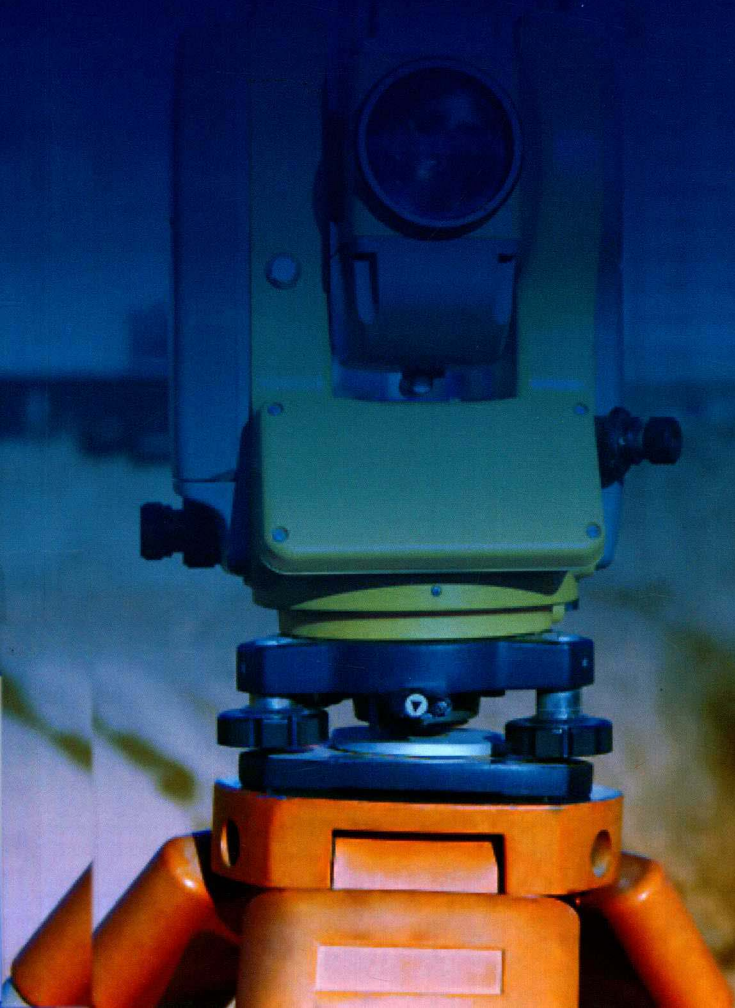


普通高等教育“十三五”规划教材

工程测量学

李章树 刘蒙蒙 赵立 主编

GONGCHENG
CELIANGXUE



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

工程测量学

李章树 刘蒙蒙 赵立 主编
孔令奇 高珊 陈学昊 李伯春 副主编

GONGCHENG
CELIANGXUE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据高等学校及大中专院校、职业技术学院土木大类专业的实际需要，结合工程测量规范、新技术编写的。主要内容有：高程测量、角度测量、距离测量、测量误差基本理论、全站仪及全球定位技术、小区域控制测量、大比例尺地形图测绘、地形图的应用、施工测量的基本工作、工业与民用建筑施工测量、道路工程测量、桥梁与隧道工程测量、变形监测。

本书可作为高等学校及大中专院校、职业技术学院土木工程、工程管理等土建类专业的教材，也可以作为成人大中专、技工学校土木专业及施工单位新职工、临时工的培训用书，还可供从事土木工程工作的管理人员、职工学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量学/李章树, 刘蒙蒙, 赵立主编. —北京:
化学工业出版社, 2019. 2
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-33509-8

I. ①工… II. ①李… ②刘… ③赵… III. ①工程测
量-高等学校-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 288424 号

责任编辑: 刘丽菲
责任校对: 杜杏然

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市双峰印刷装订有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 467 千字 2019 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

前言

Preface

随着科学技术的迅速发展,测绘技术的发展也是日新月异。为使教材紧密结合实际,也为了满足现场生产单位对人才知识和技能的要求,以西华大学土木学院为主组织人员编写了本教材。

