



普通高等教育“十三五”规划教材

测量学

黄启堂 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

测 量 学

黄启堂 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学 / 黄启堂主编. —北京: 中国农业出版社,
2017.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-109-23040-8

I. ①测… II. ①黄… 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 174677 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 夏之翠

文字编辑 李兴旺

北

书店北京发行所发行

北京第 1 次印刷

印张: 20

(凡

向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材共十四章，第一章至第五章介绍测量学的基础知识、测量仪器的使用以及测量误差的基本知识；第六章和第七章介绍控制测量和全球导航卫星系统（GNSS）定位技术；第八章至第十章介绍地形图基本知识、大比例尺地形图的测绘以及地形图的应用；第十一章至第十四章介绍放样基本工作、线路中线测量、施工测量以及土地利用与管理中的测量工作。本教材简明扼要、通俗易懂，逻辑推理严密、结构严谨、图文并茂、内容充实，反映了常规测绘手段与现代测绘科学技术的新成果及新发展，体现了教材的成熟性和先进性。

本教材可供农业资源与环境、空间信息与数字技术、土地资源管理、环境工程、农业设施、农村区域发展、生态学、森林保护、水利工程、水土保持与荒漠化防治、林学、自然资源与环境管理、交通工程、工程管理、土木工程、园林、风景园林、城乡规划等专业作为“测量学”课程的教材，也可作为其他院校有关专业师生、成人教育及科技人员学习或参考用书。

编审人员名单

主 编 黄启堂（福建农林大学）

副主编 黄和贵（福建农林大学）

杨 敏（河北农业大学）

方绪华（福州大学）

编 者（按姓名笔画排序）

王培俊（福建农林大学）

方绪华（福州大学）

孙大伟（青岛农业大学）

李雅素（西北农业科技大学）

杨 敏（河北农业大学）

施拥军（浙江农林大学）

黄启堂（福建农林大学）

黄和贵（福建农林大学）

董 强（海南大学）

审 稿 孙依斌（福建农林大学）

前 言

本教材是为大学本科非测绘专业学生学习测量学课程而编写的,适用于农业资源与环境、空间信息与数字技术、土地资源管理、环境工程、农业设施、农林区域发展、生态学、森林保护、水利工程、水土保持与荒漠化防治、林学、自然资源与环境管理、交通工程、工程管理、土木工程、园林、风景园林、城乡规划等专业作为“测量学”课程的教材,也可作为其他院校有关专业师生、成人教育及科技人员学习或参考用书。

本书共十四章,第一章至第五章介绍测量学的基础知识、测量仪器的使用以及测量误差的基本知识;第六章和第七章介绍控制测量和全球导航卫星系统(GNSS)定位技术;第八章至第十章介绍地形图基本知识,大比例尺地形图测绘以及地形图的应用;第十一章至第十四章介绍测设的基本工作、线路中线测量、施工测量以及土地利用与管理中的测量工作。编写过程中力求简明扼要、通俗易懂、逻辑推理严密、结构严谨、图文并茂、内容充实。

本教材有以下特点:①保证测量学的基本内容,适当照顾各专业的不同需要来组织教材内容,尽量做到精练内涵,删减陈旧内容,丰富现代测绘科学技术的新知识。②注重教材内容的系统性和逻辑性,深入浅出,通俗易懂。难点力求分析透彻,解释清楚。对重要的知识点用例题加以说明,有小结,有思考题和习题,便于自学。③适当介绍和引用测绘科学技术的新仪器、新技术、新方法。新仪器如数字水准仪、全站仪、免棱镜全站仪、超站仪、陀螺全站仪、测量机器人;新技术如全球导航卫星系统(GNSS)定位技术、数字地形图测绘;新方法如电子地形图及应用、GNSS RTK在道路测量中的应用等。④测量工作的内容力求结合我国的实际情况和生产标准,有关技术参数根据建设部颁发的中华人民共和国国家标准和中华人民共和国行业标准的规定选取。⑤测量学中的插图为正文的有机组成部分,做到密切配合,重新设计并绘制了全部插图。⑥强调理论与实践并重,与本教材配套使用的有由黄启堂主编的全国高等农林院校“十三五”规划教材《测量学实践教程》。

