

高等院校土木工程专业规划教材

工程测量

陈胜华 苏登天 主 编
宁永香 张敬东 副主编
葛永慧 主 审



科学出版社
www.sciencep.com

TU198

28

2007

高等院校土木工程专业规划教材



工 程 测 量

陈胜华 苏登天 主 编

宁永香 张敬东 副主编

葛永慧 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书共 13 章,分三大部分:第一部分包括第 1~5 章,介绍测绘学的基本常识和基础理论,结合水准测量、角度测量、距离测量与直线定向,详细介绍测量学的基本概念、基本原理、常用仪器的使用方法,特别注意介绍测绘新技术的成就与应用,并简单介绍了测量误差的基本知识;第二部分包括第 6~8 章,介绍小地区控制测量、大比例尺地形图的基本知识、测绘和应用,并介绍全站仪数字测图和测绘数字产品的应用方法;第三部分包括第 9~13 章,介绍建筑工程、道路和桥梁工程、地下工程测量知识和建(构)筑物变形观测方法及测量新仪器、新技术的基本应用。

本书可作为普通高等院校土木工程类各专业及城市规划、市政工程、采矿工程、房地产经营与管理等非测绘专业本科测量学课程教材,也可供土木工程专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 陈胜华, 苏登天主编. — 北京: 科学出版社, 2007
(高等院校土木工程专业规划教材)
ISBN 978-7-03-018491-7

I. 工… II. ①陈… ②苏… III. 工程测量—高等学校—教材
IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 012469 号

责任编辑:何舒民 张雪梅 / 责任校对:耿耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2007 年 2 月第一次印刷 印张: 18 3/4
印数: 1—3 000 字数: 440 000

定价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(HA03)

前 言

本书针对土木工程专业本科应用型人才的培养模式和培养目标以及其特有的教学内容和课程体系,紧密结合现代测绘在工程中的应用实践而编写,力求教材具有实用性、适用性及时代性。本书适用于土木工程专业以及城市规划、市政工程、采矿工程、房地产经营与管理等非测绘专业。

作为教学信息的主要载体,教材是学生知识的直接来源,为了把新的教学思想、教学体系和教学内容与测绘新理论、新技术和新仪器融于本教材之中,本书对传统的土木工程专业测量学教材在体系和内容上进行了调整。在编排结构上以地形图应用和土木工程测量为主,大幅度增加地形图的基本知识、地形图的应用以及土木工程测量的基本原理和方法,注意与专业课的渗透和衔接,以提高学生在地形图上获取空间信息的能力和利用工程测量手段解决实际问题的能力,并注意扩展学生的知识面。编写过程中力求做到重点突出、定义准确、由简入繁、利于教学,侧重传授基本知识和基本技能,注重理论联系实际,同时参阅了大量最新资料,吸收了同类教材之精华。

参加本书编写的有陈胜华、宁永香、苏登天、郝海森、梁利生、张敬东、李玲、宋莹等。郭陶明提供并整理了附录部分。全书由陈胜华统稿,葛永慧对全书进行审定。

本书在编写过程中,得到许多朋友及同行的热心帮助,在此表示衷心的感谢!对本书参阅和引用的有关文献资料的作者也表示诚挚的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

前 言

第1章 绪 论	1
1.1 测绘学概述	1
1.1.1 测绘学的研究内容及其分类	1
1.1.2 测绘学在国民经济建设中的作用	2
1.1.3 本课程的学习任务	2
1.1.4 测绘学发展概况	3
1.2 地球的形状和大小	3
1.3 地面点位的确定	4
1.3.1 测量坐标系	4
1.3.2 测量高程系统	8
1.4 用水平面代替水准面的限度	9
1.4.1 水准面曲率对距离的影响	9
1.4.2 水准面曲率对高差的影响	10
1.5 测量工作概述.....	11
1.5.1 测量工作的基本内容	11
1.5.2 测量工作的基本原则	12
1.6 几种常见的图.....	13
1.6.1 平面图	13
1.6.2 地形图	13
1.6.3 地图	14
1.6.4 影像地图	14
1.6.5 断面图	14
思考题	14
第2章 水准测量	15
2.1 水准测量的基本原理.....	15
2.2 水准测量的仪器和工具.....	16
2.2.1 DS ₃ 型水准仪的构造	16
2.2.2 水准尺和尺垫	18
2.3 DS ₃ 型微倾式水准仪的使用	18
2.4 普通水准测量的外业测量和内业计算.....	20
2.4.1 水准点和水准路线	20
2.4.2 水准测量的施测	21
2.4.3 水准测量的成果计算	23
2.5 水准仪的检验与校正.....	26

