

测量学

主 编 臧立娟 王凤艳

副主编 王明常 贾俊乾 于小平



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

测量学

主 编 臧立娟 王凤艳

副主编 王明常 贾俊乾 于小平



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

测量学/臧立娟,王凤艳主编. —武汉:武汉大学出版社,2018.1
ISBN 978-7-307-19903-3

I. 测… II. ①臧… ②王… III. 测量学—教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 307910 号

责任编辑:鲍 玲 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

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:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:531千字 插页:1

版次:2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-19903-3 定价:45.00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

本书由吉林大学地球探测科学与技术学院测绘工程系教师编写，目的在于满足吉林大学地学部非测绘专业本科生测量学教学需求，也希望能够为其他读者提供必要的参考。

本书的编写缘起于吉林大学 2015 版培养方案修编，根据地学部各学院要求，测量学教学过程中不仅要注重理论基础，而且要强调工程技术应用，不同学科教学要有针对性。

教材共 15 章，第 1~第 5 章、第 6 章 6.1 节~6.5 节、第 7 章由臧立娟副教授编写；第 8~第 12 章由王凤艳教授编写，其中，第 10 章 10.4 节中 RTK 物化探测实例由于小平老师编写；第 13 章由贾俊乾副教授编写；第 6 章 6.6 节、第 14~第 15 章由王明常教授、王民水老师编写；全书插图由于小平老师绘制。

本书配套教材《测量学实验、实习指导书》，根据吉林大学地学部实验、实习基地具体情况编写，后期出版。

该教材由吉林大学教学研究经费资助出版！

书中疏漏与不足之处在所难免，欢迎各位专家和读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 测量学简介	1
1.2 地球的形状与大小	1
1.2.1 大地体	1
1.2.2 椭球体	2
1.2.3 球体	4
1.3 测绘参考系	4
1.3.1 坐标参考系	4
1.3.2 高程参考系	9
1.3.3 坐标转换	10
1.4 用水平面代替水准面的限度	11
1.4.1 地球曲率对水平角测量的影响	11
1.4.2 地球曲率对距离测量的影响	12
1.4.3 地球曲率对高差测量的影响	13
1.5 测量工作程序	13
1.5.1 测量工作原则	13
1.5.2 控制测量	13
1.5.3 细部测量	14
复习思考题	15
第2章 角度测量	16
2.1 角度测量原理	16
2.1.1 水平角测量原理	16
2.1.2 竖直角测量原理	17
2.2 电子经纬仪	18
2.2.1 电子经纬仪的轴系结构与主要组成部件	18
2.2.2 电子经纬仪配套使用的工具	23
2.2.3 电子经纬仪的功能与使用	24
2.3 角度测量	26
2.3.1 水平角测量	26
2.3.2 垂直角测量	28

