

高等院校园林专业系列教材

园 林 工 程 测 量

主 编 张远智
副主编 刘冬兰 周春发 李秀江
参 编 柳瑞武 张丽平
主 审 陈学平

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

园林工程测量 /张远智主编. —北京:中国建材工业出版社, 2005.4

(高等院校园林专业系列教材)

ISBN 7-80159-818-0

I. 园 ... II. 张 ... III. 园林—工程测量—高等学校—教材 IV. TU986.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 015963 号

园林工程测量

主编 张远智

出版发行: **中国建材工业出版社**

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 21

插 页: 4

字 数: 523 千字

版 次: 2005 年 5 月第 1 版

印 次: 2005 年 5 月第 1 次

定 价: 32.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906



在从事园林专业测量学教学的过程中,我们常常感到缺乏一本适合本专业的测量学教材,长期以来,有这样两个问题困扰着我们:一是如何将测量学的理论和实践与园林工程建设结合得更紧密,使测量技术更好地服务于园林工程的建设;二是如何在教学中体现出园林工程测量工作的整体性和可操作性?基于这样的思考,我们深入园林工程施工现场进行调研,和现场施工技术人员进行探讨,并结合近年来测绘新技术、新方法和新设备,不断地改进课堂教学。在参考了众多同行专家论著的基础上,最后形成了本教材。

本教材编写中,我们始终注重以下几个方面,并使之成为本教材的主要特点:

1. 体现园林工程测量工作的整体性。由于园林工程包含有土建、绿化、市政管道等多个分项工程,其实施往往也是由不同的施工单位独立完成,因此,保持测量工作的整体性,统一控制坐标系统非常重要。

2. 园林工程测量论述体现可操作性。通过实例说明园林工程测量的具体过程、方法和步骤,有很强的借鉴性。

3. 紧密结合园林工程实际。由于园林工程测量是园林工程中的一项专业工作,因此,适当地叙述了一些与测量相关的工作步骤。

4. 适当结合新技术。对于与园林工程相关的一些测绘新仪器、新技术和新方法作了相应的介绍,以便于学生今后更快、更好地应用这些新技术。

参加本教材编写的人员有:张远智[第1章、第6章、第10章、第11章、第12章(除第4节)、第4章第6节、第8章第5节、附录第一部分及第二部分中的一部分]、刘冬兰(第2章、第3章及附录第二部分中的一部分及第三部分)、周春发(第5章、第9章)、李秀江[第7章、第8章(除第5节)]、柳瑞武[第4章(除第6节)]、张丽平(第12章第4节)。最后由张远智对全书进行了统稿,并对第7章、第8章的所有插图进行了绘制。

本书承蒙北京林业大学资源与环境学院陈学平教授审阅,在逐字逐句地审阅过程中,陈老师提出了不少意见和改进建议,特此致谢!

建设部城市建设研究院风景园林研究所为本书提供了工程设计实例,在此对王磐岩所长及其他设计人员表示衷心的感谢!

北京盛典园林绿化工程监理有限公司常广新总监对本书的工程实例进行了施工指导并对与园林工程测量相关的最后三章进行了审阅,并提出了中肯的建议,特此致谢!

徕卡(Leica Geosystems)北京办事处胡广洋先生提供了有关徕卡仪器的资料,特此致谢!

最后,由衷地感谢本书的责任编辑佟令玫女士,她的认真仔细和卓有成效的工作,令人感动至深。

由于我们水平有限,书中一定有不少缺点和错误,谨请读者批评指正。来信请寄:北京林业大学资源与环境学院张远智收,邮政编码 100083,不胜感谢!