2.5.1	水准仪轴线应满足的条件	26
2.5.2	水准仪的检验与校正	27
2.6	水准测量的误差及减小措施	29
2.6.1	水准测量误差	30
2.6.2	水准测量时应注意的事项	31
2.7	其他水准仪介绍	31
2.7.1	精密水准仪及水准尺	31
2.7.2	自动安平水准仪	33
2.7.3	电子水准仪	34
2.7.4	激光水准仪	34
	思考题	35
第3章	角度测量	36
3.1	水平角和竖直角测量原理	36
3.1.1	水平角测量原理	36
3.1.2	竖直角测量原理	36
3.2	光学经纬仪	37
3.2.1	光学经纬仪的构造	37
3.2.2	光学经纬仪的读数系统和读数方法	38
3.2.3	光学经纬仪的使用	41
3.3	水平角测量	43
3.3.1	测回法	43
3.3.2	方向观测法	44
3.4	竖直角测量	46
3.4.1	竖直度盘的构造	46
3.4.2	竖直角的计算公式	47
3.4.3	竖盘指标差	47
3.4.4	竖直角观测	48
3.4.5	竖盘指标自动归零补偿装置	49
3.5	经纬仪的检验与校正	49
3.5.1	光学经纬仪应满足的几何条件	49
3.5.2	照准部水准管轴垂直于仪器竖轴的检验与校正	50
3.5.3	望远镜的视准轴垂直于横轴的检验与校正	50
3.5.4	横轴垂直于仪器竖轴的检验与校正	51
3.5.5	光学对点器的检验与校正	51
3.6	角度测量的误差分析	51
3.7	激光经纬仪和电子经纬仪	53
3.7.1	激光经纬仪	53
3.7.2	电子经纬仪	54
	思考题	58

第4章 距离测量和直线定向	59
4.1 地面点的标定与直线定线	59
4.1.1 地面点的标志	59
4.1.2 直线定线	60
4.2 钢尺量距	61
4.2.1 钢尺量距的器材	61
4.2.2 距离丈量的一般方法	62
4.2.3 钢尺检定	62
4.2.4 精密量距的方法	65
4.2.5 量距结果的改正	65
4.2.6 钢尺量距误差	67
4.3 视距测量	68
4.3.1 视距测量的原理	68
4.3.2 视距常数的测定	70
4.3.3 视距测量及其计算	71
4.4 光电测距	72
4.4.1 光电测距基本原理	72
4.4.2 电磁波测距仪的分类	74
4.4.3 相位式光电测距仪的使用	74
4.4.4 测距仪使用注意事项	76
4.5 直线定向	76
4.5.1 标准方向的种类	76
4.5.2 直线方向的表示方法—方位角	77
4.5.3 象限角	77
4.5.4 正、反方位角的关系	78
4.5.5 几种方位角之间的关系	78
4.6 罗盘仪测定磁方位角	79
4.6.1 罗盘仪的构造	79
4.6.2 罗盘仪测定磁方位角	79
思考题	80
第5章 测量误差的基本知识	81
5.1 测量误差的来源及分类	81
5.1.1 测量误差的来源	81
5.1.2 测量误差的分类	81
5.1.3 多余观测	82
5.2 评定观测值精度的标准	83
5.2.1 中误差	83
5.2.2 容许误差	83
5.2.3 相对误差	83
5.3 误差传播定律	84