参加编写的人员分工如下:施拥军编写第一章;黄和贵编写第二章至第五

章；杨敏编写第六章；孙大伟编写第七章；李雅素编写第八章；方绪华编写第九章和第十二章的第五节；董强编写第十章；黄启堂编写第十一章、第十二章的第一节至第四节、第十三章；王培俊编写第十四章。黄启堂、黄和贵、王培俊三位同志参加了统稿工作，杨敏负责第一章至第七章的校稿工作，方绪华负责第八章至第十四章校稿工作。最后由黄启堂、黄和贵、王培俊统一修改定稿。同时，孙依斌教授审阅了本教材全部书稿，他为本教材提出了宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

本教材在编写过程中，由主编召集各位编者研讨《测量学》的编写要求、内容及大纲。各编者参阅了国内外大量的文献，尤其是国内同类测量学的教材，在此对这些文献的作者表示诚挚的谢意，托普康等仪器销售商也为本教材的新仪器提供了技术支持，在此也一并表示感谢。福建农林大学周沿海、黄金山、丘进渊、朱里莹、叶露莹等老师为书稿的部分素材提供帮助，还有研究生朱晓明、杨茜、肖以恒、陈晶茹等做了部分书稿的录入和插图制作等工作，作者在此谨致谢忱。

本教材还可能存在这样那样的问题，恳请使用本教材的师生和读者批评指正，以便再版时进一步完善和提高。

编 者

2017年5月

目 录

前言

第一章 绪论	1	第二章 水准测量	20
第一节 测量学概述	1	第一节 水准测量原理	20
一、测量学的定义	1	第二节 水准仪的构造及使用	21
二、测量学的分类	1	一、光学水准仪的构造	21
三、测量学的任务	2	二、水准尺和尺垫	24
四、测量学的作用	2	三、水准仪的使用	24
五、测量学发展简况	2	第三节 水准测量的实施与成果整理	26
第二节 地球的形状和大小	3	一、水准点与水准路线	26
一、地球的自然表面	4	二、水准测量的施测方法	27
二、大地水准面	4	三、水准测量的校核	29
三、参考椭球面	5	四、水准测量成果整理	30
第三节 地面点位的确定	6	第四节 水准测量误差分析及注意	
一、测量坐标系统	6	事项	33
二、测量高程系统	10	一、水准测量误差来源	33
第四节 地球曲率对测量工作的		二、水准测量注意事项	34
影响	11	第五节 数字水准仪简介	34
一、地球曲率对水平距离的影响	12	一、数字水准仪的原理	34
二、地球曲率对高差的影响	12	二、数字水准仪及条形码尺	35
三、地球曲率对水平角的影响	13	三、数字水准仪的特点	35
第五节 测量工作概述	13	四、数字水准仪的使用	35
一、测量的基本工作	13	小结	36
二、测量的基本原则	14	思考题	38
第六节 测量常用的计量单位	15	习题	38
一、长度单位	15	第三章 角度测量	41
二、面积单位	16	第一节 角度测量原理	41
三、体积单位	16	一、水平角测量原理	41
四、角度单位	16	二、竖直角测量原理	41
小结	17	第二节 光学经纬仪	42
思考题	18	一、光学经纬仪的部件	42
习题	18		