本书在编写内容和要求上,以全面介绍土木测量为主,以现行有关规章、国家标准、行业标准为依据,按照“理论少而精,充分联系实际”的原则,及时将测量技术的发展和测量方法的更新纳入到教材之中,力求体现教材的科学性、系统性,使教材更加符合现代化、管理科学化和培养应用型人才的要求。通过本课程的课堂理论教学,再结合校内实训和现场生产实习,使学生熟悉测量设备,掌握测量工种的基本技能,学会运用规范处理测量工作的有关问题。

本书由李章树、刘蒙蒙、赵立主编,由孔令奇、高珊、陈学昊、李伯春副主编。编写具体分工如下:第2、3、4章由成都大学高珊编写;第5章由成都工业学院孔令奇编写;第8、9章由成都工业学院赵立编写;第10章由四川工商学院陈学昊编写;第11章由四川国际标榜职业学院李伯春编写;第12章由西华大学刘蒙蒙编写;第14章由成都纺织高等专科学校张璐编写;其他由李章树编写,曾全英、黄敬林、马思捷、段琳旎、杨云、张长福、张齐坤等也参与了本书的编写、整理工作。

在本书的编写过程中,参考了国内有关教材及参考书,得到了成都大学、成都工业学院、四川工商学院、四川国际标榜职业学院及成都纺织高等专科学校等有关单位的支持,同时本书得到西华大学教学师资支持计划的支持,在此表示感谢。与本书配套使用的《工程测量实验与实训》也同时出版。

由于编者水平有限,书中疏漏之处难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2018年11月

目录

Contents

第1章 绪论 1

1.1 ▶ 工程测量学简介	1
1.1.1 工程测量学概述及任务	1
1.1.2 测绘学的分类	1
1.2 ▶ 地面点位的表示方法	2
1.2.1 地球形状和大小	2
1.2.2 参考椭球体	3
1.2.3 测量坐标系	3
1.2.4 我国大地坐标系的建立	6
1.2.5 高程	6
1.3 ▶ 地球曲率对测量工作的影响	7
1.3.1 水准面曲率对水平距离的影响	7
1.3.2 水准面曲率对水平角的影响	8
1.3.3 水准面曲率对高差的影响	8
1.4 ▶ 测量工作概述	8
1.4.1 测量的基本工作	8
1.4.2 测量的基本原则	9
习题	9

第2章 高程测量 10

2.1 ▶ 高程测量概述	10
2.2 ▶ 水准测量的原理	11
2.3 ▶ 水准测量的仪器和工具	11
2.3.1 水准仪的基本构造	11
2.3.2 水准尺和尺垫	14

2.3.3	微倾式水准仪的使用	15
2.4	▶ 水准测量方法	17
2.4.1	水准路线的形式	17
2.4.2	水准测量的施测方法	17
2.4.3	观测成果处理	19
2.5	▶ 三、四等水准测量	21
2.5.1	观测方法	21
2.5.2	计算与检核	23
2.5.3	观测成果的处理	24
2.6	▶ 微倾式水准仪的检验和校正	24
2.6.1	微倾式水准仪的主要轴线及应满足的几何条件	24
2.6.2	水准仪的检验与校正	24
2.7	▶ 水准测量的误差及其消减方法	27
2.8	▶ 自动安平水准仪	29
2.8.1	自动安平原理	29
2.8.2	自动安平水准仪的使用	30
	习题	31

第3章 角度测量

33

3.1	▶ 角度测量原理	33
3.1.1	水平角测量原理	33
3.1.2	竖直角测量原理	34
3.2	▶ 光学经纬仪	34
3.2.1	DJ ₆ 光学经纬仪的基本构造	34
3.2.2	DJ ₂ 光学经纬仪的基本构造	37
3.3	▶ 光学经纬仪的安置和使用	39
3.3.1	经纬仪的对中和整平	39
3.3.2	照准目标	40
3.3.3	读数	40
3.3.4	合零	40
3.4	▶ 水平角测量	41
3.4.1	测回法	41
3.4.2	方向观测法（全圆测回法）	42
3.5	▶ 竖直角测量	44
3.5.1	竖盘装置	44

3.5.2	竖直角观测	45
3.5.3	竖直角计算	45
3.5.4	竖盘指标差	46
3.6	► 经纬仪的检验和校正	47
3.6.1	经纬仪应满足的主要条件	47
3.6.2	经纬仪的检验和校正	48
3.7	► 角度测量的误差分析	51
3.7.1	仪器误差	51
3.7.2	观测误差	53
3.7.3	外界条件的影响	54
3.7.4	角度测量的注意事项	54
3.8	► 电子经纬仪	55
3.8.1	电子经纬仪构造	55
3.8.2	电子经纬仪测角原理	55
	习题	58