5.4 等精度观测平差值的计算及精度评定	85
5.4.1 求最或然值	85
5.4.2 精度评定	86
5.5 不等精度观测平差值的计算及精度评定	87
5.5.1 权的概念	87
5.5.2 加权平均值	87
5.5.3 精度评定	87
思考题	88
第6章 小地区控制测量	89
6.1 概述	89
6.1.1 国家控制网	89
6.1.2 城市控制网	90
6.1.3 小地区控制网	90
6.1.4 图根控制网	90
6.2 导线测量的外业工作	90
6.2.1 导线测量概述	90
6.2.2 导线测量的外业工作	92
6.3 导线测量的内业工作	92
6.3.1 闭合导线坐标计算	93
6.3.2 附合导线坐标计算	96
6.4 交会法测定点位	97
6.4.1 角度前方交会	97
6.4.2 距离交会	99
6.5 高程控制测量	101
6.5.1 三、四等水准测量	101
6.5.2 三角高程测量	104
6.6 全球定位系统(GPS)简介	105
6.6.1 导航卫星系统概述	105
6.6.2 GPS 全球卫星定位系统的组成	106
6.6.3 GPS 定位的基本原理	107
6.6.4 GPS 定位测量的模式	108
6.6.5 GPS 的主要特点	110
6.6.6 GPS 测量工作概述	110
思考题	111
第7章 大比例尺地形图基本知识与测绘	112
7.1 地形图的基本知识	112
7.1.1 地形图的比例尺	112
7.1.2 地形图的分幅与编号	113
7.1.3 地形图的图外注记	116
7.1.4 地物的表示方法	117

7.1.5 地貌的表示方法	120
7.2 大比例尺地形图的测绘	122
7.2.1 测图前的准备工作	122
7.2.2 碎部测量的方法	123
7.2.3 地形图的绘制	126
7.3 电子全站仪与数字化测图	128
7.3.1 电子全站仪概述	128
7.3.2 TC2000 电子全站仪简介	128
7.3.3 应用电子全站仪进行数字化测量	129
7.4 摄影测量与遥感简介	130
7.4.1 航摄相片的基本知识	130
7.4.2 影像的立体观察和立体测量	132
7.4.3 影像的纠正、判读和调绘	133
7.4.4 作业过程与成图方法	134
7.5 地籍测量简介	134
7.5.1 地籍测量的任务和作用	134
7.5.2 地籍平面控制测量	135
7.5.3 地籍图的测绘与地籍调查	135
7.5.4 土地面积量算	136
7.6 水下地形测绘	137
7.6.1 水位观测	137
7.6.2 测深工具	138
7.6.3 测深断面与测深点的布设	139
7.6.4 测深点的定位方法	140
思考题	141
第8章 大比例尺地形图的应用	142
8.1 地形图的识读	142
8.2 地形图应用的基本内容	142
8.2.1 坐标的量算	143
8.2.2 高程的量算	143
8.2.3 距离的量算	144
8.2.4 角度的量算	145
8.2.5 坡度的量算	145
8.2.6 面积的量算	146
8.2.7 体积的量算	148
8.2.8 地形图的野外应用	148
8.3 地形图在工程规划设计中的应用	152
8.3.1 在道路规划设计中的应用	152
8.3.2 在水利规划设计中的应用	152
8.3.3 在土地平整规划设计中的应用	153