二、经纬仪的轴线及其应满足的条件	43	一、标准方向	74
三、经纬仪的读数方法	43	二、直线方向的表示方法	74
四、经纬仪的使用	44	三、罗盘仪测定磁方位角	76
第三节 水平角测量	46	四、罗盘仪面积测量	78
一、测回法	46	小结	79
二、方向观测法	48	思考题	81
第四节 竖直角测量	49	习题	81
一、竖盘的构造	49	第五章 测量误差的基本知识	82
二、竖直角计算方法	50	第一节 测量误差的来源及分类	82
三、指标差的计算	51	一、测量误差的来源	82
四、竖直角的测量	52	二、观测误差的分类	82
第五节 角度测量误差分析及注意事项	52	三、偶然误差的特性	82
一、仪器误差	52	第二节 衡量精度的标准	84
二、观测误差	52	一、中误差	84
三、外界条件影响	54	二、容许误差	85
四、角度测量注意事项	54	三、相对误差	85
小结	54	第三节 误差传播定律	85
思考题	56	一、线性函数的中误差	85
习题	56	二、一般函数的中误差	86
第四章 距离测量与直线定向	58	三、算术平均值及其中误差	87
第一节 钢尺量距	58	第四节 加权平均值及其中误差	90
一、量距工具及方法	58	一、权的概念	90
二、钢尺量距的误差分析及注意事项	61	二、加权平均值	91
第二节 光电测距	61	三、加权平均值的中误差	91
一、光电测距基本原理	61	小结	92
二、光电测距仪的使用	63	思考题	92
三、光电测距的成果整理	64	习题	93
四、手持式激光测距仪简介	64	第六章 控制测量	94
第三节 全站仪及其使用	64	第一节 控制测量概述	94
一、全站仪的基本组成与功能	64	一、国家基本控制网	94
二、全站仪的基本操作	66	二、城市控制网	96
三、全站仪的存储管理	68	三、小地区控制网	97
四、使用全站仪进行数据采集	70	四、图根控制网	97
五、高端全站仪简介	72	第二节 坐标计算原理	97
第四节 直线定向	74	一、坐标方位角推算	98
		二、坐标增量计算	99
		三、坐标正算	99

四、坐标反算	100	二、全球定位系统控制网的设计	131
第三节 导线测量	100	三、GPS 控制网的施测	134
一、导线的布设形式	100	四、GPS 控制网限差规定	134
二、导线测量的外业工作	101	五、GPS-RTK (载波相位实时差分) 测量	137
第四节 导线测量的内业计算	102	第四节 手持 GPS 接收机及其 使用	138
一、闭合导线的计算	102	一、手持 GPS 接收机的特点	138
二、附和导线的计算	105	二、手持 GPS 接收机的基本 功能	138
三、支导线的计算	107	三、手持 GPS 接收机的使用	138
四、导线测量错误的检查	107	四、手持 GPS 接收机成果 处理	139
第五节 图根点加密的方法	108	小结	140
一、导线测量	109	思考题	141
二、小三角测量	109	习题	141
三、交会测量	109	第八章 地形图的基本知识	143
四、极坐标法	111	第一节 地形图概述	143
第六节 高程控制测量	111	第二节 地形图的比例尺	143
一、三、四等水准测量	111	一、比例尺的种类	144
二、三角高程测量	114	二、比例尺精度	144
小结	116	三、地形图按比例尺分类	144
思考题	119	四、地形图的主要用途	145
习题	119	第三节 地形图分幅与编号	145
第七章 全球导航卫星系统定位技术 ..	121	一、梯形分幅与编号	145
第一节 全球导航卫星系统定位技术 的特点及系统组成	121	二、矩形分幅与编号	150
一、全球导航卫星系统概述	121	第四节 地物地貌的表示	151
二、全球导航卫星系统定位技术的 特点	121	一、地物符号	151
三、全球定位系统组成	122	二、地貌符号	152
第二节 全球定位系统定位原理	125	第五节 地形图的识读	156
一、全球定位系统卫星信号	125	一、地形图的组成要素	156
二、全球定位系统定位的基本 原理	125	二、地形图读图的程序	160
三、伪距定位	126	三、地形图的野外应用	162
四、载波相位定位	126	第六节 电子地图及应用	163
五、实时差分定位	127	一、电子地图的概念	164
六、全球定位系统的定位模式	128	二、电子地图的优点	164
第三节 全球定位系统测量的实施	129	三、电子地图的应用	165
一、全球定位系统测量的误差 分析	129	小结	166