第4章

距离测量

60

4.1	► 钢尺量距	60
4.1.1	直线定线	61
4.1.2	钢尺量距的一般方法	61
4.1.3	钢尺精密量距	62
4.1.4	钢尺量距的误差分析和注意事项	63
4.2	► 视距测量	64
4.2.1	视距测量原理	64
4.2.2	视距测量的观测、计算	66
4.2.3	视距测量误差与注意事项	66
4.3	► 光电测距	67
4.3.1	电磁波测距原理	67
4.3.2	红外测距仪及其使用	69
4.3.3	测距成果改正计算	69
4.3.4	测距仪的测距误差和标称精度	70
4.4	► 直线定向	70
4.4.1	三北方向	70
4.4.2	直线定向的基本方向	71
4.4.3	方位角与象限角	72
4.4.4	正、反坐标方位角	73

4.4.5 坐标方位角的推算	73
4.5 ▶ 用罗盘仪测定直线的磁方位角	74
4.5.1 罗盘仪	74
4.5.2 磁方位角测定的注意事项	75
习题	75

第 5 章

测量误差基本理论

77

5.1 ▶ 概述	77
5.1.1 测量误差产生的原因	77
5.1.2 测量误差的分类	78
5.2 ▶ 评定精度的指标	80
5.2.1 中误差	80
5.2.2 极限误差	81
5.2.3 相对误差	81
5.3 ▶ 误差传播定律	81
5.3.1 倍数函数	82
5.3.2 和差函数	82
5.3.3 一般线性函数	83
5.3.4 非线性函数	83
5.4 ▶ 算术平均值及其中误差	84
5.4.1 算术平均值	84
5.4.2 算术平均值的中误差	85
5.4.3 用改正数求中误差	85
5.5 ▶ 加权平均值及其中误差	87
5.5.1 权的概念	87
5.5.2 权与中误差的关系	87
5.5.3 加权平均值及其中误差	87
习题	88

第 6 章

全站仪及全球定位技术

89

6.1 ▶ 全站仪介绍	89
6.1.1 全站仪外观	89
6.1.2 辅助工具	89

6.1.3	全站仪的基本介绍	89
6.2	▶ 全站仪的基本操作与使用方法	93
6.2.1	全站仪的应用	93
6.2.2	全站仪的使用	93
6.2.3	全站仪基本测量模式具体使用介绍	93
6.3	▶ 全站仪程序测量	97
6.3.1	坐标放样测量	97
6.3.2	对边测量	99
6.3.3	悬高测量	99
6.4	▶ 全站仪观测误差	99
6.5	▶ 全站仪测距误差的检验	100
6.5.1	测距仪的检视	100
6.5.2	测距常数的测定	100
6.5.3	全站仪使用的注意事项与维护	101
6.6	▶ 全球定位系统 (GPS) 概述	102
6.6.1	GPS 系统的组成	103
6.6.2	GPS 卫星信号	103
6.6.3	GPS 坐标系统	104
6.7	▶ GPS 定位基本原理	104
6.7.1	测距码伪距测量与绝对定位	104
6.7.2	载波相位测量与相对定位	105
6.8	▶ GPS 测量外业实施及内业处理	106
6.8.1	GPS 控制网的布设形式	106
6.8.2	GPS 控制点选点要求	108
6.8.3	GPS 控制网的外业观测	108
习题		109

第 7 章

小区域控制测量

110

7.1	▶ 控制测量概述	110
7.1.1	平面控制测量	110
7.1.2	高程控制测量	113
7.1.3	控制测量的一般作业步骤	114
7.1.4	平面控制点坐标计算基础	115
7.2	▶ 导线测量	117
7.2.1	导线的布设形式	117

7.2.2	导线外业测量工作	117
7.2.3	导线测量的内业计算	118
7.2.4	以坐标为观测值的导线测量	120
7.3	▶ 控制点加密	121
7.3.1	前方交会	121
7.3.2	后方交会	122
7.3.3	测边交会	124
7.4	▶ 三角高程测量	125
7.4.1	三角高程测量的原理	125
7.4.2	三角高程测量的基本公式	126
	习题	127