编者

2005年1月于北京

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 测绘学及其在园林工程中的作用	1
1.1.1 测绘学的定义、分科及应用.....	1
1.1.2 测绘学在园林工程中的作用	2
1.2 测绘学的发展概况	2
1.3 地球与地球椭球	4
1.4 坐标系统	6
1.4.1 地理坐标系	7
1.4.2 空间直角坐标系	8
1.4.3 高斯平面直角坐标	9
1.4.4 独立平面直角坐标系.....	11
1.4.5 高程坐标系.....	11
1.5 用水平面代替水准面的限度.....	12
1.5.1 距离误差.....	13
1.5.2 角度误差.....	13
1.5.3 高程误差.....	14
1.6 测量工作的基本概念与内容.....	15
1.6.1 测量工作的原则.....	15
1.6.2 控制测量.....	15
1.6.3 地形图测绘.....	16
1.6.4 施工测量.....	17
1.6.5 基本观测量.....	17
习题	17
第 2 章 水准测量	19
2.1 水准测量的原理.....	19
2.2 水准仪与水准测量的工具.....	20
2.2.1 微倾水准仪的构造.....	20
2.2.2 自动安平水准仪的构造.....	22
2.2.3 激光水准仪构造简介.....	24
2.2.4 数字水准仪构造简介.....	25
2.2.5 水准尺和尺垫.....	25

2.3	水准仪的使用.....	27
2.3.1	微倾水准仪的使用.....	27
2.3.2	自动安平水准仪的使用.....	29
2.4	水准测量施测.....	29
2.4.1	水准点.....	29
2.4.2	水准测量施测方法.....	30
2.5	水准测量的校核、平差方法与精度要求.....	32
2.5.1	测站校核.....	32
2.5.2	路线成果校核.....	33
2.6	光学水准仪的检验与校正.....	36
2.6.1	光学水准仪构造应满足的主要条件.....	36
2.6.2	微倾水准仪的检验与校正.....	36
2.6.3	自动安平水准仪的检验与校正.....	39
2.7	水准测量误差的分析.....	40
2.7.1	仪器与水准尺的误差.....	40
2.7.2	观测误差.....	40
2.7.3	外界条件的影响.....	41
	习题.....	42
	第3章 角度测量	44
3.1	角度测量原理.....	44
3.1.1	水平角测量原理.....	44
3.1.2	竖角测量原理.....	44
3.2	经纬仪的种类.....	45
3.3	光学经纬仪的构造与读数.....	45
3.3.1	DJ ₆ 级光学经纬仪.....	45
3.3.2	DJ ₂ 级光学经纬仪.....	48
3.4	电子经纬仪的测角系统与构造.....	49
3.4.1	电子经纬仪测角系统.....	49
3.4.2	电子经纬仪的构造.....	51
3.5	经纬仪的使用.....	52
3.5.1	安置仪器.....	52
3.5.2	对中与整平.....	52
3.5.3	瞄准.....	54
3.5.4	读数.....	54
3.6	水平角的观测.....	54
3.6.1	DJ ₆ 经纬仪测角方法.....	55
3.6.2	ET-02型电子经纬仪测角方法.....	57
3.7	竖角观测方法.....	58

3.7.1	竖盘构造.....	58
3.7.2	竖角观测方法.....	58
3.7.3	J_6 级光学经纬仪竖盘指标自动归零的补偿装置	61
3.8	经纬仪的检验与校正.....	61
3.8.1	经纬仪构造应满足的主要条件.....	61
3.8.2	水准管轴 LL 应垂直于竖轴 VV 的检验与校正.....	62
3.8.3	圆水准器轴 $L'L'$ 应平行于竖轴 VV 的检验与校正	62
3.8.4	十字丝竖丝是否垂直于横轴的检验与校正.....	62
3.8.5	视准轴 CC 应垂直于横轴 HH 的检验与校正.....	63
3.8.6	竖盘指标差的检验与校正.....	64
3.8.7	光学对中器的检验与校正.....	64
3.8.8	电子经纬仪的检验与校正.....	65
3.9	角度测量误差分析及注意事项.....	65
3.9.1	仪器误差及削减.....	65
3.9.2	人为操作误差及削减.....	67
3.9.3	外界条件影响.....	69
	习题	69
第 4 章 距离丈量与直线定向		71
4.1	钢尺量距.....	71
4.1.1	量距工具.....	71
4.1.2	直线定线.....	72
4.1.3	钢尺量距的一般方法.....	73
4.1.4	钢尺量距精密方法.....	74
4.2	电磁波测距.....	76
4.2.1	概述.....	76
4.2.2	电磁波测距基本原理.....	76
4.2.3	红外测距仪及其使用.....	78
4.3	视距测量.....	82
4.3.1	视距测量的原理.....	82
4.3.2	视距测量的观测与计算.....	83
4.4	直线定向.....	84
4.4.1	标准方向的种类.....	84
4.4.2	直线方向的表示方法.....	84
4.4.3	正、反坐标方位角的关系	85
4.4.4	几种方位角之间的关系.....	85
4.5	罗盘仪测量.....	86
4.5.1	罗盘仪的构造.....	86
4.5.2	罗盘仪测定磁方位角.....	87