思考题	168	第二节 面积量测	199
习题	168	一、图解法	199
第九章 大比例尺地形图的测绘	169	二、解析法	200
第一节 测图前的准备工作	169	三、求积仪法	201
一、图幅的划分	169	第三节 地形图在工程中的应用	202
二、坐标格网的绘制	169	一、断面图的绘制	202
三、控制点的展绘	170	二、按限定的坡度选定最短的路线	203
四、测站点的增设	171	三、汇水面积的确定	203
第二节 碎部测量的方法	171	四、计算地表斜面积	204
一、碎部点的选择	171	五、森林资源调查样点的放样	204
二、测定碎部点位置的基本方法	172	六、土方量计算	205
三、视距测量	173	七、地形利用分析	209
四、经纬仪测绘法	174	八、数字地图的应用	211
第三节 地物地貌的测绘	175	小结	221
一、地物的测绘	175	思考题	223
二、地貌的测绘	176	习题	223
第四节 地形图的拼接、检查和 整饰	178	第十一章 测设的基本工作	226
一、地形图的拼接	178	第一节 水平角、水平距离、高程 测设	226
二、原图检查	178	一、水平角测设	226
三、地形图的整饰	179	二、水平距离测设	227
第五节 数字地形图测绘	179	三、高程测设	227
一、概述	179	四、坡度线测设	228
二、数据采集	181	第二节 点的平面位置测设	230
三、地形图机助成图	182	一、直角坐标法	230
四、南方 CASS 数字化成图软件的 基本操作	184	二、极坐标法	231
小结	194	三、距离交会法	231
思考题	195	四、角度交会法	232
习题	195	五、全站仪极坐标法	232
第十章 地形图的应用	197	小结	233
第一节 地形图应用的基本内容	197	思考题	234
一、点位平面坐标的量测	197	习题	234
二、点位高程的量测	198	第十二章 线路中线测量	235
三、两点间的水平距离量测	198	第一节 交点和转点的测设	235
四、直线的方位角量测	199	一、中线测量概述	235
五、两点间的坡度量测	199	二、交点的测设	236
		三、转点的测设	237

第二节 线路转折角的测定和里程桩设置	238
一、线路转折角的测定	238
二、里程桩的设置	239
第三节 圆曲线测设	240
一、圆曲线主点的测设	240
二、圆曲线细部的测设	242
三、困难地段的圆曲线测设	246
第四节 线路纵横断面测量	249
一、线路纵断面测量	249
二、竖曲线的测设	252
三、线路横断面测量	253
第五节 GNSS RTK 在道路测量中的应用	254
一、测绘大比例尺带状地形图	254
二、道路中线测设	254
三、道路纵、横断面测量	254
小结	255
思考题	256
习题	257
第十三章 施工测量	258
第一节 建筑场地的施工控制测量	258
一、建筑基线的测设	258
二、建筑方格网的测设	259
三、施工坐标与测量坐标的转换	260
四、高程控制点的测设	261
第二节 民用建筑的施工测量	261
一、施工测量前的准备工作	261
二、建筑物定位	262
三、竣工测量	264
第三节 道路施工测量	265
一、中线恢复测设	265
二、路基边桩的测设	266
第四节 园林工程测量	267
一、园林主要工程测设	267
二、园林树木种植定点放样	269
小结	272
思考题	273
习题	274
第十四章 土地利用与管理中的测量工作	276
第一节 土地平整测量	276
一、合并田块平整的测算方法	276
二、方格法计算土方	276
第二节 土地权属界址线复原时的测绘工作	277
一、复原单个界标	277
二、复原由若干相邻界址点组成的部分界址线	279
三、困难荫蔽地区界址线的复原	279
第三节 土地利用规划设计的现场铺图	280
一、现场铺图的概念	280
二、现场铺图的准备工作	280
三、现场铺图的方法	282
第四节 划拨土地测量	283
一、布设导线测定拨地条件中指定的地物点坐标	284
二、用地边界条件坐标的推算	284
三、拨地边界点的测设与拨地中的校核测量	286
第五节 勘界测量工作	286
小结	289
思考题	290
习题	290
附录 国家基本比例尺地图图式 地形图图式 GB/T 20257.1—2007 (选摘)	291
参考文献	305

第一章 绪 论

第一节 测量学概述

一、测量学的定义

测绘学是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几何分布，并结合社会信息和自然信息，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，主要由测量学与地图制图学组成，是地球科学的重要组成部分。测量学是一门研究地球的形状和大小，以及测定地面点的位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图的学科。测量学是测绘学科重要的组成部分。

二、测量学的分类

广义的测量学根据研究的重点内容 and 应用范围不同，可以分为以下几个分支学科：

1. 普通测量学 研究地球表面局部地区测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科，是测绘科学的公共基础。主要任务是小地区图根控制网的建立，地形图测绘及一般工程施工测量。具体工作有高程测量、角度测量、距离测量、坐标测量，以及观测数据的处理、地形图绘制及应用等。

