



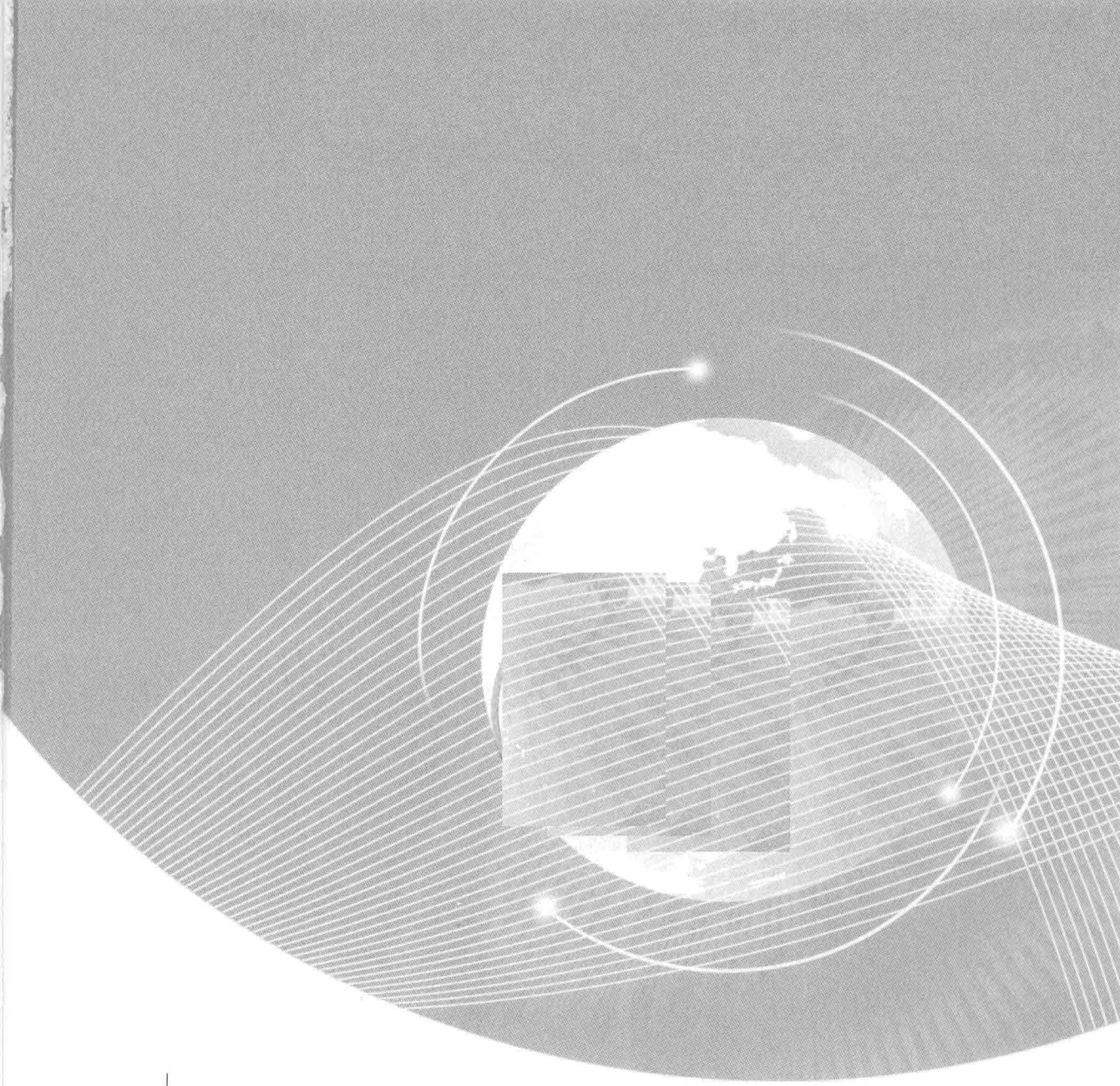
大地测量学基础

主 编 田桂娥
副主编 王晓红 杨久东 刘亚静



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



大地测量学基础

主 编 田桂娥
副主编 王晓红 杨久东 刘亚静



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大地测量学基础/田桂娥主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.12
ISBN 978-7-307-14955-7

I. 大… II. 田… III. 大地测量学 IV. P22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 291158 号

责任编辑:鲍玲 方慧娜 责任校对:汪欣怡 版式设计:韩闻锦

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:湖北睿智印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:349千字 插页:1

版次:2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-14955-7 定价:29.00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

前 言

大地测量学是测绘学科及其相关学科学习的基础,在促进地球科学和空间科学发展、国民经济建设和国防建设、安全监测和社会保障中起着重要的作用,同时在测绘工程专业高素质人才培养计划中发挥着重要作用。大地测量学基础是在学习了测量学、测量平差基础、数字化测图原理与应用、数字化测图实习等先修课程之后开设的一门专业基础课,从而将测绘专业课程内容有机地连接起来。