4.6 全站仪及其使用.....	87
4.6.1 系统概述.....	88
4.6.2 系统功能.....	90
4.6.3 应用程序.....	91
习题	93
第5章 测量误差基本知识	94
5.1 测量误差基本概念.....	94
5.1.1 误差的定义.....	94
5.1.2 测量误差来源.....	94
5.1.3 测量误差的分类.....	95
5.2 衡量精度的指标.....	97
5.2.1 中误差.....	97
5.2.2 相对误差.....	98
5.2.3 容许误差(极限误差).....	99
5.3 误差传播定律.....	99
5.3.1 误差传播定律.....	99
5.3.2 误差传播定律的应用举例	100
5.4 等精度观测	103
5.4.1 求算术平均值	103
5.4.2 观测值中误差	104
5.4.3 算术平均值中误差	105
5.5 不等精度观测	107
5.5.1 权	107
5.5.2 最或是值——加权平均值	108
5.5.3 精度评定——单位权中误差和加权平均值中误差	109
5.5.4 不等精度观测数据处理举例	109
习题.....	110
第6章 控制测量.....	111
6.1 控制测量概述	111
6.1.1 控制测量及其布设原则	111
6.1.2 国家基本控制网	112
6.1.3 城市控制网	114
6.1.4 工程控制网	116
6.1.5 图根控制网	116
6.2 导线测量	117
6.2.1 平面控制的定位和定向	117
6.2.2 导线的布设形式	118

6.2.3	导线测量的外业工作	119
6.2.4	导线测量的内业计算	121
6.2.5	导线测量错误的检查	130
6.2.6	结点导线	132
6.3	控制点加密	134
6.3.1	前方交会	134
6.3.2	侧方交会	136
6.3.3	后方交会	138
6.3.4	测边交会	141
6.3.5	两点后方交会	143
6.4	三、四等水准测量.....	143
6.5	电磁波测距三角高程测量	146
6.5.1	三角高程测量的原理	146
6.5.2	地球曲率和大气折光对高差的影响	147
6.5.3	三角高程测量的计算	147
6.6	全站仪及其在控制测量中的应用	149
6.7	GPS 及其在控制测量中的应用	150
6.7.1	GPS 系统的组成	151
6.7.2	GPS 定位原理	153
6.7.3	伪距测量与载波相位测量	154
6.7.4	GPS 定位方法	154
6.7.5	GPS 小区域控制测量	155
习题	158
第 7 章	地形图测绘.....	160
7.1	地形图基本知识	160
7.1.1	地形图比例尺	160
7.1.2	大比例尺地形符号与地形图图式	163
7.1.3	等高线	169
7.1.4	地形图的分幅与编号	172
7.2	大比例尺地形图的传统测绘方法	173
7.2.1	测图前的准备工作	173
7.2.2	碎部点点位的测定	175
7.2.3	测图仪器简介	176
7.2.4	碎部测量的方法	177
7.2.5	地貌和地物的勾绘	180
7.3	地形图的拼接与检查	181
7.3.1	地形图的拼接	181
7.3.2	地形图检查验收	182