8.3.4 绘制纵断面图	155
8.3.5 判定两地面点间是否通视	156
8.4 地形图在规划设计时的用地分析	156
8.4.1 规划建筑用地的地形分析	156
8.4.2 用地配置分析	157
8.5 DTM 与 DEM	158
8.5.1 概述	159
8.5.2 DEM 的建立和应用	159
8.5.3 CASS 中 DTM 的建立和应用	159
8.6 地理信息系统(GIS)简介	164
8.6.1 GIS 概念	164
8.6.2 GIS 组成	165
8.6.3 GIS 基本功能	166
8.6.4 GIS 应用	166
思考题	166
第9章 施工测量的基本方法	168
9.1 施工测量概述	168
9.2 放样的基本工作	168
9.2.1 设计水平角度的测设	168
9.2.2 设计水平长度的测设	169
9.2.3 设计高程的测设	170
9.2.4 圆曲线的测设	171
9.3 测设点位的方法	172
9.3.1 极坐标法放样	172
9.3.2 直角坐标法放样	173
9.3.3 方向线交会法放样	173
9.3.4 前方交会法放样	174
9.3.5 轴线交会法	174
9.3.6 正倒镜投点法	175
9.3.7 距离交会法	175
9.4 已知水平线及已知坡度线的测设	176
9.4.1 已知水平线的测设	176
9.4.2 已知坡度线的测设	176
9.5 垂准测量	178
9.5.1 吊垂线法	178
9.5.2 经纬仪法	178
9.5.3 激光垂准仪的应用	179
思考题	180
第10章 工业与民用建筑工程测量	181
10.1 建筑场地上的施工控制测量	181

10.1.1 建筑施工测量概述	181
10.1.2 建筑场地上施工平面控制网的建立	182
10.1.3 建筑场地上施工高程控制网的建立	185
10.2 一般民用建筑施工测量	186
10.2.1 建筑物测设前的准备工作	186
10.2.2 场地平整的测量工作	187
10.2.3 建筑物主轴线的定位测量	187
10.2.4 建筑物放线	188
10.2.5 建筑物基础工程施工测量	189
10.2.6 砌墙身的测量工作	191
10.3 工业厂房控制网和柱列轴线测设	191
10.3.1 工业厂房控制网的测设	191
10.3.2 柱列轴线的测设和柱基施工测量	192
10.3.3 工业厂房构件的安装测量	194
10.4 高层建筑施工测量	197
10.4.1 高层建筑物的轴线投测	197
10.4.2 高层建筑物的高程传递	199
10.5 烟囱、水塔施工测量	200
10.5.1 烟囱的定位、放线	200
10.5.2 烟囱基础的施工测量	201
10.5.3 烟囱的施工测量	201
10.6 大坝施工测量	202
10.6.1 坝轴线放样	202
10.6.2 坝体控制测量	202
10.6.3 清基范围的测定	204
10.6.4 坝体浇注中的施工放样	204
10.7 管道工程测量	205
10.7.1 管道中线测量	205
10.7.2 管线纵、横断面测量	206
10.7.3 管线施工测量	207
10.7.4 顶管施工测量	208
10.7.5 管线竣工测量	210
10.8 竣工总平面图的编绘	210
10.8.1 竣工测量	210
10.8.2 竣工总平面图的编绘	211
思考题	211
第11章 道路和桥梁工程测量	213
11.1 道路中线测量	213
11.1.1 中线测量概述	213
11.1.2 交点和转点的测设	213

11.1.3 路线转角的测定和里程桩设置	216
11.2 圆曲线测设	218
11.2.1 圆曲线的主点测设	218
11.2.2 圆曲线的详细测设	219
11.3 复曲线及缓和曲线测设	223
11.3.1 复曲线的测设	223
11.3.2 缓和曲线的测设	224
11.4 道路纵、横断面测量	230
11.4.1 概述	230
11.4.2 基平测量	230
11.4.3 中平测量	231
11.4.4 横断面测量	234
11.5 道路施工测量	237
11.5.1 路线中线的恢复	237
11.5.2 路基边桩的测设	237
11.5.3 竖曲线的测设	239
11.6 桥梁控制测量	241
11.6.1 桥梁平面控制测量	241
11.6.2 桥梁高程控制测量	242
11.6.3 桥梁墩台中心测设	242
11.7 桥梁施工测量	244
11.7.1 基础施工测量	244
11.7.2 墩、台身施工测量	245
11.7.3 墩、台顶部的施工测量	245
11.7.4 上部结构安装的测量	246
思考题	246
第 12 章 地下工程测量	247
12.1 地面控制测量	247
12.1.1 地下工程测量综述	247
12.1.2 地面控制网布设步骤	248
12.1.3 地面控制网布设形式和要求	248
12.2 地下控制测量	250
12.2.1 地下导线测量	250
12.2.2 地下水准测量	251
12.3 联系测量	251
12.3.1 一井定向	252
12.3.2 陀螺经纬仪定向	252
12.3.3 竖井导入高程	253
12.4 隧道施工测量	253
12.4.1 测设隧道中心线	254