2. 大地测量学 以地球表面大区域为研究对象，研究和确定地球的形状、大小及地球重力场变化的理论和技术的学科，主要任务是在全国范围布设大地控制网和重力网，精密测定一系列点的空间位置和重力，为地学科学、空间科学、地形图测绘及工程施工提供控制依据。由于人造地球卫星和空间技术的发展利用，大地测量学又分为常规大地测量和卫星大地测量两种。

3. 摄影测量学 研究利用摄影或遥感影像测定目标物的形状、大小、空间位置、性质和相互关系的学科。根据摄影方式的不同，摄影测量又分为地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量等。

4. 工程测量学 研究具体工程建设和自然资源开发中，设计、施工、竣工验收和管理阶段所进行的控制和地形测绘、施工放样、变形监测的理论和技术的学科。

5. 地图制图学 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。

6. 海洋测量学 研究以海洋水体、港口、航道及海底为对象所进行的测量和海图编制理论、技术与方法的学科。

此外还有天文测量学、地籍测量学、房产测量学等。

本教材为普通测量学，主要讲述测量学的基本知识、测量工作的基本内容和方法、大比例尺地形图测绘、地形图的识读和应用，以及施工测量的基本方法和技术等内容。

三、测量学的任务

1. 测图 根据测量的基本理论和方法,使用测量仪器和工具,准确测定小地区范围地物和地貌的位置、高程和形状信息,并按一定的比例尺和规定的符号绘制成图,供规划设计和科学研究使用。

2. 测设 将图上已规划设计好的工程建(构)筑物的平面位置和高程,准确地标定到实地上,以作为工程施工的依据,也称为施工放样。

3. 用图 泛指识别和使用地形图的知识、方法和技能。主要内容是地物、地貌判读、地图标定、确定站立点和利用地图获取所需要的信息(坐标、高程、距离、面积、坡度)等,以解决工程上若干基本问题。

四、测量学的作用

测量学的应用十分广泛。在国民经济建设中,测绘工作是基础性和前瞻性的工作,测绘信息是最重要的基础信息之一。从大江南北、天涯海角的施工现场,到南极冰盖最高点和珠峰高程的测量,测绘工作者的英姿随处可见。从城乡建设、能源开发、江河治理,到道路管线等工程的勘测与整个施工流程,无不依赖于测绘工作。在农业科学的资源调查、土地管理及园林等各项工程的规划设计、施工等,测量学发挥着其他学科不可替代的重要作用。

测量学在国防建设中的作用众所周知,地形图是军事指挥员的眼睛。一切战略部署、战役指挥、战术进攻和各项国防工程的实施,以及远程导弹、人造卫星和航天器的发射等,必须有精确的测量定位数据做支撑,因此,测绘技术发挥着无与伦比的作用。在科学研究方面,如研究地球的形状和大小、地震预测预报、地壳形变,到地球动力学、空间技术的研究等,没有高精度的测绘技术做保障将会一事无成。

总之,当今信息社会中的诸多行业都离不开测量学的支持。在未来地球空间信息技术、全球定位技术和遥感技术等现代高科技快速发展和应用上,测量学更将大显身手。作为 21 世纪的测绘科技人才,大有可为而任重道远,只有掌握必要的测绘基本理论和基本技能,才能在激烈的市场竞争中立于不败之地,更好地为现代化建设贡献力量。

五、测量学发展简况

测量学是一门从人类生产实践中发展起来的历史非常悠久的科学,是人类认识自然、改造自然的一种非常重要的技术手段。古埃及时期及我国商周时期,就有测量事件的描述和文字记载。

考古发现殷墟甲骨文中已有弓、规、矩的记载,青铜器铭文也记述了军事地图和封疆测绘。长沙马王堆出土的西汉长沙国地形图、驻军图及城邑图,是迄今发现的最古老最详细的地图。晋代裴秀总结和提出了分率、准望、道里、高下、方斜、迂直的“制图六体”,奠定了中国古代制图的理论基础,在中国地图学史上具有划时代的意义。唐代贾耽根据“制图六体”的理论曾编制了《海内华夷图》。宋代沈括曾使用水平尺、罗盘进行地形测量,并绘制了《天下州县图》,是当时最好的全国地图。元代郭守敬发明了许多天文测量仪器,主持了大规模恒星位置测定,在大面积地形和水准测量中首创海拔高程概念。清代康熙年间进行了大规模的大地测量工作,并在此基础上进行了全国范围的地形测量,最后制成《皇舆全览