2.4 角度测量误差分析..... 32

2.4.1 仪器误差..... 32

2.4.2 观测误差..... 35

2.4.3 外界环境影响..... 36

2.5 电子经纬仪的检验与校正..... 37

2.5.1 水准器的检验与校正..... 37

2.5.2 十字丝分划板的检验与校正..... 37

2.5.3 视准轴的检验与校正..... 37

2.5.4 竖盘指标差的检验与校正..... 38

2.5.5 对中器的检验与校正..... 38

2.5.6 横轴的检验与校正..... 39

复习思考题..... 40

第3章 距离测量..... 42

3.1 钢尺量距..... 42

3.1.1 钢尺..... 42

3.1.2 钢尺量距..... 43

3.1.3 钢尺量距误差分析..... 45

3.2 视距测量..... 46

3.2.1 视距测量原理..... 46

3.2.2 视距测量误差分析..... 47

3.3 电磁波测距..... 47

3.3.1 电磁波测距原理..... 47

3.3.2 全站仪..... 48

3.3.3 电磁波测距..... 54

3.3.4 电磁波测距改正与归算..... 54

3.3.5 电磁波测距误差分析..... 56

3.3.6 电磁波测距仪的检验与校正..... 57

复习思考题..... 59

第4章 高差测量..... 60

4.1 水准测量原理..... 60

4.2 水准仪..... 61

4.2.1 自动安平水准仪..... 61

4.2.2 电子水准仪..... 64

4.3 水准测量..... 70

4.3.1 单站水准测量..... 70

4.3.2 连续水准测量..... 71

4.3.3 面水准测量	71
4.4 水准测量误差分析	72
4.4.1 水准仪与水准尺的误差	72
4.4.2 观测误差	73
4.4.3 外界环境影响	73
4.5 水准仪的检验与校正	74
4.5.1 圆水准器轴检验校正	74
4.5.2 十字丝横丝检验校正	74
4.5.3 自动安平补偿器的检查	74
4.6 三角高程测量	75
4.6.1 三角高程测量原理	75
4.6.2 三角高程测量误差分析	75
复习思考题	77
第5章 测量误差基础知识	78
5.1 测量误差	78
5.1.1 测量误差来源	78
5.1.2 测量误差分类	79
5.1.3 测量误差处理	79
5.2 偶然误差特性	80
5.2.1 偶然误差分布的统计规律性	80
5.2.2 偶然误差分布的数量特征	81
5.3 测量精度评定指标	82
5.3.1 中误差	82
5.3.2 相对中误差	83
5.3.3 极限误差	83
5.4 偶然误差传播律	83
5.4.1 倍数函数的中误差	84
5.4.2 和或差函数的中误差	84
5.4.3 线性函数的中误差	85
5.4.4 一般函数的中误差	86
5.5 观测值的最可靠值及其中误差	88
5.5.1 等精度观测值的最可靠值及其中误差	88
5.5.2 不等精度观测值的最可靠值及其中误差	89
5.6 用改正数计算观测值中误差	91
5.6.1 改正数	91
5.6.2 用改正数计算等精度观测值的中误差	91
5.6.3 用改正数计算不等精度观测值的中误差	93

5.7 测量平差准则——最小二乘原理	93
复习思考题	94
第6章 小区域控制测量	96
6.1 概述	96
6.1.1 控制测量方法	96
6.1.2 国家控制测量	97
6.1.3 小区域控制测量	98
6.1.4 控制测量数据处理	99
6.2 直线定向	99
6.2.1 标准方向	99
6.2.2 方位角	100
6.2.3 象限角	100
6.2.4 坐标正、反算	101
6.3 导线测量	102
6.3.1 导线测量外业	102
6.3.2 导线测量内业	105
6.4 交会测量	110
6.4.1 角度交会测量	110
6.4.2 边长交会测量	112
6.4.3 边角交会测量	113
6.4.4 方向交会测量	114
6.5 三、四等水准测量	116
6.5.1 三、四等水准测量外业	116
6.5.2 三、四等水准测量内业	119
6.6 全球导航卫星系统(GNSS)	122
6.6.1 GNSS 简介	122
6.6.2 GPS 系统构成及定位原理	122
6.6.3 GPS 网的设计要求	127
6.6.4 GPS 基线向量与高程平差	129
6.6.5 GPS 实时动态(RTK)测量	130
6.6.6 RTK 技术应用	131
复习思考题	132
第7章 地形图测绘及应用	136
7.1 地形图基础知识	136
7.1.1 地形图	136
7.1.2 地形图比例尺	138

7.1.3 地形图图式	139
7.1.4 地形图分幅及编号	145
7.2 地形图测绘	149
7.2.1 图根控制测量	149
7.2.2 细部测量	151
7.2.3 数字化测图	154
7.2.4 地形图编绘	160
7.3 地形图应用	161
7.3.1 地形图识读	161
7.3.2 地形图上量测	164
7.3.3 地形图上设计	166
7.3.4 地形图野外应用	171
复习思考题	172
第8章 施工测量的基本工作	173
8.1 施工测量概述	173
8.2 角度放样	174
8.2.1 直接法放样角度	174
8.2.2 归化法放样角度	174
8.3 距离放样	175
8.3.1 直接法放样距离	175
8.3.2 归化法放样距离	175
8.4 平面点位放样	175
8.4.1 极坐标法	175
8.4.2 直角坐标法	176
8.4.3 方向线交会法	177
8.4.4 角度交会法	177
8.4.5 距离交会法	178
8.4.6 坐标测量法	179
8.5 高程放样	180
8.5.1 水准测量法	180
8.5.2 不量高全站仪垂距测量法高程放样	182
8.6 直线放样	182
8.6.1 平面直线放样	182
8.6.2 铅垂线放样	182
8.6.3 坡度线放样	183
8.7 曲线放样	184
8.7.1 单圆曲线放样	185