第8章 大比例尺地形图测绘

130

8.1	▶ 地形图的基本知识	130
8.1.1	地形图的比例尺	130
8.1.2	比例尺精度	132
8.1.3	地形图符号	132
8.1.4	图廓及图廓外注记	134
8.1.5	地物和地貌在地形图上的表示方法	136
8.2	▶ 大比例尺地形图解析测绘方法	139
8.2.1	地形图的分幅与编号	139
8.2.2	大比例尺地形图的测绘工作	144
8.3	▶ 大比例尺数字化测图	152
8.3.1	数据采集	152
8.3.2	地形图要素分类和代码	153
8.3.3	地形图符号的自动绘制	154
8.3.4	数字地形图编辑和输出	154
8.4	▶ 地籍测量简介	154
8.4.1	地籍测量的任务和作用	155
8.4.2	地籍测量平面控制测量	155
8.4.3	地籍调查	156
8.4.4	地籍图测绘	156
8.4.5	识读地籍图示例	156
	习题	158

9.1 ▶ 地形图的基本应用	160
9.1.1 量取点的坐标	160
9.1.2 量测两点间的距离	161
9.1.3 量测直线的坐标方位角	161
9.1.4 确定地面点的高程和两点间的坡度	161
9.1.5 面积量算	161
9.2 ▶ 地形图在工程上的应用	162
9.2.1 绘制断面图	162
9.2.2 按限制坡度选线	162
9.2.3 确定汇水面积	163
9.2.4 根据等高线整理地面	163
9.2.5 体积计算	164
习题	166

10.1 ▶ 概述	168
10.1.1 施工测量概述	168
10.1.2 施工测量的精度	168
10.2 ▶ 施工控制测量	169
10.2.1 平面控制测量	169
10.2.2 高程控制测量	170
10.3 ▶ 施工测量的基本工作	170
10.3.1 测设已知水平距离	170
10.3.2 测设已知水平角	172
10.3.3 测设已知高程	173
10.4 ▶ 平面点位的测设方法	174
10.4.1 直角坐标法	174
10.4.2 极坐标法	175
10.4.3 角度交会法	175
10.4.4 距离交会法	176
10.4.5 全站仪坐标测设法	176
10.4.6 GPS 坐标测设法	176
10.5 ▶ 已知坡度线的测设	177
10.5.1 水平视线法	177

10.5.2 倾斜视线法	178
习题	178

第 11 章 工业与民用建筑施工测量 180

11.1 ▶ 概述	180
11.2 ▶ 施工控制测量	181
11.2.1 施工场地的平面控制测量	181
11.2.2 施工场地的高程控制测量	185
11.3 ▶ 民用建筑施工测量	186
11.3.1 施工测量前的准备工作	186
11.3.2 建筑物的定位和放线	188
11.3.3 建筑物的基础施工测量	190
11.3.4 墙体施工测量	191
11.4 ▶ 工业厂房施工测量	192
11.4.1 厂房矩形控制网的建立	192
11.4.2 厂房柱列轴线与柱基施工测量	192
11.4.3 厂房预制构件安装测量	193
11.4.4 烟囱、水塔施工测量	197
11.5 ▶ 高层建筑施工测量	198
11.5.1 外控法	198
11.5.2 内控法	200
11.6 ▶ 建筑竣工总平面图的编绘	201
11.6.1 编制竣工总平面图的目的	201
11.6.2 竣工测量	201
11.6.3 竣工总平面图的编绘	202
习题	203

第 12 章 道路工程测量 204

12.1 ▶ 概述	204
12.2 ▶ 铁路勘测设计阶段的测量工作	205
12.2.1 初测	205
12.2.2 定测	207

12.3	▶ 铁路线路施工测量	222
12.3.1	线路复测	222
12.3.2	护桩的设置	223
12.3.3	路基边坡放样	223
12.3.4	竖曲线测设	225
12.4	▶ 铁路线路竣工测量	226
12.5	▶ 公路工程测量	227
12.5.1	公路勘测设计阶段的测量工作	227
12.5.2	公路施工测量	228
	习题	229