图》，是世界上完成全国地形图最早的国家之一。

古埃及由于尼罗河泛滥后，需要重新划分土地的边界，就进行土地丈量，从而产生了最初的测量技术。古希腊人也很早就掌握了土地测量方法，“测量学”按希腊文的含义即是“土地划分”。以后，随着科学技术的进步，测绘科学的应用也日益扩展。在公元前 3 世纪，希腊科学家就利用天文测量方法初步测定了地球的大小和形状。当然，那时使用的仪器和方法都是非常简单和原始的。17 世纪（1608 年），荷兰人汉斯发明了望远镜，斯纳尔创造了三角测量方法。之后，法国人将望远镜装置在全圆分度器上用于角度测量，成为现代经纬仪的鼻祖。18 世纪中叶，出现了水准测量，法国地理学家毕阿土（Buache philippe, 1700—1773）在总结前人成果和经验的基础上第一次提出了用等高线表示地形起伏和高低；后来，物理学家都克拉（Ducarla Bonifas, 1738—1816）又把这种方法做了详细的校订，并加以完善，使之更加实用。19 世纪，德国人高斯提出了“最小二乘法原理”，之后又提出了横圆柱正形投影。

现代意义上的测量学发展始于 17 世纪，体现在测量理论和技术、测量仪器及工具两方面。其中有几个里程碑阶段：1668 年，四十倍望远镜的发明，推动传统光学测量技术发展；1859 年，法国人洛斯达开创摄影测量，1899 年，摄影测量理论逐步成熟，1903 年，飞机的发明促进了航空测绘（摄影测量）的发展；1950 年前后，电子学论、信息论、电机、空间技术的发展，诞生了电磁波测距仪；1968 年，电子经纬仪出现，实现电子测角，测量数据自动记录于磁带上，用光栅、编码度盘代替刻划度盘；电磁波测距和电子经纬仪的完美结合诞生了全自动测量工具——全站仪；1973 年开始研制，1994 年年底建成的耗资数百亿美元的全球定位系统（GPS）完全打破传统的测量模式，成为最先进的测量导航、定位手段。

测量学又是一门与时俱进而富有生命力的现代科学，它总是与时代高新科技完美结合。如卫星用于导航与定位，飞机和卫星作为获取影像信息的平台，计算机广泛应用于测量平差、机助制图和数据库管理等。特别是 20 世纪 90 年代以来，全站仪、全球导航卫星系统（global navigation satellite system, GNSS）、实时动态差分定位技术（real time kinematic, RTK）等先进测量仪器和技术的广泛应用，促进了测量向自动化、数字化、高精度方向发展，并呈现出无限广阔的发展前景。全站仪和 GPS-RTK（或 BDS-RTK）将成为地面数字测量和地形测图的主要手段。

近几年，三维激光扫描技术不断发展并日渐成熟，它突破了传统的单点测量的方法，具有高效率、高精度的独特优势。三维激光扫描仪可以快速扫描被测物体，不需要反射棱镜即可直接获得高精度的扫描点云数据。因此，可以用于获取高精度高分辨率的数字地形模型。三维激光扫描技术在测绘行业方面的应用主要包括地形测绘、建筑测绘、道路测绘、矿山测绘、文物数字化保护、数字城市地形可视化等。

随着无人机遥感测绘技术的不断发展，在影像获取方面应用非常广泛，特别是近年来，无人机航空摄影测量系统已能在多种复杂的地形与气候条件下及时获取精准的地理信息数据，广泛应用于大中比例尺地形图、地质灾害等航空摄影测量领域，成为传统航空摄影测量手段的有力补充，并体现出快捷精准的新优势。

