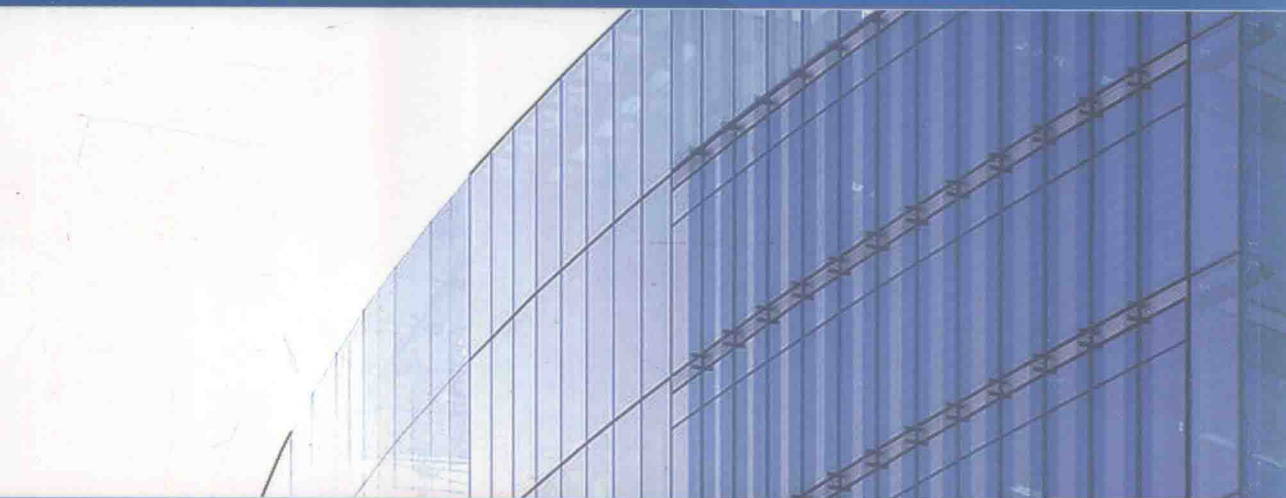




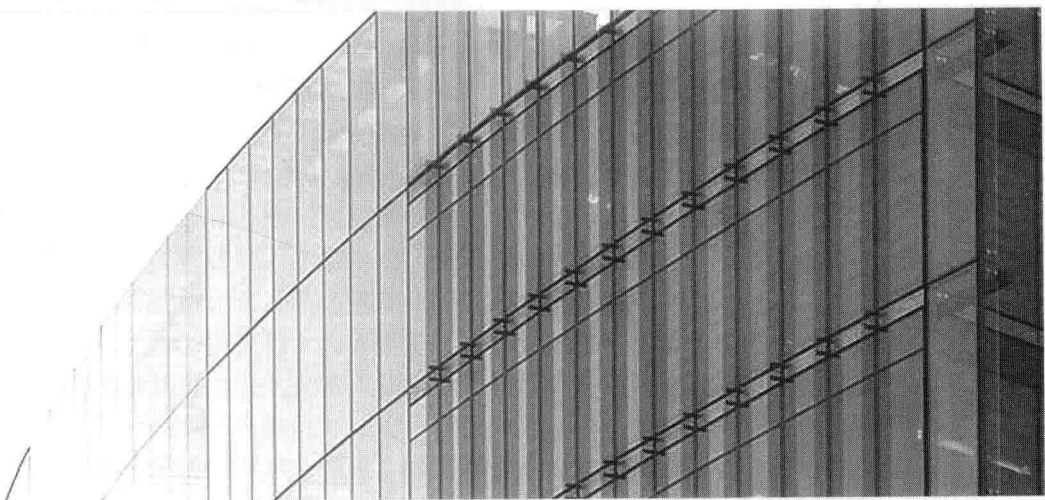
建筑工程测量

胡荣 李琴 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



建筑工程测量

胡荣 李琴 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/胡荣,李琴主编. —武汉:武汉大学出版社,2018.8
ISBN 978-7-307-20509-3