7.4 地形图的整饰、清绘与复制.....	182
7.4.1 地形图的整饰、清绘.....	182
7.4.2 地形图的复制	183
7.5 大比例尺数字化测图的方法	183
7.5.1 数字化测图概述	183
7.5.2 野外数字化数据采集方法	186
7.5.3 数字地面模型的建立	188
7.5.4 地形图的处理与输出	188
7.6 普通地形图的数字化	190
7.6.1 手扶跟踪数字化仪及其应用	190
7.6.2 扫描数字化仪及其应用	192
习题.....	194
第 8 章 地形图的应用.....	196
8.1 地形图识读的基本知识	196
8.1.1 地形图的基本内容	196
8.1.2 地形图的分幅与编号	198
8.2 地形图的室内应用	198
8.2.1 量测点的坐标	198
8.2.2 求算两点间的距离	198
8.2.3 求算点的高程	200
8.2.4 确定地面坡度	200
8.2.5 确定直线的方向	201
8.2.6 选定最短路线	202
8.2.7 确定汇水周界	202
8.2.8 绘制纵断面图	202
8.3 地形图的野外应用	203
8.3.1 准备工作	204
8.3.2 地形图的定向	204
8.3.3 确定站立点在图上的位置	205
8.3.4 地形图与实地对照	205
8.3.5 调绘填图	205
8.4 面积量算	206
8.4.1 解析法	206
8.4.2 图解法	206
8.4.3 求积仪法	207
8.4.4 控制法	210
8.5 地形图在平整场地中的应用	210
8.5.1 方格法	210
8.5.2 断面法	215

8.6 电子地图及应用	217
8.6.1 电子地图概念	217
8.6.2 电子地图的优点	218
8.6.3 电子地图的应用举例	219
习题.....	220
第9章 测设的基本工作	221
9.1 测设工作概述	221
9.2 角度、距离和高程的测设.....	221
9.2.1 测设已知水平角度	221
9.2.2 测设已知水平距离	222
9.2.3 测设已知设计高程	225
9.3 点的平面位置的测设	226
9.3.1 用一般仪器测设	226
9.3.2 用全站仪测设	228
9.4 已知坡度的测设	229
9.5 曲线的测设	229
9.5.1 圆曲线主点的测设	230
9.5.2 圆曲线细部测设	231
习题.....	236
第10章 园林建筑工程测量	237
10.1 园林工程施工测量概述.....	237
10.2 控制测量.....	238
10.3 园林建筑物测设概述.....	239
10.4 园林建筑物定位.....	240
10.4.1 根据控制点进行定位.....	240
10.4.2 根据原有地物进行定位.....	244
10.5 园林建筑物的测设.....	247
10.5.1 测设轴线控制桩.....	247
10.5.2 测设龙门板.....	247
10.5.3 基础施工测量.....	248
10.5.4 墙体施工测量.....	250
10.5.5 园林建筑测设的特点.....	252
10.5.6 任意形状园林建筑物测设.....	252
10.5.7 园林建筑附属构筑物的测设.....	257
10.6 地下管道施工测量.....	258
10.6.1 准备工作.....	258
10.6.2 地下管道中线测设.....	258
10.6.3 地下管道施工测量.....	259

习题.....	261
第 11 章 园路工程测量	263
11.1 园路概述.....	263
11.2 园路设计的准备工作.....	264
11.3 道路中线测量.....	265
11.3.1 路线交点和转点的测设.....	266
11.3.2 路线转角的测定.....	267
11.3.3 里程桩的测设.....	267
11.4 路线圆曲线测设.....	268
11.4.1 圆曲线的测设.....	268
11.4.2 遇障碍时的圆曲线测设.....	268
11.5 路线纵、横断面测量	270
11.5.1 路线纵断面测量.....	270
11.5.2 路线横断面测量.....	274
11.6 道路施工测量.....	276
11.6.1 施工控制桩的测设.....	276
11.6.2 路基放样.....	277
11.6.3 竖曲线的测设.....	280
习题.....	282
第 12 章 园林种植与造园土方工程测量	283
12.1 园林树木种植定点放线.....	283
12.1.1 自然式配置乔、灌木放线	283
12.1.2 规则的防护林、风景林、纪念林、公园、苗圃等的种植放线.....	285
12.1.3 行道树定植放线.....	286
12.2 造园土方工程测量.....	286
12.2.1 公园水体测设.....	287
12.2.2 堆山测设.....	288
12.2.3 平整场地施工放样.....	288
12.3 竣工测量.....	289
12.3.1 竣工测量.....	289
12.3.2 竣工总平面图的编绘.....	289
12.4 园林工程施工图设计程序与放样实例.....	290
12.4.1 施工图设计程序.....	290
12.4.2 施工图设计实例一 法源寺外环境景观施工图设计	291
12.4.3 施工图设计实例二 苏州白塘植物公园施工图设计	293
习题.....	294
附录 测量实验与实习指导书.....	295
参考文献.....	323