第二节 地球的形状和大小

测量学的研究对象是地球的自然表面，测量工作也是在地球表面上进行。因此，首先要

对地球的形状、大小等自然形态做必要的了解，然后才能为确定地面点的空间位置而选定参考面和参考线，作为描述和确定地面点空间位置的基准。

一、地球的自然表面

地球的自然表面是不规则的，有高山、丘陵和平原，有江河、湖泊和海洋。通过长期的科学调查和测绘实践，人们发现地球表面海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%。地球表面最高点是海拔 8 844. 43 m 的珠穆朗玛峰，最低点是海拔 -11 022 m 的马里亚纳海沟，但这样的高低起伏相对于地球庞大的体积来说仍然是微不足道的，就其总体形状而言，地球是一个接近于两极扁平、沿赤道略为隆起的“椭球体” [图 1-1 (a)]。

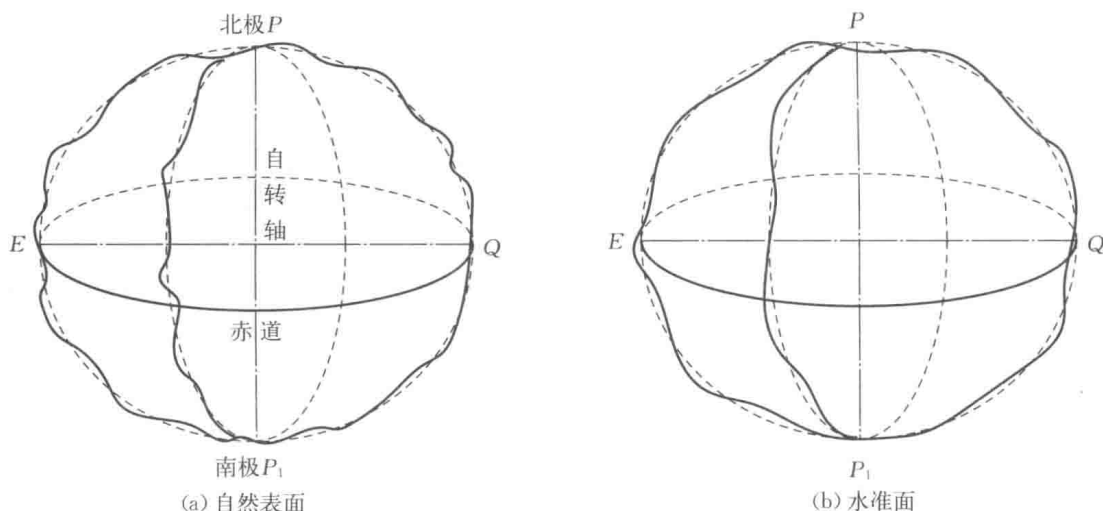


图 1-1 地球自然表面和水准面

二、大地水准面

既然地球表面绝大部分是海洋，人们很自然地把地球总体形状看作被海水包围的球体，即把地球看作处于静止状态的海水向陆地内部延伸形成的封闭曲面 [图 1-1 (b)]。如图 1-2 (a) 所示，地球表面任一质点都同时受到两个作用力：一是地球自转产生的惯性离心力，二是整个地球质量产生的引力，这两种力的合力称为重力。引力方向指向地球质心，如果地球自转角速度是常数，惯性离心力的方向垂直于地球自转轴向外，重力方向则是两者合力的方向，重力的作用线又称为铅垂线。用细绳悬挂的垂球，其静止时所指的方向即为铅垂线方向 [图 1-2 (b)]。

处于静止平衡状态的液体表面通常称为水准面，由静止的海水面延伸形成的封闭曲面也是一个水准面。由于海水有潮涨潮落，海水面时高时低，这样的水准面就有无数个，从中选择一个最接近于地球表面的水准面来