I. 建… II. ①胡… ②李… III. 建筑测量—教材 IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 197963 号

责任编辑:林 莉 责任校对:汪欣怡 版式设计:汪冰滢

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北民政印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:359千字 插页:1

版次:2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20509-3 定价:39.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

当前,随着测绘技术不断发展,工程建设中各项测量工作所使用的测量仪器与成果形式,都发生了很大的变化。为了适应现代工程测量教学的需要,编者综合部分高校非测量专业《工程测量》课程设置情况、培养方案及课程教学大纲要求,参阅大量相关教科书及相关测量规范,结合自身教学经验,编写完成本教材。教材可作为普通高等学校建筑学、建筑工程技术、土木工程、工程管理、城乡规划、建筑与环境能源设备、环境工程、给水排水等专业的技术基础课程教材,也可供上述专业的技术人员参考。

教材力求简明扼要、通俗易懂,教学内容着重于工程测量的基本概念和理论、基本知识和技能。全书以工程测量的基本概念、基础知识、各测量要素测量的基本观测原理和方法为主线,主要介绍了工程测量基本原理和理论、常规测量方法,详细介绍了工程控制测量、地形图测绘与应用、建筑工程测量与测设、线路测量等内容。教材结合非测量专业学生的学习特点和能力来编排习题和思考题,注重引导学生理论联系实际的学习方法,有利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本教材由胡荣、李琴共同编写。刘祖文、冯亚明参与了第十一、十二章的编写工作,并对初稿内容提出了很多宝贵意见,在此表示感谢!同时,感谢相关同事和亲人的大力支持,感谢武汉大学出版社所做的辛勤工作!

由于编者水平有限,教材中难免出现不妥和不足甚至错误之处,恳请使用本教材的教师和广大读者批评指正。

编 者

2018年6月于武汉

目 录

第1章 绪论	1
1.1 建筑工程测量	1
1.1.1 测量学	1
1.1.2 建筑工程测量的任务	2
1.2 测量的基本知识	3
1.2.1 地球的形状和大小	3
1.2.2 测绘基准线和基准面	3
1.3 地面点位的确定	5
1.3.1 高程系统	5
1.3.2 测量常用坐标系	6
1.4 用水平面代替水准面的限度	11
1.4.1 水准面曲率对水平距离的影响	11
1.4.2 水准面曲率对水平角的影响	12
1.4.3 水准面曲率对高差的影响	12
1.5 测量工作概述	13
1.5.1 测量基本任务	13
1.5.2 测量基本要素	13
1.5.3 测量基本原则	14
1.5.4 测量工作过程	14
习题与思考题	15
第2章 水准测量	16
2.1 水准测量原理	16
2.2 水准仪与水准尺	17
2.2.1 DS3 型水准仪	17
2.2.2 水准尺与尺垫	20
2.2.3 水准仪的使用	21
2.3 普通水准测量外业施测	24
2.3.1 水准点与水准测量路线	24
2.3.2 水准测量施测	26
2.3.3 水准测量检核	27
2.4 水准测量成果计算	30

2.4.1 附和水准路线测量成果计算	30
2.4.2 闭合水准路线测量成果计算	32
2.5 水准仪的检验与校正	32
2.5.1 水准仪主要轴线及其关系	33
2.5.2 水准管轴与视准轴平行的检验和校正	33
2.5.3 圆水准器轴与仪器旋转轴平行的检验和校正	34
2.5.4 十字丝横丝垂直于仪器旋转轴的检验和校正	35
2.6 水准测量误差及其注意事项	36
2.6.1 仪器误差	36
2.6.2 观测误差	36
2.6.3 外界条件影响	37
2.7 自动安平水准仪	38
2.7.1 自动安平的基本原理	38
2.7.2 DSZ2 自动安平水准仪	39
2.8 精密水准仪和水准尺	39
2.8.1 精密水准仪	40
2.8.2 精密水准尺	41
2.8.3 读数方法	42
2.9 电子水准仪	42
2.9.1 电子水准仪	42
2.9.2 条码水准尺	43
习题与思考题	44
第3章 角度测量	46
3.1 角度测量原理	46
3.1.1 水平角观测原理	46
3.1.2 竖直角观测原理	47
3.1.3 角度测量仪器	47
3.2 普通经纬仪	48
3.2.1 光学经纬仪	48
3.2.2 电子经纬仪	48
3.2.3 经纬仪基本部件	48
3.3 电子全站仪	51
3.3.1 全站仪各部位名称及其功能	51
3.3.2 全站仪使用注意事项	56
3.4 角度测量方法	56
3.4.1 仪器对中	56
3.4.2 仪器整平	57