8.7.2 有缓和曲线的圆曲线放样	188
8.7.3 复曲线放样	192
8.7.4 竖曲线放样	193
复习思考题	194
第9章 地质勘探工程测量	196
9.1 地质勘探工程测量概述和任务	196
9.1.1 地质勘探工程测量概述	196
9.1.2 地质勘探工程测量任务	196
9.2 大比例尺地质填图测量	198
9.2.1 地质观察路线	198
9.2.2 地质点及其测量	198
9.2.3 矿体及岩层界线的圈定	199
9.3 勘探网的布设	199
9.3.1 勘探网的设计	200
9.3.2 勘探网的测设	200
9.4 勘探工程的布设	202
9.4.1 钻孔测量	202
9.4.2 探槽、探井、取样钻孔的布设	203
9.5 勘探线剖面测量	203
9.5.1 剖面起始点和剖面线的测设	204
9.5.2 剖面点、测站点和剖面控制点的测量	205
9.5.3 剖面图的绘制	206
复习思考题	207
第10章 物化探工程测量	208
10.1 物化探工程测量概述和任务	208
10.1.1 物化探工程测量概述	208
10.1.2 物化探测量的任务	209
10.2 物化探测网的设计与施测	210
10.2.1 物化探测网的设计	210
10.2.2 物化探测网的施测	212
10.3 野外质量检查、精度评定及资料的整理和验收	214
10.3.1 质量检查和精度评定	214
10.3.2 资料的整理、验收与工作报告的编写	215
10.4 RTK 物化探测量	216
10.4.1 原理与方法	217
10.4.2 质量检查与精度分析	219

10.4.3 RTK 物化探测量实例	219
10.5 利用地形图或影像布设物化探测网	221
10.5.1 利用地形图布设物化探测网	221
10.5.2 利用正射影像布设物化探测网	222
复习思考题	223
第 11 章 建筑工程测量	224
11.1 建筑工程测量概述	224
11.2 场地平整测量	225
11.3 施工控制测量	228
11.4 工业与民用建筑施工测量	230
11.4.1 民用建筑施工测量	230
11.4.2 工业建筑施工测量	236
11.5 管道施工测量	238
11.5.1 地下管道的施工测量	238
11.5.2 架空管道施工测量	241
11.6 竣工总平面图的编绘	242
11.7 建筑物沉降观测	243
11.7.1 沉降观测精度的确定	243
11.7.2 沉降观测系统的布置	244
11.7.3 沉降观测的实施	244
11.7.4 沉降观测的数据处理	245
11.7.5 沉降观测的成果表达与分析	245
复习思考题	247
第 12 章 道路工程测量	249
12.1 道路工程测量概述	249
12.2 道路勘测阶段的测量工作	250
12.2.1 初测	250
12.2.2 定测	251
12.3 道路施工测量	254
12.4 道路竣工测量	257
12.5 桥隧施工测量	258
12.5.1 桥梁施工测量	258
12.5.2 隧道施工测量	260
复习思考题	268