第 1 章 绪 论

1.1 测绘学及其在园林工程中的作用

1.1.1 测绘学的定义、分科及应用

测绘学是测量学与制图学的合称。其中,测量学是一门研究地球形状和大小以及确定空间(包括地表、地下和空中)点位并对这些位置信息进行研究、处理、存储、管理和应用的学科。而制图学则是在对测量和其他相关学科的资料及成果(野外测量、航空摄影测量、卫星图像、统计资料)进行有关地图和图像的生成时,对空间信息的图形表达、存储和传递等进行研究的学科。因此,测绘学的核心问题是如何科学地获取空间信息以及对所获取的信息进行适宜的表达。

随着科学技术的发展,测绘学分科越来越细。根据研究对象、采用的技术手段和应用的不同,测绘学可以分为以下的几个分科。

1. 大地测量学

研究地球形状、大小、地球重力场以及建立国家大地控制网的理论、技术和方法的科学。大地测量学可分为几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学(或空间大地测量学)。

2. 普通测量学

研究地球表面较小区域内测量与制图的理论、技术和方法的科学。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响,用平面代替地球曲面,根据需要建立小区域的控制网,测绘大比例尺地形图及一般工程的施工测量。

3. 工程测量学

研究各类专业工程在规划、设计、施工和运营过程中所涉及的测量理论、技术和方法的科学。根据专业工程的不同,工程测量学可分为土木工程测量、铁道工程测量、矿山工程测量等。

4. 摄影测量学

研究利用摄影和遥感技术,获取被摄物体的信息,进行分析、处理,以确定物体的形状、大小和空间位置,并判定其属性的科学。根据摄影方式的不同,摄影测量可分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量。

5. 海洋测量学

研究地球表面水体(江、湖及海洋)、港口、航道及水下地貌等测量的理论、技术和方法的科学。

6. 地图制图学

研究地图的编制和应用的学科。借助于它对地球空间信息的表达,可以反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化。

在国民经济建设中,测量技术的应用比较广泛。例如,铁路、公路在建造前,为了确定一条

最经济合理的路线,事先必须在地形图上进行路线的规划,确定路线的走向,然后,针对规划路线的走向进行该地带的测量工作,由测量的成果绘制带状地形图,在地形图上进行路线的详细设计,然后将设计路线的位置标定在地面上,以便进行施工;在路线跨越河流时,必须建造桥梁,在造桥前,要绘制河流两岸的地形图,以及测定河流的水位、流速、流量和桥梁轴线长度等,为桥梁设计提供必要的资料,最后将设计的桥台、桥墩的位置用测量的方法在实地标定;路线穿过山地需要开挖隧道,开挖前,也必须在地形图上确定隧道的位置,并由测量数据来计算隧道的长度和方向,在隧道施工期间,通常从隧道两端开挖,这就需要根据测量的成果指示开挖方向,使之能够贯通。又例如,在高尔夫球场的建设中,首先需要在地形图上进行球场的设计,然后根据设计图,在实地布设施工控制网,然后,进行各场地及地块的平面定位和高程的放线测量,以便进行土方的填挖,塑造球场的地貌,最后,对球洞、树木等进行放线定位。

此外,在城乡规划、资源勘察及开发、交通运输、水利建设、国土资源调查、地震预报、海上油井钻探、航天技术及国防建设、科学研究等方面,在水土保持、森林资源勘察、环境监测与保护、城市绿化、古建修缮、农业基本建设等与农林业相关的专业中,测绘工作都担负着基础且持久的作用。