3.4.3 照准目标	59
3.4.4 角度观测	59
3.5 水平角观测	59
3.5.1 测回法	60
3.5.2 方向观测法	61
3.6 竖直角观测	63
3.6.1 竖盘结构	63
3.6.2 竖直角计算公式	64
3.6.3 竖盘指标差	65
3.6.4 竖直角观测	66
3.7 角度测量误差及其注意事项	66
3.7.1 仪器误差	67
3.7.2 观测误差	68
3.7.3 外界因素的影响	70
习题与思考题	70
第4章 直线测量	72
4.1 钢尺量距	72
4.1.1 钢尺量距工具	72
4.1.2 直线定线	74
4.1.3 钢尺量距一般方法	74
4.1.4 钢尺量距精密方法	76
4.2 视距测量	77
4.2.1 普通视距测量原理	78
4.2.2 视距测量观测与计算	80
4.3 电磁波测距	81
4.3.1 电磁波测距基本原理	81
4.3.2 电磁波测距方法	81
4.3.3 全站仪距离与高差测量	83
4.4 直线定向	84
4.4.1 三北方向	84
4.4.2 方位角	85
4.4.3 正、反坐标方位角	86
4.4.4 坐标方位角的推算	87
习题与思考题	88
第5章 测量误差的基本知识	90
5.1 测量误差概述	90

5.1.1	测量误差	90
5.1.2	测量误差的来源	90
5.1.3	测量误差的分类及其处理方法	91
5.1.4	偶然误差的统计特性	92
5.2	衡量测量精度的指标	94
5.2.1	中误差	94
5.2.2	相对误差	95
5.2.3	极限误差和容许误差	95
5.3	误差传播定律	96
5.3.1	误差传播定律	96
5.3.2	误差传播定律应用实例	97
5.4	算术平均值及观测值的中误差	98
5.4.1	算术平均值及其中误差	98
5.4.2	按观测值的改正数计算中误差	99
5.4.3	应用实例	100
5.5	加权平均值及其精度评定	101
5.5.1	不等精度观测及观测值的权	101
5.5.2	加权平均值	101
5.5.3	加权平均值的中误差	102
5.5.4	单位权中误差的计算	102
	习题与思考题	103
第6章	小地区控制测量	104
6.1	控制测量概述	104
6.1.1	平面控制测量	104
6.1.2	高程控制测量	106
6.2	导线测量	107
6.2.1	导线测量布设形式	107
6.2.2	导线测量外业	108
6.2.3	坐标计算基本公式	110
6.2.4	导线计算	111
6.3	交会定点	117
6.3.1	前方交会	118
6.3.2	后方交会	119
6.3.3	测边交会	120
6.4	三、四等水准测量	121
6.4.1	三、四等水准测量技术要求	121
6.4.2	三、四等水准测量观测与计算检核	122