第 13 章 地籍测量	269
13.1 地籍调查概述	269
13.1.1 地籍及相关概念	269
13.1.2 地籍调查的分类	269
13.1.3 地籍调查的基本内容	270
13.2 权属调查	271
13.2.1 权属调查的概述	271
13.2.2 地籍区、地籍子区与调查单元的划分	271
13.2.3 地籍编号的基本原则和方法	274
13.2.4 权属调查的基本过程	275
13.3 地籍控制测量	280
13.3.1 地籍控制网基本要求	280
13.3.2 首级地籍控制网的布设	281
13.3.3 加密控制网的布设	281
13.3.4 地籍图根控制网的布设	281
13.3.5 控制网的施测	283
13.4 地籍碎部测量及地籍图测绘	284
13.4.1 界址点测量方法	284
13.4.2 界址点的外业施测	287
13.4.3 地籍图测绘	288
13.5 面积的量算与汇总	289
13.5.1 地籍数据的面积量算	289
13.5.2 地籍数据的面积汇总	290
13.6 地籍数据入库	290
13.6.1 数据库建设流程	291
13.6.2 属性数据的采集与处理	291
13.6.3 图形数据的采集与处理	293
13.6.4 数据库成果	293
复习思考题	293
第 14 章 地理信息系统技术及其在地学中的应用	295
14.1 地理信息系统技术简介	295
14.2 地理信息系统数据组织	296
14.2.1 矢量数据	297
14.2.2 栅格数据	299
14.3 常用地理信息系统软件简介	302
14.3.1 国外 GIS 软件	302
14.3.2 国内 GIS 软件	304

14.4 地理信息系统技术应用	306
14.4.1 GIS 技术在城乡规划中的应用	306
14.4.2 GIS 技术在农业中的应用	307
14.4.3 GIS 技术在林业中的应用	307
14.4.4 GIS 技术在土地资源管理中的应用	308
14.4.5 GIS 技术在环境资源分析中的应用	309
14.4.6 GIS 技术在灾害预警中的应用	310
14.4.7 社会宏观决策支持	311
复习思考题	311
第 15 章 遥感技术及其在地学中的应用	312
15.1 遥感技术简介	312
15.1.1 遥感概念	312
15.1.2 传感器类型	312
15.1.3 遥感数据的分辨率	313
15.1.4 遥感数据的选择	313
15.1.5 遥感在资源环境探测方面的应用	313
15.2 遥感图像处理	314
15.2.1 遥感图像增强方法	314
15.2.2 遥感图像处理流程	315
15.3 遥感影像解译标志	317
15.4 遥感图像地质解译	320
15.4.1 遥感影像地层岩性解译	320
15.4.2 遥感岩浆岩解译	330
15.4.3 遥感构造解译	334
15.5 遥感蚀变信息提取	336
15.5.1 研究区位置	336
15.5.2 遥感图像处理	337
15.5.3 蚀变信息提取	339
复习思考题	341
参考文献	343

第1章 绪论

1.1 测量学简介

作为地球科学的分支，测绘科学与技术已经形成独立的一级学科，广泛应用于国民经济建设、国防建设以及科学研究等领域。测绘科学与技术是关于地理空间分布信息的采集、处理、管理、表达、更新及利用的科学与技术的总和，包括大地测量学、摄影测量与遥感学、地图制图学、工程测量学及海洋测绘学等多个分支学科，每个分支学科沿着各自领域深入发展，形成相关测绘理论与应用技术。

测量学研究测绘科学与技术的基础理论和基本技术。基础理论涉及测绘工作基准及参考系的建立、基本几何量(角度、距离、高差等)的测量原理、测绘仪器的工作原理与使用、测量误差基本理论、控制网建立及数据处理、地形图测绘及应用。基本技术是基础理论长期应用于工程实践所形成的工程测量技术和方法，本教材结合地学领域应用需要，分别对地质勘探工程测量、物化探工程测量、建筑工程测量、道路工程测量及地籍测量进行介绍。

随着空间技术与信息科学的发展，全球定位导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)、遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的集成已成为现代测绘技术核心，多源信息获取的自动化、空间数据处理智能化、三维信息表达的真实化、动态信息更新的实时化、地理信息共享的产业化将成为测绘工作突出的行业特征，广泛服务于国民经济发展和各种工程建设。本教材对 GNSS、RS、GIS 技术应用进行简单地介绍。

1.2 地球的形状与大小

测量工作基于地球表面进行，测量成果与地球的形状、大小等几何特征有直接关系。

1.2.1 大地体

地球表面约 71% 的面积是海洋，29% 的面积为陆地。如图 1-1 所示，海水受重力 G (地球引力 F_1 与离心力 F_2 的合力)作用形成的表面称为水准面(重力等位面)，由于水准面有潮汐现象，设想一个静止的平均海水面，延伸穿过陆地包围整个地球形成的封闭曲面，称为大地水准面(虚线所示)，大地水准面包围的球体称为“大地体”。过大地水准面