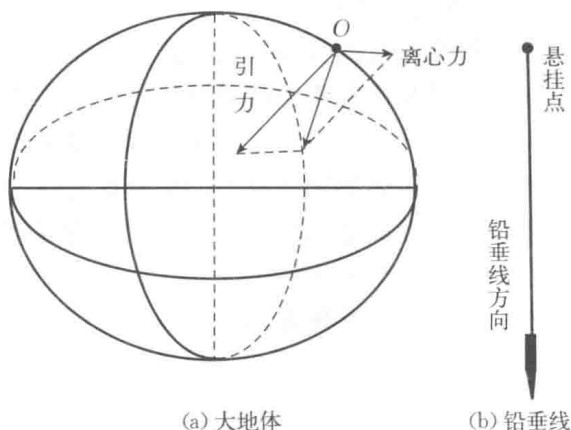


图 1-2 大地体、重力与铅垂线

代替地球表面，这就是通过平均海水面的水准面。人们把这个处于静止平衡状态的平均海水面向陆地内部延伸所形成的封闭曲面称为大地水准面。大地水准面包围的形体称为大地体。

当液体表面处于静止状态时，液面必然与重力方向正交，即液面与铅垂线方向垂直。由于大地水准面也是一个水准面，因而大地水准面同样具有处处与铅垂线垂直的性质。我们知道，铅垂线的方向取决于地球内部的吸引力，而地球引力的大小与地球内部物质有关。由于地球内部物质分布是不均匀的，因而地面上各点的铅垂线方向也是不规则的。因此，处处与铅垂线方向正交的大地水准面是一个略有起伏的不规则曲面（图 1-3）。大地水准面和铅垂线是客观存在的，可以作为野外测量的基准面和基准线。由于大地水准面是具有微小起伏的不规则曲面，不能用简单数学公式表示。因此，在这个曲面上进行测量数据处理将是十分困难的。

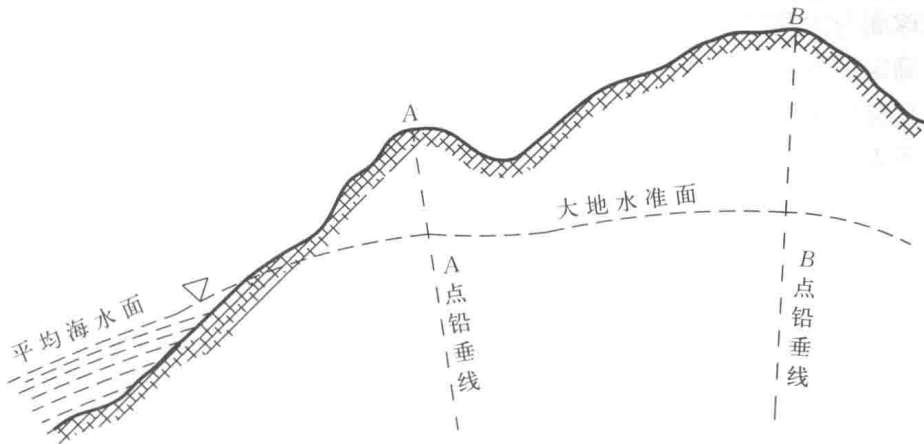


图 1-3 大地水准面

三、参考椭球面

为了解决大地水准面不能作为计算基准面的矛盾和问题，人们要选择既能用简单数学公式表示又十分接近于大地水准面的规则曲面作为计算的基准面。

几个世纪研究与实践表明，虽然大地水准面是略有起伏的不规则曲面，但从整体上看，大地体是十分接近于一个规则的旋转椭球体，即一个椭圆绕它的短轴旋转而成的旋转椭球体，人们把这个代表地球形状和大小的旋转椭球体称为地球椭球体，也称作参考椭球体（图 1-4）。

椭球的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球体的基本元素是长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 $f = \frac{a-b}{a}$ 。

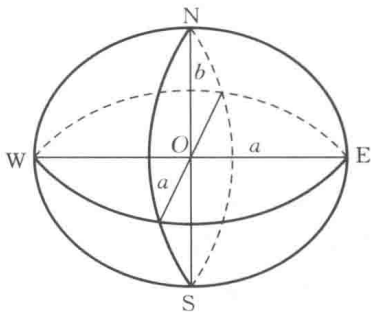


图 1-4 参考椭球体

地球椭球体元素值是通过大量的测量成果推算出来的。17 世纪以来，许多测量工作者根据不同地区、不同年代的测量资料，按不同的处理方法推算出不同的地球椭球元素，不同国家的大地坐标系会选择不同的椭球元素，如我国“1980 西安坐标系”采用了 IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics, 国际大地测量与地球物理联合会) 在 1975 年定义的国际椭球，该椭球的基本元素是： $a=6\,378\,140\text{ m}$ ， $b=6\,356\,755.3\text{ m}$ ， $f=1/298.257$ 。在普通测量中可把地球视为圆球体，其半径约为 $6\,371\text{ km}$ 。

地球椭球的形状和大小确定之后，还应进一步确定地球椭球与大地体的相关位置，才能