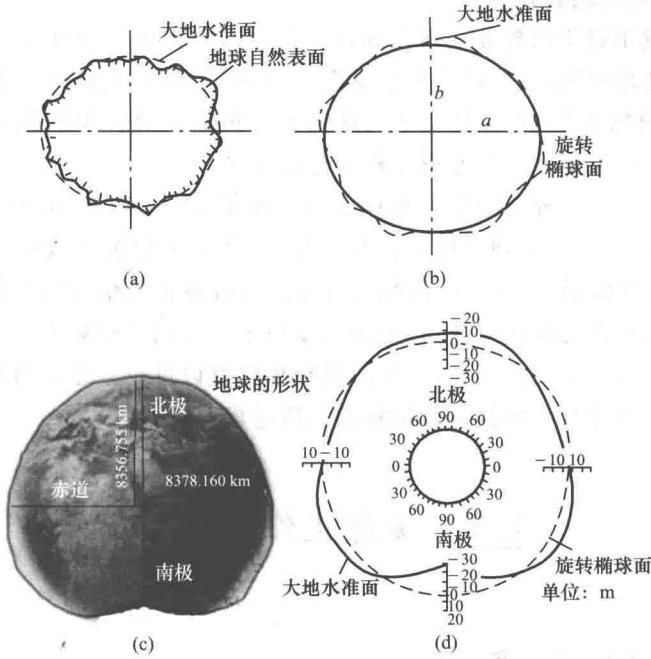


图 1-1 地球的自然表面、大地水准面和椭球面的关系

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素是:长半轴

$a=6378140\text{ m}$ ,短半轴  $b=6356755\text{ m}$ ,扁率  $\alpha=\frac{a-b}{a}=1/298.253$ 。

根据一定条件,确定参考椭球与大地水准面相对位置的测量工作,称为参考椭球体的定位。在一个国家适当的点选点  $P$ ,过  $P$  点作大地水准面的铅垂线。设其交点为  $P'$ (图 1-3),再按以下条件确定参考椭球面:

- (1)使  $P'$  点为参考椭球面的切点,这时大地水准面的铅垂线与该椭球面的法线在  $P$  点重合;
- (2)使椭球的短轴与地球自转轴平行;
- (3)使椭球面与这个国家范围上的大地水准面的差距尽量地小。

这样就确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系,它称为椭球的定位。由于椭球的中心和地球的质量的中心不重合,因此依此建立起来的坐标系也叫参心坐标系。

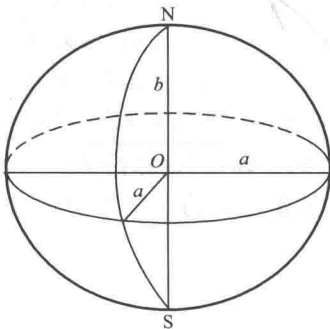


图 1-2 椭球面

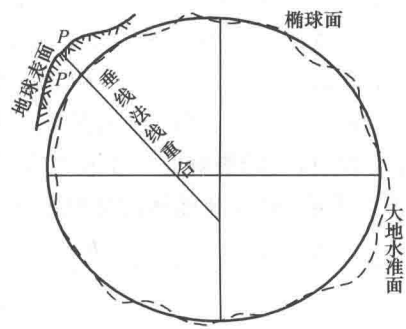


图 1-3 参考椭球体的定位



这里,  $P$  点称为大地原点。我国大地原点位于陕西泾阳永乐镇, 在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量, 获得了大地原点的平面起算数据, 以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球体的扁率很小, 当测区不大时, 可将地球当作圆球, 其半径的近似值为 6371 km。

### 1.3.2 测量基准的确定

#### 1. 地面点的确定

地面上各种地形都是由一系列连续不断的点所组成, 确定地面上的图形位置, 最基本的就是确定地面点的位置。地面点属于空间的点, 可用三维元素表示其空间位置。

如图 1-4 所示, 地面点  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$  沿法线方向投影到椭球面上, 投影点  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  点在椭球面上的坐标做为确定地面点的二维元素。如图 1-5 所示, 地面点  $A$ 、 $C$  沿着铅垂线方向投影到大地水准面, 得到投影点  $a$ 、 $c$ , 其投影的铅垂距离  $H_A$ 、 $H_C$  叫做地面点  $A$ 、 $C$  的高程。做为确定地面点的一维元素; 因此, 在测量学中, 地面点的空间位置用上述三维元素来表示。

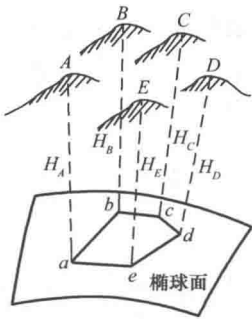


图 1-4 地面点坐标的投影图

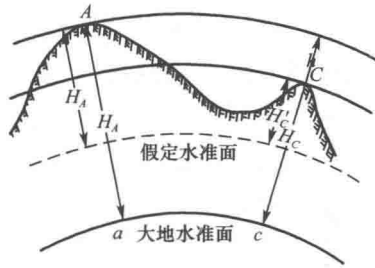


图 1-5 地面点的高程投影图

#### 2. 大地坐标系

在一般测量工作中, 常将地面点投影到椭球面上的位置用大地经度  $L$ 、纬度  $B$  表示, 大地坐标系是以参考椭球面作为基准面, 如图 1-6 所示, 以起始子午面(即通过格林尼治天文台的子午面)和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。过地面某点的子午面与起始子午面之间的夹角, 称为该点的大地经度, 用  $L$  表示(图 1-6)。规定从起始子午面起算, 向东为正, 由  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为东经; 向西为负, 由  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为西经。

过地面某点的椭球面法线( $P_p$ )与赤道面的交角。称为该点的大地纬度, 用  $B$  表示。规定从赤道面起算, 由赤道面向北为正, 从  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为北纬; 由赤道面向南为负, 从  $0^\circ \sim 90^\circ$  称为南纬。

地面  $P$  点的大地经度、纬度, 可由天文观测方法测得  $P$  点的天文经度  $\lambda$ 、纬度  $\varphi$ , 再利用  $P$  点的法线与铅垂线的相对关系(称为垂线偏差)改算为大地经度  $L$ 、纬度  $B$ 。在一般测量工作中, 可以不考虑这种变化。

#### 3. 空间直角坐标系

以椭球体中心  $O$  为原点, 起始子午面与赤道面交线为  $X$  轴, 赤道面上与  $X$  轴正交的方向为  $Y$  轴, 椭球体的旋转轴为  $Z$  轴, 指向符合右手规则。在该坐标系中,  $P$  点的点位用  $OP$  在这三个坐标轴上的投影  $x, y, z$  表示(图 1-7)。