1.1.2 测绘学在园林工程中的作用

园林工程是一门研究园林工程原理、工程设计、施工技术及养护管理的学科。它集科学性、技术性和艺术性于一体,针对园林、城市绿地和风景名胜区中除园林建筑工程外的室外工程,应用工程技术的手段来塑造园林艺术形象,使地面上的构筑物与园林景观融为一体。

园林工程的实施包含了众多专业技术的应用,其中测量工作是一项不可或缺的组成部分,它直接为园林工程的规划、设计、施工和维护服务。具体说来,在规划设计前,规划设计人员为全面地了解工程用地的基本情况(如地面的高低起伏、坡度变化、地物的分布、可能涉及的市政管线、具有特殊意义的文物古迹或古树名木等),需要使用地形图。根据工程的要求,选用不同比例尺的地形图,如在总体规划使用的地形图常用 1:1 000~1:5 000,单项工程专用的地形图常用 1:100~1:500。在规划设计过程中,设计师将在地形图上对各单项工程(如绿地、园路、假山、园林小品、水景、照明等)进行平面设计及用地的竖向设计,从而形成设计施工图。在工程的施工过程中,根据工程的施工定位条件布设施工控制网,建立放样轴线,并随着工程的进展按图进行各单项工程的施工放线。最后,当工程施工完毕后,进行竣工测量(包括竣工图纸的测绘、各项工程的验收测量、各种相关表格和文字说明书的编写等),一方面检查各单项工程是否达到了设计的目的,另一方面,将竣工测量的图纸和资料存档,为将来的改扩建及维护打下基础。

由此可见,在园林工程中,测绘工作主要完成以下的任务:(1)测绘地形图。为总体规划、工程设计及竣工验收提供不同比例的地形图。(2)施工测量。以设计施工图为依据,建立施工控制网并针对各单项工程进行测设(又称为放样或放线)。

本教材包括普通测量学和园林工程施工测量的内容。

1.2 测绘学的发展概况

测量技术起源于何时,目前尚无定论。可能是自从有了财产所有权,就有了量度财产或区分各人土地的方法。早在公元前 2500 年巴比伦人就已使用某些测量方法,因为考古学家发现

在当时的泥版上画有巴比伦的地图。在我国,《史记》记载,在公元前 21 世纪夏禹治水时,亦已采用“规、矩、准、绳”四种测量工具进行测量。在古埃及,原始的测量技术也应用于尼罗河泛滥后的农田整治和地块恢复中。由此可见,在人类社会的生产和生活历史中,测量技术作为社会发展的一种需要,在早期即得以应用。

在天文测量方面,远在颛顼高阳氏(公元前 2513~公元前 2434 年)就已开始观测日、月、五星,用来确定一年的长短,战国时已首先制出世界最早的恒星表。秦代(公元前 246~公元前 207 年)用颛顼历定一年的长短为 365.25 天,与罗马人的儒略历相同,但比其早四五百年。

在地图测绘方面,目前我国见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。在湖南长沙马王堆三号墓出土的公元前 168 年陪葬的关于古长沙国地图和驻军图《帛地图》,图上已有山脉、河流、居民地、道路和军事要素的表示。公元 2 世纪,古希腊的托勒密在《地理学指南》一书中,首先提出了用数学的方法将地球表象描绘成平面图的问题,并论述了原始的地图投影。公元 224~公元 271 年,我国西晋的裴秀总结了前人的制图经验,拟定了小比例尺地图的编制法规,称《制图六体》,是世界上最早的制图规范之一。此后,我国历代都编制过多种地图,这说明在当时,地图的测绘已有了较大的发展。