上任一点的重力作用线称为铅垂线，铅垂线处处与大地水准面垂直。由于地球表面高低起伏及地球内部质量分布不均匀，铅垂线方向变化复杂，这就决定了大地水准面是一个有微小起伏的不规则曲面。

测绘仪器工作原理是以大地水准面为基准面，以铅垂线为基准线，外业观测的数据是将地球自然表面上的点沿铅垂线方向投影到大地水准面上的数据。但是，由于大地水准面是不规则的曲面，外业观测数据无法应用数学公式进行处理，需要建立一个与大地水准面非常接近的规则几何面，作为测量工作内业数据处理的基准面。

1.2.2 椭球体

1. 地球椭球体

长期测量实践表明，地球形状近似于两极略扁的旋转椭球，所以，在测绘工作中，如图 1-2 所示，把以地球自转轴 NS 为短轴，赤道直径 WE 为长轴的椭圆绕自转轴旋转形成旋转椭球体称为地球椭球体。地球椭球体的表面是规则的旋转椭球面，称为地球椭球面，地球椭球面是能够用数学描述的规则几何面。过地球椭球面上任一点垂直于椭球面的线称为法线，将大地水准面上的外业观测数据沿法线方向投影到地球椭球面上进行数据处理，实际工作中，把地球椭球面和法线作为测量数据内业处理的基准面和基准线。

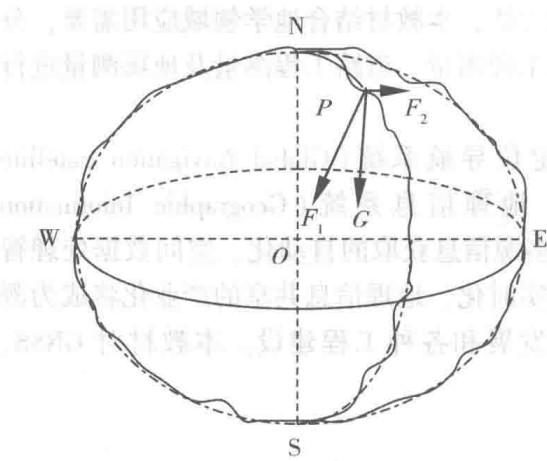


图 1-1 大地体

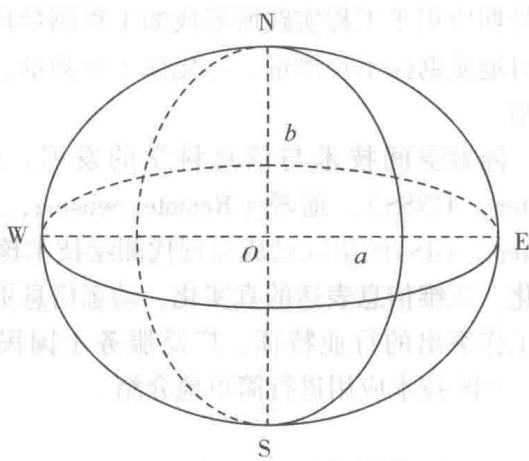


图 1-2 椭球体

2. 参考椭球体

总体上与大地体最接近的地球椭球体称为总地球椭球体，但是总地球椭球面不会在任何位置都与大地水准面吻合得好，为了提高外业观测数据投影在地球椭球面上的精度，不同国家根据所处的地理位置，分别建立最适合自己的国家的地球椭球体，称为参考椭球体，参考椭球体的表面称为参考椭球面。即使在自己国家区域内，任何参考椭球面都不会在所有点与大地水准面重合，而是整体上比较吻合。我国采用的参考椭球及参数见表 1-1。