本书根据大地测量学的基本体系和基本内容,参考了现有的许多本学科教材、专著和文献期刊,保证课程内容的系统性、完整性和技术的先进性。本书共包含10章,第1章绪论,比较全面地介绍了大地测量学的概念、任务、分类及发展简史;第2章介绍大地水准面、大地体、参考椭球、正常椭球、椭球参数、垂线偏差及地球形状等基本内容;第3章介绍坐标系系统和时间系统,内容包括椭球的定位与定向、我国常用的大地坐标系、世界时、恒星时、平太阳时、原子时、力学时、协调世界时、GPS时及坐标系间的转换关系,并配有相关的转换实例;第4章介绍地球重力场及应用,包括引力、离心力、重力、重力基准、国家重力网、地球重力场模型、重力场的应用等;第5章主要介绍水平坐标基准、高程基准、水平控制网的布设、高程控制网的布设、GPS控制网的布设等基本理论;第6章主要介绍地球椭球数学投影变化的基本理论,包括椭球面上的常用坐标系及相互转换关系,子午圈、卯酉圈曲率半径及弧长的计算,相对法截线,大地线等;第7章主要介绍地面观测元素归算至参考椭球面的原理及大地主题解算的基本理论;第8章是地图投影变换,包括地图投影的概念、分类等基本理论,高斯-克吕格投影、横轴墨卡托投影、兰勃特投影等常用的三种投影的理论介绍;第9章详细介绍了高斯投影的坐标正反算及高斯坐标的邻带换算的基本原理和基本方法,并给出了相应的实例数据;第10章介绍了现代大地测量发展技术及应用,包括现代大地测量发展中GPS、卫星激光测距、甚长基线干涉测量、摄影测量与遥感、地理信息系统等常用的技术方法。

本书由河北联合大学田桂娥任主编、河北联合大学的王晓红、杨久东和刘亚静任副主编。其中,田桂娥编写第1章至第6章,还有第8章、第9章内容;王晓红编写第7章;杨久东和刘亚静共同编写第10章内容。此外,在本书编写过程中河北联合大学的郭力娜、宋利杰、张永彬、吴长悦、李江涛、陈红、朱小凤等也为本书的编写工作做了许多有益的工作,感谢他们的辛勤工作。还要特别感谢河北联合大学矿业工程学院的领

导给予的帮助和支持。

本书在编写过程中，引用了大量的书籍、文章及网上资料，在此向有关作者表示衷心感谢。虽然作者多次修改书稿，力图完美，但难免存在疏漏和错误，敬请读者提出宝贵修改意见。

前 言

作 者

2014年11月

本书在编写过程中，引用了大量的书籍、文章及网上资料，在此向有关作者表示衷心感谢。虽然作者多次修改书稿，力图完美，但难免存在疏漏和错误，敬请读者提出宝贵修改意见。

本书在编写过程中，引用了大量的书籍、文章及网上资料，在此向有关作者表示衷心感谢。虽然作者多次修改书稿，力图完美，但难免存在疏漏和错误，敬请读者提出宝贵修改意见。

目 录

		1
		1
		1
		2
		6
		6
		9
		12
		12
		12
		13
		13
		13
		14
		14
		15
		15
		16
		17
		17
		20
		20
		23
		23
		23
		24
		26
		26

3.2.2	坐标系统换算	28
3.2.3	坐标转换示例	34
3.3	时间系统	38
3.3.1	时间系统的概念	38
3.3.2	常用时间系统	38
第4章	地球重力场及应用	43
4.1	地球重力场基本理论	43
4.1.1	引力与引力位	43
4.1.2	离心力与离心力位	46
4.1.3	重力与重力位	47
4.2	重力基准与重力控制网	49
4.2.1	重力基准	49
4.2.2	我国重力基本网	50
4.2.3	国家重力网	53
4.3	地球重力场模型	55
4.4	地球重力场的应用	57
第5章	测绘基准与大地控制网	58
5.1	水平坐标基准与高程基准	58
5.1.1	大地原点与水平坐标基准	58
5.1.2	水准原点与高程基准	60
5.1.3	深度基准	61
5.1.4	三维坐标基准	63
5.2	国家水平控制网的布设	68
5.2.1	国家水平控制网的布设原则	68
5.2.2	国家水平控制网的布设方案	69
5.2.3	水平控制网的建立方法	73
5.2.4	水平控制网的布设步骤	79
5.3	高程控制网的布设	81
5.3.1	高程控制网的布设方案	81
5.3.2	水准路线的布设	83
5.4	GPS控制网	84
5.4.1	GPS控制网的布设原则	84
5.4.2	GPS控制网的技术设计	85
5.4.3	GPS控制网的测量作业	86