在研究地球形状和大小方面,公元前 3 世纪亚历山大学者埃拉托色尼首创子午圈弧度测量法,实际测量纬度差来估计地球半径。我国唐代(公元 724 年)在僧一行主持下,实地丈量了河南滑州白马经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度,得出子午线 1° 的弧长为 132.31km,为人类正确认识地球作出了贡献。17 世纪末,牛顿和惠更斯从力学的观点出发,提出地球是两极略扁的地扁说,为证实这一论断,法国科学院于 1735 年派遣两个测量队分赴秘鲁和北欧,试图由纬度相差很大的两个弧长测量来求定两个椭球参数,澄清地球究竟是两极扁平或两极伸长还是像古希腊毕达哥拉斯提出的地球为圆球的说法。至 1739 年,经过弧长测量终于证实了地扁说的正确性,纠正了长期以来的地圆说,为正确地认识地球奠定了理论基础。1743 年,法国克莱罗论证了地球几何扁率与重力扁率之间的关系,为物理大地测量打下了基础。1849 年,斯托克斯提出利用重力观测资料确定地球形状的理论,之后又提出了用大地水准面代表地球形状,从此确认了大地水准面比椭球面更接近地球的真实形状的观念。

在测量仪器方面,我国古代制造出丈杆、测绳、步车、记里鼓车等丈量长度的工具,矩和水平等测量高度的工具,望筒和指南针等测量方向的工具。1611 年开普勒望远镜的出现,1631 年用于读取不足一个分划小数的游标尺和 1640 年用于精确照准目标的设置于望远镜两片透镜间的十字丝的出现,则标志着光学测量仪器的开端。此后,1839 年,第一台可携式木箱照相机的问世,1903 年飞机的发明,则为航空摄影测量的产生创造了契机,至 1909 年第一张航空像片得以问世。及至 19 世纪末 20 世纪初,现代意义上的各种测量仪器和工具及现代意义上的测量工作便得以陆续地出现并展开了。

20 世纪中期,新的科学技术得到了快速发展,特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等,在其自身发展的同时,也给测绘科学的发展开拓了广阔的空间,推动着测绘仪器和技术的进步。1947 年,电磁波测距仪的面世,1968 年全站仪及此后数字化仪、扫描仪、绘图仪等仪器设备的相继出现,AutoCAD 等计算机辅助制图软件的不断开发为自动化数字测图奠定了坚实的基础。20 世纪 80 年代,美国建立的新一代卫星导航系统全球定位系统(GPS)的

建成,实现了全球、全天候、实时、高精度的定位、导航和授时,对测量工作产生了革命性的影响,被广泛地用于大地测量、工程测量、地形测量及军事的导航、定位上。此外,数字水准仪的问世,数字摄影测量系统的问世,也为测绘事业的发展拓展了空间。

1.3 地球与地球椭球

关于地球的形状和大小,一直是测量人员研究的重点之一。这不仅因为地球是我们赖以生存的家园,而且也因为我们所进行的测绘工作往往都是在地球表面上进行的。地球的自然表面极其复杂:有高山、丘陵、平原、盆地、江、河、湖泊和海洋;有高于海平面 8 848m 的珠穆朗玛峰,也有低于海平面 11 022m 的马里亚纳海沟,地形起伏很大,但与地球的半径(约 6 371km)相比,地表的起伏微不足道,因此从宏观上来看,仍然可以将地球看作是一个类似于椭球的球体。为了测量工作中观测、计算和绘图的需要,因此人们设想,找一个与地球表面非常接近的数学上可表达的规则曲面(如椭球面)或具有典型物理特征的曲面(如水准面)来代替地球不规则的表面作为定位的基准面。

由牛顿的万有引力定理我们知道,任何物体之间都存在吸引力,因此地球对地表上的任何物体都有引力作用,而与此同时,地球的自转对地表上的物体又产生了离心力的作用,这两个力的合力形成了重力,如图 1-1 所示。如悬挂一垂球,当它静止时所指的方向就是重力方向。地球表面上的每个水分子都会受到重力的作用,当水面静止时,每个水分子的重力位相等,所以水准面是重力等位面,这表明水准面处处与其重力方向相垂直。水面有高有低,高低面上的重力位能不同,所以水准面有无穷多个,而且互不相交。这其中,所设想的静止海水面向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合水准面,称为大地水准面,如图 1-2a 所示。大地水准面是一个特殊的水准面,它所包围的形体称为大地体。从宏观上来看,大地体可以代表整个地球的形状,对地球形状和大小的研究也往往是指对大地水准面的形状和大地体的大小的研究。重力方向线又称为铅垂线,它和大地水准面一起构成测量的一对基准。重力线也常常是测量仪器进行野外测量时所参照的基准线。