第13章 桥梁与隧道工程测量

231

13.1	▶ 概述	231
13.2	▶ 桥梁施工控制测量	231
13.2.1	桥梁平面控制测量	232
13.2.2	桥梁高程控制测量	234
13.3	▶ 桥梁施工放样	235
13.3.1	桥梁墩、台定位放样	235
13.3.2	桥梁墩、台细部施工放样	238
13.3.3	桥梁架设施工测量	240
13.4	▶ 桥梁变形监测	240
13.5	▶ 隧道施工控制测量	241
13.5.1	隧道贯通误差估算	241
13.5.2	隧道洞外平面控制测量	244
13.5.3	隧道洞外高程控制测量	246
13.5.4	隧道洞内外联系测量	246
13.5.5	隧道高程联系测量	250
13.5.6	隧道洞内平面控制测量	250
13.5.7	隧道洞内高程控制测量	251
13.6	▶ 隧道施工测量与竣工测量	252
13.6.1	隧道平面掘进时的测量工作	252
13.6.2	隧道竖直面掘进方向的测量工作	254
13.6.3	隧道结构物的施工放样	255
13.6.4	竣工测量	255
	习题	255

14.1	▶ 变形监测的内容、目的和意义	257
14.1.1	变形监测的基本概念	257
14.1.2	变形监测的内容	257
14.1.3	变形监测的目的和意义	258
14.2	▶ 变形监测的特点和方法	259
14.2.1	变形监测的特点	259
14.2.2	变形监测的方法	261
14.3	▶ 建筑物的变形监测	263
14.3.1	变形监测网的布设	263
14.3.2	建筑物的沉降观测	264
14.3.3	倾斜观测	268
14.3.4	建筑物的水平位移观测	270
14.3.5	挠度观测	271
14.3.6	裂缝观测	271
14.4	▶ 变形分析与成果整理	272
14.4.1	变形分析概述	272
14.4.2	变形分析的一般过程	273
14.4.3	观测成果的整编	274
14.4.4	变形观测成果的分析	276
习题		276

绪论



本章学习重点



- 了解工程测量的任务及发展方向。
- 理解测量工作的基准面和地面点位确定的方法。
- 理解高斯平面直角坐标系，独立平面直角坐标系，高程坐标系，高差、测量定位元素。
- 了解地球曲率对高程测量、角度测量、距离测量的影响。

1.1 工程测量学简介

1.1.1 工程测量学概述及任务

工程测量学是一门结合工程建设研究测定地面点位的方法和理论的科学。具体就是在工程建设的各个阶段运用测绘学科的理论方法来解决相应问题的学科。工程测量广泛应用于水利、房建、管线、能源、交通等工程的勘测、设计、施工和管理各阶段，是土木从业人员必备的专业技能。

将地面现状用一定的方法表示出来，形成图形资料，作为工程设计用图。同样，将设计图上相关的建构筑物，通过在实地的定位和放样，在施工现场标定出图面建筑物的形状、大小和位置，作为施工的依据。所以，工程测量学的任务根据不同的实测对象和建设阶段的不同，可用测定和测设两个方面来加以概括。

① 测定——使用测量仪器和工具，通过测量和计算，将地物和地貌的位置按一定比例尺、规定符号缩小绘制成地形图。

② 测设——将地形图上设计的建筑物、构筑物的位置在实地标定出来，作为施工的依据。

1.1.2 测绘学的分类

测绘学在发展过程中形成大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学、海洋测绘学等分支学科。

① 大地测量学。大地测量学是研究和确定地球的形状、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的变化和技术的学科。大地测量学是测绘学各分支学科的理论基础,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,为地形测图提供控制基础,为各类工程施工提供测量依据,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 摄影测量与遥感学。采用摄影方法或电磁波成像的方法获得地表形态的信息,然后根据摄影测量的理论和方法,将获得的地表形态信息以模拟的或解析的方式进行处理,使之转变为各种比例尺的地形原图或形成地理数据库。

③ 地图制图学。地图制图学是研究地图及其编制和应用的学科。地图制图学由理论部分、制图方法和地图应用三部分组成。地图是测绘工作的重要产品形式。计算机制图技术和地图数据库的发展,促使地理信息系统(GIS)产生。