6.4.3 三、四等水准测量成果检核与计算	124
6.5 三角高程测量	124
6.5.1 三角高程测量的基本原理	124
6.5.2 三角高程测量的观测与计算	125
习题与思考题	126
第7章 卫星定位测量	128
7.1 卫星导航定位系统概述	128
7.1.1 全球定位系统	128
7.1.2 其他卫星导航定位系统	128
7.2 GPS 系统的组成	129
7.2.1 空间卫星部分	129
7.2.2 地面监控部分	130
7.2.3 用户设备部分	130
7.3 GPS 定位的基本原理	130
7.3.1 卫星的空间位置	130
7.3.2 测距码伪距测量	131
7.3.3 载波相位测量	131
7.4 GPS 定位方法与测量	132
7.4.1 GPS 静态相对定位测量	133
7.4.2 GPS RTK 定位测量	136
7.5 GPS 测量误差	137
习题与思考题	138
第8章 地形图及其应用	139
8.1 地形图基本知识	139
8.1.1 地形图的概念及其内容	139
8.1.2 地形图的比例尺及精度	141
8.1.3 图廓及图廓外注记	142
8.1.4 地形图分幅与编号	142
8.2 地形图符号	145
8.2.1 地物符号	145
8.2.2 地貌符号	146
8.3 地形图的应用	151
8.3.1 求图上点的坐标与高程	151
8.3.2 求图上直线的长度、方位角和坡度	152
8.3.3 求图上区域的面积和体积	153
8.3.4 其他工程应用	156

习题与思考题	159
第9章 大比例尺地形图测绘	161
9.1 测图基本过程	161
9.1.1 测图准备	161
9.1.2 测定碎部点的基本方法	162
9.2 地物与地貌测绘	162
9.2.1 一般要求	162
9.2.2 地物测绘	163
9.2.3 地貌测绘	164
9.2.4 地形图上各要素配合表示的一般原则	165
9.3 碎部测图方法	166
9.3.1 大平板仪测图	166
9.3.2 经纬仪测图	168
9.3.3 地面数字测图	168
9.4 航空摄影测量成图	172
9.4.1 航测成图原理	172
9.4.2 航测成图过程	173
9.5 大比例尺数字地形图质量控制	175
9.5.1 大比例尺数字地形图的基本要求	175
9.5.2 大比例尺数字地形图的质量要求	176
9.5.3 大比例尺数字地形图平面和高程精度的检查和质量评定	176
9.5.4 大比例尺数字地形图的检查验收	177
习题与思考题	177
第10章 测设的基本工作	178
10.1 测设工作概述	178
10.1.1 测设工作概念	178
10.1.2 测设工作过程	178
10.1.3 测设工作的特点与注意事项	179
10.2 测设的基本工作	179
10.2.1 水平角测设	179
10.2.2 水平距离测设	180
10.2.3 高程测设	182
10.3 点的平面位置测设	183
10.3.1 直角坐标法	183
10.3.2 极坐标法	184
10.3.3 角度交会法	185

10.3.4 距离交会法	186
10.3.5 直接测定法	187
10.3.6 平面位置测设方法综述	187
10.4 坡度线测设与高程传递	188
10.4.1 坡度线测设	188
10.4.2 高程传递	189
习题与思考题	191
第 11 章 建筑施工测量	193
11.1 建筑施工控制测量	193
11.1.1 测量坐标系与施工坐标系	193
11.1.2 建筑施工平面控制测量	194
11.1.3 建筑施工高程控制测量	197
11.2 建筑定位和轴线测设	197
11.2.1 建筑定位测量	197
11.2.2 轴线控制桩	198
11.3 建筑基础施工测量	199
11.3.1 基础开挖范围放线	199
11.3.2 基槽开挖深度控制	199
11.4 建筑墙体施工测量	200
11.4.1 轴线引测	200
11.4.2 高程传递	201
11.5 建筑变形监测	202
11.5.1 建筑沉降观测	202
11.5.2 建筑倾斜观测	204
11.5.3 建筑水平位移观测	206
11.6 建筑竣工测量	206
11.6.1 竣工测量基本要求	207
11.6.2 竣工测量内容	207
习题与思考题	207
第 12 章 线路测量	209
12.1 中线测量	209
12.1.1 交点测设	209
12.1.2 转点测设	211
12.1.3 转向角测定	212
12.1.4 中桩测量	212
12.2 曲线测设	214