12.4.2 测设隧道断面	255
12.4.3 测设坡度和高程	256
12.4.4 硐室施工测量	256
12.5 竣工图的测绘	256
思考题	257
第 13 章 建筑物的变形观测	258
13.1 变形观测概述	258
13.1.1 建筑物产生变形的原因	258
13.1.2 变形观测的精度要求及内容	258
13.2 建筑物沉降观测	259
13.2.1 水准基点和沉降观测点的布设	259
13.2.2 沉降观测	260
13.2.3 沉降观测的成果整理	260
13.3 建筑物倾斜观测	262
13.3.1 一般建筑物的倾斜观测	262
13.3.2 塔式建筑物的倾斜观测	262
13.3.3 倾斜观测仪	262
13.3.4 激光铅垂仪	264
13.4 建筑物的水平位移观测	264
13.5 建筑物裂缝观测	265
思考题	266
附录 I 测量实验	267
第一部分 测量实验须知	267
第二部分 测量实验指导	270
附录 II 测量教学实习	282
参考文献	285

第1章 绪 论

1.1 测绘学概述

1.1.1 测绘学的研究内容及其分类

测绘学是研究对地球整体及其表面的各种自然和人造物体上有关地理空间分布的信息进行采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。其研究内容包括:确定地球和其他实体的形状、大小和重力场,并在此基础上建立一个统一的坐标系统;利用各种测量仪器、传感器及其组合系统获取地球及其他实体在一定坐标系中有关空间定位和分布的信息,制成各种地形图和专题图以及建立地理、土地等各种空间信息系统;为研究地球自然和社会现象,解决人口、资源、环境与灾害等社会可持续发展中的重大问题,以及为国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

测绘学按其研究的重点内容 and 应用范围,分为五个主要分支学科。

1. 大地测量学

它是研究和测定地球的形状、大小和重力场,地球的整体与局部运动和地面点的几何位置及其变化的理论和技术的学科。由于全球导航卫星系统(如美国的GPS)、卫星激光测距(SIR)、甚长基线干涉(VLBI)和卫星测高(SA)等新技术的引进,大地测量从分维式发展到整体式,从静态发展到动态,从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理——几何空间,从地表层发展到地球内部结构,从局部参考坐标系中的地区性大地测量发展到统一地心坐标系中的全球性大地测量。

2. 摄影测量与遥感学

它是研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据,从中提取几何的或物理的信息,并用图形、图像和数字形式表达的学科。这一学科过去叫摄影测量学。由于现代航天技术和计算机技术的发展,当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得的黑白像片更丰富的影像信息。因此,在摄影测量中引进了遥感技术,摄影测量本身已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”的发展历程,现在正进入“数字摄影测量”阶段。

3. 地图制图学与地理信息工程

它是研究利用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的学科。当今,随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具,地图制图学已经进入数字(电子)制图和动态制图阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的学科。

4. 工程测量学

它是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行控制测量、地形测绘、施工放样与

变形监测的理论和技术的学科,是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。现在工程测量已远远突破了为工程建设服务的狭隘概念,向着所谓“广义工程测量学”发展,即“一切不属于地球测量、不属于国家地图集的陆地测量和不属于公务测量的应用测量,都属于工程测量”。

5. 海洋测绘学

它是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量以及海图编制的理论和方法的学科,同陆地测绘相比,海洋测绘具有自身的特点,主要有:测量内容综合性强,要同时完成多种观测项目,需多种仪器配合施测;测区条件复杂,大多为动态作业;肉眼不能通视水域底部,精确测量难度较大等。

1.1.2 测绘学在国民经济建设中的作用

测绘科学是人类认识和研究人类赖以生存的地球不可缺少的手段,在国家建设中,包括发展规划,资源调查、开发与利用,环境保护,城市、交通、水利、能源、通讯等建设工程,大到正负电子对撞机、核电站的建设,小到民宅的建设,所有这些工程全过程都需要测绘提供保障。