表 1-1 我国采用的参考椭球几何参数

椭球名称	椭球参数		坐标系
	长半轴 a	扁率 e	
克拉索夫(斯基)椭球 (苏联 1940 年)	6378245m	1/298.3	1954 北京坐标系
IUGG75 椭球 (国际大地测量与地球物理联合会 1975 年)	6378140m	1/298.257	1980 西安坐标系
CGCS2000 椭球 (中国以 ITRF 97 参考框架为基准 2008 年)	6378137m	1/298.257	2000 国家大地坐标系

参考椭球的大小(长半轴 a 、短半轴 b)、形状(扁率 e)都有所不同, 其中

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

(1-1)

3. 参考椭球体定位

只有参考椭球体与实际的大地体有确定的位置关系, 才能将大地水准面上观测数据投影到参考椭球面上进行处理, 确定参考椭球体与大地体的相对位置关系称为参考椭球体定位。参考椭球体定位方法: 如图 1-3 所示, 在一个国家的合适位置确定一点 P , 令通过这个点的法线与铅垂线重合, 参考椭球面与大地水准面相切, 而且参考椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量小, 这点称为“大地原点”, 通过大地原点, 确定参考椭球面与大地水准面的位置关系。不同的国家根据自己国家实际情况确定大地原点。

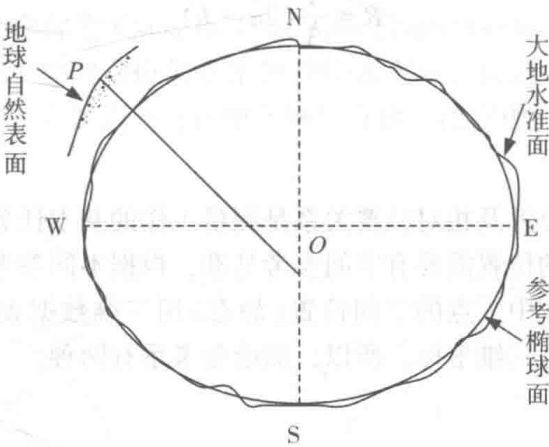


图 1-3 参考椭球体定位

中华人民共和国大地原点坐落在陕西省泾阳县永乐镇, 地理坐标为(34°32′27.00″N, 108°55′25.00″E), 大地原点的海拔为 417.20 米, 距我国陆地边界正北约 880 千米, 东北约 2500 千米, 正东约 1000 千米, 正南约 1750 千米, 西南约 2250 千米, 正西约 2930 千米, 西北约 2500 千米, 大致位于我国大陆领土的中心。中华人民共和国大地原点是中国的法定大地坐标中心, 经过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,我国依此原点建立了1980西安坐标系,逐渐取代1954北京坐标系(大地原点位于苏联普尔科沃)。图1-4为我国大地原点建筑外观及具体标志。



图1-4 我国大地原点建筑外观及点位标志

在领土面积比较大的国家,若有足够的天文测量和重力测量数据,可以采用多点定位法,多点定位使在大地原点处椭球的法线不再与铅垂线重合,椭球面与大地水准面不再相切,但是在全国范围内,椭球面与大地水准面有最佳的密合。关于多点定位可以参考大地测量的有关书籍。

1.2.3 球体

在测区面积比较小时,可以把地球当做球体,其半径可用下式计算:

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \quad (1-2)$$

1.3 测绘参考系

确定地面点的空间位置及相对位置关系是测量工作的基本任务,那么如何描述或表达地面点的位置?描述点的位置需要有空间参考基准,根据不同参考基准,地面点位置的表达方式不同。在测量工作中,点的空间位置(静态)用三维数据表达,一种方式为二维坐标与高程,另一种方式为三维坐标,所以,测绘参考系有两种,一种为坐标参考系,一种为高程参考系。

1.3.1 坐标参考系

(一)地理坐标系

地理坐标系为球面坐标系,点与点之间的相对位置关系表现为球面关系,地理坐标系根据基准面和基准线的不同分为大地坐标系和天文坐标系,以参考椭球面为基准面,以法线为基准线建立的地理坐标系为大地坐标系,以大地水准面为基准面,以铅垂线为基准线建立的地理坐标系为天文坐标系。下面以大地坐标系为例介绍地理坐标系。