12.2.1 圆曲线主点测设	214
12.2.2 带缓和曲线的圆曲线主点测设	215
12.2.3 曲线详细测设	217
12.3 线路断面测量	220
12.3.1 线路纵断面测量	220
12.3.2 线路横断面测量	223
12.3.3 全站仪纵、横断面测量	225
12.4 断面图绘制	226
12.4.1 纵断面图绘制	227
12.4.2 横断面图绘制	228
习题与思考题	229
参考文献	230

第1章 绪 论

测量学(亦称测绘学)是研究地球形状和大小、确定地球表面各种物体点位的空间位置、测绘地表自然形态和人工设施的几何分布图形的科学。

1.1 建筑工程测量

1.1.1 测量学

测量学按照研究范围、研究对象及采用技术的不同,又可分为多个学科,如:

(1)大地测量学

研究建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测图提供控制基础,为各类工程施工测量提供依据,为研究地球形状、大小、重力场及其变化、地壳形变及地震预报提供信息。

(2)摄影测量学

通过研究利用摄影或者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技术。

(3)工程测量学

研究工程建设和自然资源开发中,在规划、勘测设计、施工和运营管理各个阶段进行的控制测量、大比例尺地形测绘、地籍测绘、施工放样、设备安装、变形监测及分析与预报等的理论和技术。

工程测量学是一门应用学科,按其研究对象可分为:建筑工程测量、水利工程测量、矿山测量、铁路工程测量、公路工程测量、输电线路与输油管道测量、桥梁工程测量、隧道工程测量、港口工程测量、军事工程测量、城市建设测量以及三维工业测量、精密工程测量、工程摄影测量等。

(4)海洋测量学

研究海洋定位,测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力及编制各种海图的理论和技术。

(5)地图制图学

研究各种地图的制作理论、原理、工艺与应用的一门学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作和地理信息系统方向发展。

在地球表面一个小区内进行的测绘工作,可以把这块球面看做平面而不顾及地球曲率的影响。这时的测量学又称为普通测量学或地形测量学,其主要内容包括角度测量、距

离测量、水准测量、控制测量、地形图测绘及地形图的应用。

测量学的应用范围非常广阔,在国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域,都占有重要的地位。在国民经济建设方面,测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要的基础信息之一。在国防建设方面,测量工作为打赢现代化战争提供了保障。战略部署、战役指挥离不开地形图;各种国防工程的规划、设计和施工需要测绘工作;现代测绘科学技术对保障远程导弹、人造卫星或航天器的发射及精确入轨起着非常重要的作用等。在科学研究方面,诸如地壳形变、滑坡监测、灾害预测和防治、资源调查等科学研究中,都需要测量工作的配合。

在工程建设中,测量常被人们称为建设尖兵,在所有的工程建设中,其勘测、设计、施工、竣工及运营等阶段都需要进行各种测量工作,而且都要求测量“先行”。例如在工程设计前期,通过勘测,为城市建设、工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿等部门的规划和管理提供地形图和测绘资料;在工程设计阶段,所提供的地形图和测绘资料是设计人员设计的重要依据;设计好图纸后,工程进入施工阶段,通过测量将图纸上设计的点位在实地标注出来,便于后期施工;工程竣工后,进入运营管理阶段,需要通过测量对已完成的建筑物或构筑物进行竣工测量以及变形监测等。由此可见,工程建设的每一个阶段都离不开测量工作。

现在,随着空间信息科学的飞速发展,全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术已成为当前测量工作的核心技术。计算机和网络通讯技术的普遍采用,测量成果已从二维、三维发展到四维、从静态到动态。另外,新的测量理论、方法、仪器和技术手段也不断涌现。

1.1.2 建筑工程测量的任务

建筑工程测量属于普通测量学及工程测量学的范畴,主要是研究建筑工程在勘测、设计、施工建设、竣工和运营管理阶段所进行的各种测量工作中的理论和方法。其主要任务是:

(1) 测绘大比例尺地形图

大比例尺地形图是建筑工程规划、设计的依据。因此,需将工程建设区域内各种物体的空间位置和几何形状,以及地面高低起伏的形态,依照规定的符号和比例尺绘制成地形图,并将建筑工程中所需的数据用数字表示出来。

(2) 施工放样

把图纸上已设计好的建筑物(或构筑物),按照设计要求在现场标定出来,作为施工的依据。

(3) 竣工测量

配合建筑施工,进行各种测量工作,对施工进行检查、验收;工程结束后进行竣工测量,绘制竣工图,作为工程验收、日后维修、扩建的依据。

(4) 变形观测

对于一些重要的、大型的建筑物(或构筑物),在施工过程和运营管理阶段,要定期进行变形观测,来观察其稳定性。变形监测的主要内容有沉降观测、位移观测、倾斜观

测、裂缝观测等。以动态监测的手段，确保工程的安全。

可见，测量贯穿整个建筑工程施工全过程。从事工程建设的技
术和管理人员，必须掌握一定的测量知识和技能。

1.2 测量的基本知识

1.2.1 地球的形状和大小

地球的自然表面极不规则，局部观察，有高山、丘陵、平原、江河、湖泊和海洋。有位于我国青藏高原上的世界第一高峰珠穆朗玛峰，高达 8844.43m；有位于太平洋西部的马里亚纳海沟，深达 11022m。尽管有这样大的高低起伏，但相对地球庞大的体积来说仍可忽略不计。地球形状及其复杂。通过长期的科学调查，人们了解到地球表面上海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%。因此，测量中把地球总体形状看做由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成近似梨形的椭球体。

1.2.2 测绘基准线和基准面

地球上的物体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地球引力。这两种力的合力称为重力，见图 1-1(a)。人们把重力的作用线又称为铅垂线。用细绳悬挂重物，其静止时自由下垂所指方向即为铅垂线方向，见图 1-1(b)。铅垂线是测量工作所依据的基准线。

水在自由静止时的表面称为水准面。水准面是一个重力等位面，过任意一点的水准面上与其重力方向(即铅垂线方向)垂直。如果将水准面无限延伸，该水准面将是一个封闭的曲面。同时，水准面随海水高度不同有无数个。其中，把一个假想的、与静止的平均海水面重合并向陆地延伸且包围整个地球的特定水准面称为大地水准面。大地水准面是测量工作所依据的基准面。

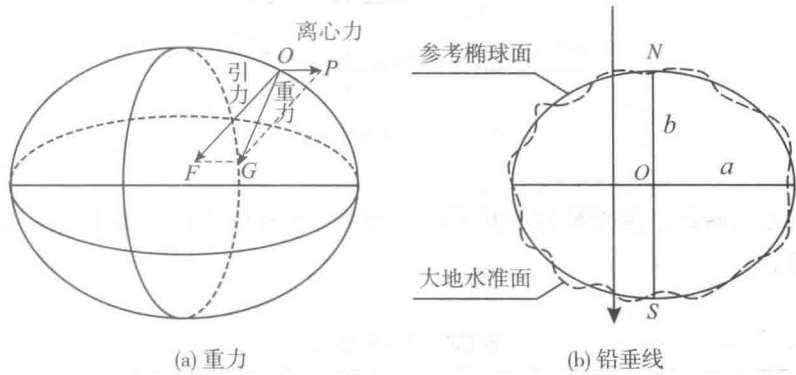


图 1-1 重力及其作用线

地球内部的质量分布是不均匀的，致使地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化，因而大地水准面实际上是一个略有起伏的不规则曲面，无法用数学公式精确表达，见图 1-2。