在国民经济建设中,测绘技术的应用非常广泛。例如,城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程建设以及工业厂房和高层建筑物的建造,在设计阶段需要测绘各种比例尺的地形图供构筑物和建筑物的平面和竖向设计使用,在施工阶段需要将设计建筑物和构筑物的平面位置和高程标定在实地作为施工的依据,工程完工后还要测绘竣工图供日后扩建、改建、维修和城市管理应用。对某些重要建筑物,在其建设和建成后还需要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。又如,在铁路、公路建设之前,为了一条最经济、最合理的路线,在确定了路线大致走向的基础上,必须首先进行该地带的测量工作,由测量成果绘制带状地形图,在地形图上进行路线设计,然后将设计在图样上的路线中线位置在实地标定出来,以便进行施工。当路线跨越河流时,必须建造桥梁。造桥之前,要绘制河流两岸的地形图,测定河流的水位、流速流量和桥轴线长度等,为桥梁的设计提供必要的资料;在桥梁施工时将设计的桥台、桥墩位置用测量的方法在实地标定。当路线穿过山地需要开挖隧道时,开挖之前必须在地形图上确定隧道的位置,并由测量数据计算隧道的长度和方向;在隧道施工期间,需要根据测量成果指示开挖的方向等,保证其正确贯通。

1.1.3 本课程的学习任务

对于土木工程专业,本课程的学习任务有四个:

1) 测绘——运用测量仪器和工具,对小区域的地形进行测量,并按一定的比例尺绘制成图,供规划设计使用。

2) 测设——将图上设计好的建筑物或构筑物的位置,以规定的精度要求标定在实地上,作为施工的依据。

3) 用图——在工程设计中,从地形图上获取设计所需要的相关资料,如点的坐标和高程、两点之间的水平距离、地面坡度、地块面积、地形的断面等,以解决工程上若干基本问题。

4) 监测——监测建筑物和构筑物在施工和运行阶段由于受自重和外力的影响所发生的水平与垂直位移,以便采取措施,作为施工的依据。

1.1.4 测绘学发展概况

测绘学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,中国、埃及、希腊等国家的人民就开始创造与运用测量工具进行测量。古代,我国就发明了指南工具——司南(公元前5世纪)、浑天仪(公元2世纪)等测量仪器,并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传入欧洲,并在全世界得到广泛应用,直到今天依然是利用地磁测定方位的简便测量工具。17世纪发明望远镜后,人们利用光学经纬仪进行测量,使测量科学迈进了一大步。20世纪60年代以来,电子计算机、微电子技术、激光技术、遥感技术和空间技术的发展和运用为测绘学这一古老学科提供了新的手段和方法,出现了以全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)为代表的现代测绘科学技术,这些技术正步入信息采集和数据处理自动化、智能化、网络化、实时化和可视化的新阶段。测绘产品由原来的模拟地图发展为信息载负量大、传输迅速方便的数字地图,并可在此基础上运用计算机立体视觉技术生成三维立体地图。目前的数字化测绘产品包括4种基本模式,即所谓的“4D”产品:数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字栅格地图(DRG)和数字线划地图(DLG)。这4种基本模式产品的组合,还可以形成多种多样的复合产品。

1.2 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的。地球表面是一个高低不平、极其复杂的自然表面,有高山、丘陵、盆地、平原、海洋等。陆地最高的珠穆朗玛峰高出海平面8844.43m,海底最深的马里亚纳海沟低于海平面11022m,相对高差近20km,但这样的高低起伏与地球半径6371km相比,通常可以忽略不计。此外,由于地球表面海洋约占71%,陆地面积仅占29%,因此,在考虑地球形状时,人们可以将地球总的形状认为是被海水包围的球体,假想以一个静止的海水面延伸到大陆内部,形成一个封闭曲面包围整个地球,这个闭合的曲面称为水准面。海水有潮汐变化,时高时低,所以水准面有无数多个,其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面,它所包围的形体称为大地体。如图1.1所示,它非常接近于一个两极扁平、赤道隆起的椭球。为了确定地面点的高度,必须有一个参照基准面。在实际测量工作中,以大地水准面作为测量的基准面。