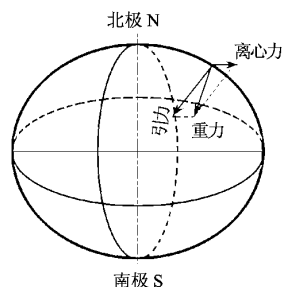


图 1-1 地球重力

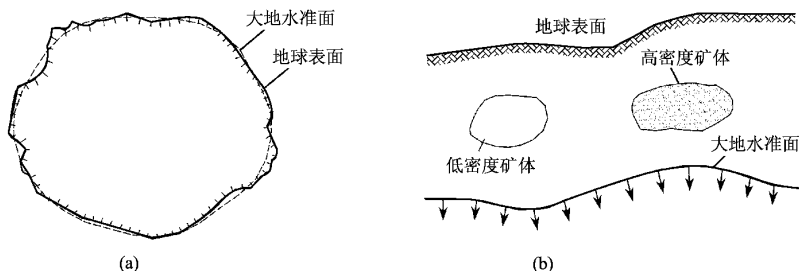


图 1-2 大地水准面与地球表面
(a)整体略图;(b)局部示意图

由于地球内部质量分布不均匀,重力的方向会产生不规则的变化,如图 1-2b 所示,重力方向偏向高密度物质,偏离低密度物质,致使与重力方向正交的大地水准面产生微小的起伏变化,成为一个复杂的曲面。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,计算时将非常困难。为了解决这个问题,选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来代替大地水准面作为进行测量数据处理和制图的基准面,这个规则曲面就是旋转椭球面。其旋转轴与地球自转轴重合,如图 1-3 所示,旋转椭球面所包围的球体称为地球椭球体。

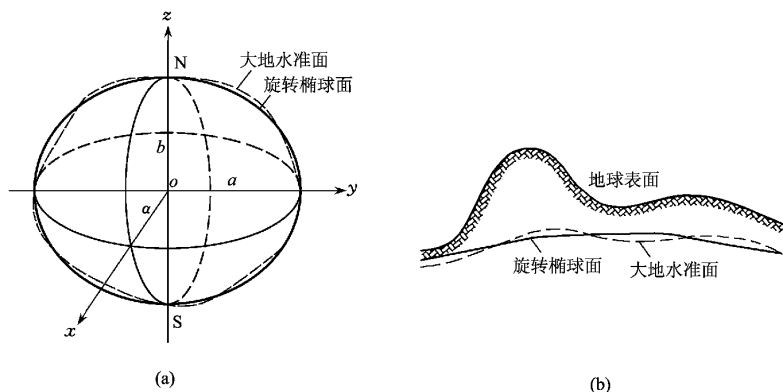


图 1-3 旋转椭球
(a)整体略图;(b)局部示意图

决定地球椭球体形状和大小的参数为椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α ,其关系式为:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1-1)$$

若 $\alpha = 0$,则椭球成为圆球。旋转椭球面是一个数学面,在直角坐标系 $oxyz$ 中旋转椭球的标准方程为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (1-2)$$

由于地球表面中海洋面积约占 71%,而陆地面积仅占 29%,因此利用地面测量资料所推求的椭球参数有一定的局限性,只能作为地球形状和大小的参考。我国在解放后采用克拉索夫斯基椭球。20 世纪 80 年代后,我国采用了 IUGG(国际大地测量与地球物理联合会)推荐的总地球椭球,其参数为: $a = 6\,378\,140\text{m}$,扁率 $\alpha = 1:298.257$ 。

由于地球椭球体的扁率很小,当精度要求不高时,可以将椭球当作圆球来看待,其半径按下式计算:

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

其近似值为 6 371km。

参考椭球确定后,还需要按一定的规则将旋转椭球体与大地体套合在一起,使地球椭球体与大地体间达到最好的密合,这项工作称为椭球定位。定位时采用椭球中心与地球质心重合,