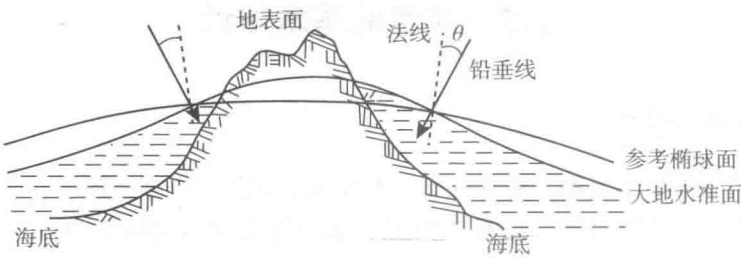


图 1-2 大地水准面

大地水准面不规则，这样的曲面难以在其上面进行测量数据的处理和计算。为了便于测量成果的计算，测量上通常会选用一个与地球形状最接近的旋转椭球体来代替大地体，这个旋转椭球体又称为参考椭球体，其椭球面称为参考椭球面。参考椭球面可以用数学公式准确地表达，它是长半径为 a ，扁率为 f 的椭圆绕其短轴旋转后形成的椭球面，其中， $f = \frac{a - b}{a}$ ， a 、 b 分别为椭球长半径和短半径，见图 1-3。参考椭球面可代替大地水准面作为测量计算的基准面。

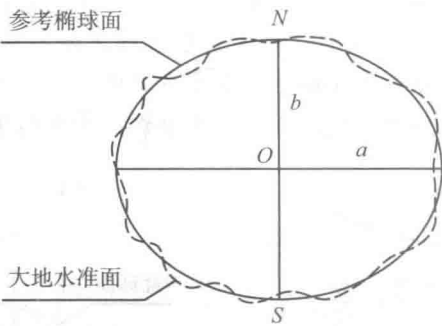


图 1-3 参考椭球体

不同的国家或地区，参考椭球的长半径 a 和扁率 f 有所不同，表 1-1 为几种有代表性的地球椭球参数。

表 1-1 地球椭球几何参数

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	推算年代与国家
白塞尔	1841	6377397.155	1/299.1528128	1841 年 德国

续表

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	推算年代与国家
克拉克	1880	6378249	1/293.459	1880年 英国
克拉索夫斯基	1940	6378245	1/298.3	1940年 前苏联
1980大地测量参考系统	1979	6378137	1/298.257	1979年 国际大地测量与地球物理联合会
WGS-84系统	1984	6378137	1/298.257223563	1984年 美国

由于参考椭球体的扁率很小，当测区面积不大或者测量精度要求不高时，在普通测量中可把地球近似地看做圆球体，其半径为：

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \approx 6371\text{km}$$

1.3 地面点位的确定

地面点的位置一般需要三个坐标量来表示。在空间直角坐标系中直接用 (X, Y, Z) 表示。在大地坐标系中用 (L, B, H) 表示；在平面直角坐标系中用 (x, y, H) 。前两个量为坐标，它表示地面点沿基准线投影到基准面上的位置。基准线可以是铅垂线，也可以是法线。基准面可以是参考椭球面、大地水准面或者水平面。第三个量是高程，表示地面点沿基准线到基准面的距离。

1.3.1 高程系统

地面点的高程，一般指的是地面点到某一高程基准面的铅垂距离。选用不同的高程基准面，可得到不同的高程系统。工程测量上常用的高程基准面有大地水准面、假定水准面和参考椭球面，其对应的高程为绝对高程、相对高程和大地高。

(1) 绝对高程

在一般测量工作中是以大地水准面作为高程基准面。地面点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用 H 表示。在图 1-4 中， H_A 、 H_B 为 A 、 B 点的绝对高程。

为了建立全国统一的高程系统，必须确定一个高程基准面。通常采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面，平均海水面的确定是通过验潮站长期验潮观测资料来求定的。我国取青岛验潮站验潮结果推算的黄海平均海面作为大地水准面，并在该验潮站附近的观象山建立了国家大地水准原点。我国曾采用青岛验潮站 1950—1956 年期间的验潮结果推算了黄海平均海面，建立了“1956 年黄海高程系”，由此起算的国家大地水准原点高程为 72.289m。后来又利用该站 1952—1979 年期间的验潮结果计算推算了新的黄海平均海面，称为“1985 国家高程基准”，重新推算出国家大地水准原点高程为 72.260m。我国自 1987 年开始启用“1985 国家高程基准”。