大地水准面的特性是它处处与铅垂线正交。由于地球内部质量分布不均匀,地球各处引力的大小不同,致使重力方向发生变化,所以大地水准面实际上是一个不规则、不易用

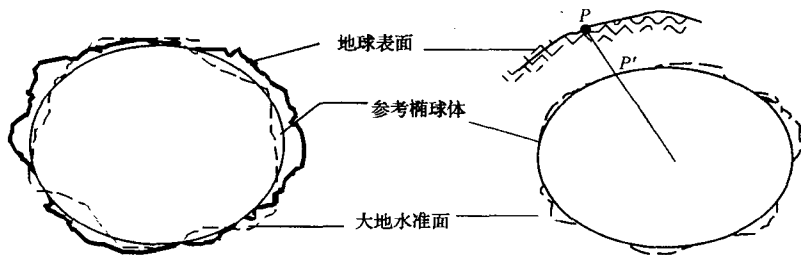


图 1.1 地球的形状

图 1.2 参考椭球定位

数学公式表达的复杂曲面。如果将地球表面的图形投影到这个曲面上,测量计算和制图将很困难,为此,选用一个非常接近大地水准面并可用数学模型表达的几何形体来代表地球的形状。它是由椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球体,又称为地球椭球体或参考椭球体,其表面称旋转椭球面或参考椭球面,如图 1.1 所示。通常用参考椭球面作为测量计算与制图的基准面,并在这个椭球面上建立大地坐标系。

决定地球椭球体形状和大小的参数是椭圆的长半径 a 、短半径 b 及扁率 α 。随着空间科学技术的进步,可以越来越精确地测定这些参数。目前我国采用的是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”(IU-GG)通过并推荐的数据:

$$\begin{aligned} a &= 6\,378\,137\text{m} \\ b &= 6\,356\,752\text{m} \\ \alpha &= \frac{a-b}{a} = 1/298.257 \end{aligned} \quad (1.1)$$

由于地球椭球体扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球视为圆球,其半径为

$$R = (2a + b)/3 \approx 6\,371\text{km} \quad (1.2)$$

地球的形状大小确定后,还应进一步确定大地水准面与旋转椭球面的相对关系,才能把观测结果化算到椭球面上。如图 1.2 所示,在一个国家的适当地点,选择一点 P ,设想把椭球与大地体相切,切点 P' 点位于 P 点的铅垂线方向上,这时椭球面上 P' 的法线与大地水准面的铅垂线相重合,使椭球的短轴与地轴保持平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小,于是椭球与大地水准面的相对位置便固定下来,这就是参考椭球的定位工作。根据定位的结果确定大地原点的起算数据,并由此建立国家大地坐标系。

1.3 地面点位的确定

测量工作的实质是确定地面点的空间位置,而地面点的位置是用三维坐标即用平面(或球面)坐标及高程表示的。下面介绍几种用以确定地面点位的坐标系。

1.3.1 测量坐标系

1. 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标系,依据采用的投影面不同,又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

(1) 天文地理坐标系

天文地理坐标系又称天文坐标,用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点投影在大地水准面上的位置,如图 1.3 所示。确定球面坐标 (λ, φ) 所依据的基本线为铅垂线,基准面为大地水准面。 PP_1 为地球的自转轴, P 为北极, P_1 为南极。地面上任一点 A 的铅垂线与地轴 PP_1 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线,也称经线。 A 点的经度 λ 是 A 点的子午面与首子午面所组成的二面角。它从首子午面向东、向西自 0° 起算至 180° , 向东为东经, 向西为西经。垂直于地轴的平面与地球面的交线称为纬线,垂直于地轴并通过地球中心 O 的平面为赤道,与地球面相交的纬线为赤道。 A 点的纬度 φ 是过 A 点的铅垂线与赤道平面之间的交角,其计算方法从赤道向北或向南自 0° 起算至 90° , 分别称