④ 工程测量学。工程测量学是研究在工程建设和自然资源开发各个阶段所进行的各种测量工作的理论和技术的学科。它是测绘学在国民经济建设和国防建设中的直接应用,包括规划设计阶段的测量、施工阶段的测量和运营管理阶段的测量等。主要内容有:工程控制网建立,大比例尺地形测绘,施工放样,设备安装测量,竣工测量,变形监测和维修养护测量等的理论、技术与方法。

⑤ 海洋测绘学。海洋测绘学是以海洋水体和海底为对象,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、海洋环境等自然和社会信息的地理分布,及编制各种海图的理论和技术的学科。

1.2 地面点位的表示方法

为了确定地球表面点的位置,需要有确定地球表面点位置的基准以及表示地球表面点位置的方法。确定地球表面点位置的基准与地球的形状和大小有关,而表示地球表面点的位置需建立坐标系。

1.2.1 地球形状和大小

地球的自然表面极不规则,有高山、丘陵、平原、河流、湖泊和海洋。世界第一高峰珠穆朗玛峰高达8844.43m,而位于太平洋西部的马里亚纳海沟深达11034m。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。地球形状是极其复杂的,通过长期的测绘工作和科学调查,了解到地球表面上海洋面积约占71%,陆地面积约占29%,因此,测量中把地球形状看作是由静止的海水面向陆地延伸并围绕整个地球所形成的某种形状。

地球表面任一点,都同时受到地球自转产生的惯性离心力和整个地球质量产生的引力的作用,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(图1-1)。重力的作用线又称为铅垂线,用细绳悬挂一个垂球,其静止时所指示的方向即为铅垂线方向。

处于静止状态的水面称为水准面。由物理学知道,这个面是一个重力等位面,水准面上处处与重力方向(铅垂线方向)垂直。在地球表面重力的作用空间,通过任何高度的点都有一个水准面,因而水准面有无数个。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重力等位面称为大地水准面。

大地水准面和重力铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。

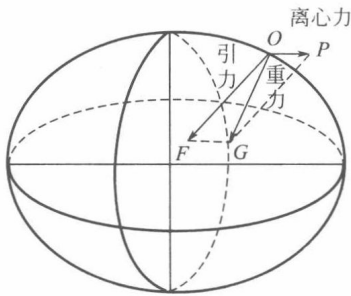


图 1-1 引力、离心力和重力

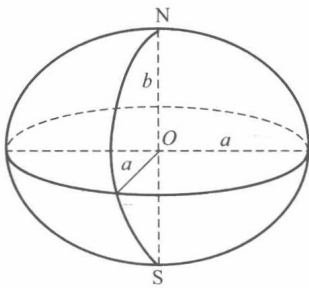


图 1-2 旋转椭球体

1.2.2 参考椭球体

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，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。经过长期测量实践研究表明，地球形状极近似于一个两极稍扁的旋转椭球，即一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体。旋转椭球面可以用数学公式准确地表达。因此，在测量工作中用这样一个规则的曲面代替大地水准面作为测量计算的基准面（图 1-2）。

代表地球形状和大小的旋转椭球，称为“地球椭球”。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球；与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球，其椭球面称为参考椭球面。由此可见，参考椭球有许多个，而总地球椭球只有一个。

在几何大地测量中，椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 f 来表示。

$$f = \frac{a - b}{a}$$

表 1-1 为与我国大地坐标基准有关的几个地球参考椭球体的参数值。

表 1-1 地球参考椭球体几何参数

椭球名称	年代	长半轴 a/m	扁率 f	附注
克拉索夫斯基	1940	6378245	1 : 298.3	苏联
1975 大地测量参考系统	1975	6378140	1 : 298.257	IUGG 第 16 届大会推荐值
1980 大地测量参考系统	1979	6378137	1 : 298.257	IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS - 84	1984	6378137	1 : 298.257223563	美国国防部制图局(DMA)

注：IUGG—国际大地测量与地球物理联合会（International Union of Geodesy and Geophysics）。

由于地球椭球的扁率很小，当测区面积不大时，在普通测量中可把地球近似地看作圆球体，其半径为

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \approx 6371(\text{km})$$

1.2.3 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置，需要建立坐标系。一个点在空间的位置，需要三个坐标量来表示。

在一般测量工作中，常将地面点的空间位置用平面位置（大地经纬度或高斯平面直角坐