第 6 章 地球椭球数学投影变化的基本理论	88
6.1 椭球面上常用坐标系	88
6.1.1 椭球面上常用坐标系介绍	88
6.1.2 各坐标系间的转换关系	90
6.2 椭球面上几种常用的曲率半径	94
6.2.1 任意方向法截线曲率半径	94
6.2.2 子午圈曲率半径、卯酉圈曲率半径	97
6.3 子午线弧长与平行圈弧长	100
6.4 大地线	105
6.4.1 相对截线法	105
6.4.2 大地线的定义与性质	107
6.4.3 椭球面上三角形的解算	112
第 7 章 地面观测元素归算至椭球面	114
7.1 水平观测方向归算到椭球面	115
7.2 天文方位角归算为大地方位角	121
7.3 距离归算至椭球面	122
7.4 大地主题解算	126
第 8 章 地图投影变换	130
8.1 地图投影变换的基本概念	130
8.1.1 地图投影变换的意义和投影方程	130
8.1.2 地图投影变形	131
8.1.3 地图投影的分类	135
8.2 高斯-克吕格投影	137
8.2.1 高斯投影的概念	137
8.2.2 高斯投影的分带	138
8.2.3 高斯平面直角坐标系	140
8.3 通用横轴墨卡托投影	142
8.3.1 通用横轴墨卡托投影的概念	142
8.3.2 UTM 投影计算公式	143
8.4 兰勃特投影	144
8.4.1 兰勃特投影基本概念	144
8.4.2 兰勃特投影平面	145
8.4.3 兰勃特投影长度比和投影带划分	151
第 9 章 椭球面元素归算至高斯平面	154
9.1 高斯投影正反算	154

88	9.1.1 正形投影	154
88	9.1.2 高斯投影正反算公式	159
88	9.2 高斯坐标的邻带换算	171
00	9.2.1 高斯坐标邻带换算原理	171
40	9.2.2 应用高斯投影正、反算公式间接进行换带计算	172
40	9.2.3 应用换带表直接进行换带计算	173
70	9.3 大地控制网元素归算至高斯平面	176
00	9.3.1 椭球面三角网至高斯平面的归算内容	176
20	9.3.2 平面子午线收敛角	178
20	9.3.3 方向改正	181
70	9.3.4 坐标方位角的归算	184
11	9.3.5 距离改正	185
	9.4 工程投影面与投影带选择的概念	190
41	9.4.1 工程测量中投影面和投影带选择的原因	191
12	9.4.2 工程测量中几种可能采用的直角坐标系	192
12		
	第10章 现代大地测量技术发展及应用	195
20	10.1 GPS	195
	10.1.1 定义	195
30	10.1.2 GPS 系统组成	196
00	10.1.3 其他卫星导航定位系统	198
30	10.1.4 GPS 定位的基本原理	199
18	10.1.5 GPS 定位精度的误差来源	199
20	10.1.6 GPS 的用途	201
70	10.2 卫星激光测距	205
70	10.2.1 卫星激光测距原理	206
80	10.2.2 卫星激光测量系统	206
40	10.2.3 月球激光测距	207
50	10.3 甚长基线干涉测量	208
50	10.3.1 VLBI 大地测量原理	208
40	10.3.2 VLBI 的用途	208
40	10.4 摄影测量与遥感技术	210
40	10.4.1 摄影测量的发展	210
20	10.4.2 摄影测量相关概念	211
12	10.4.3 摄影测量与遥感技术的结合	213
	10.5 地理信息系统	217
20	10.5.1 GIS 的发展历程及相关知识介绍	218
12	10.5.2 GIS 的组成	220

10.5.3 GIS 主要功能	222
10.5.4 GIS 的新技术	223
10.6 重力测量	227
10.6.1 绝对重力测量	227
10.6.2 相对重力测量	227
10.6.3 航空重力测量	227
10.6.4 卫星重力测量	228
附录 球面三角形的基本知识	230
参 考 文 献	234

第 1 章 绪 论

大地测量学是测绘学和地球科学的分支学科。现代科学技术的成就,导致大地测量学经历了跨时代的革命性转变,突破了传统经典大地测量学的时空局限,进入了以空间大地测量为主的现代大地测量学的发展新阶段。本章简要介绍大地测量学的定义、任务、分类、作用以及发展趋势等。

1.1 大地测量学的定义与任务

大地测量学,又称为测地学。根据德国著名大地测量学家 F. R. Helmert 的经典定义,大地测量学是研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及测定地面点几何位置的学科。从学科性质看,大地测量学既是一门应用性学科,又是一门基础性学科。一方面,大地测量学作为一门应用性学科,是测绘学(又称地理空间信息学)的一个分支学科。测绘学的主要研究对象是地球及其表面的各种形态,为此,首先要研究和测定地球的形状、大小及其重力场,并在此基础上建立一个统一的坐标系统,用以表示地表任一点在地球上的准确几何位置,所以人们常把大地测量称为测制地图的“第一道工序”。另一方面,大地测量学作为一门基础性学科,又是地球物理学的一个分支。地球物理学的研究对象是地球的运动、状态、组成、作用力和各种物理过程。对此,大地测量提供的高精度、高分辨率、适时、动态和定量的空间信息,是研究地球自转、地壳运动、海平面变化、地质灾害预测等地球动力学现象的重要手段之一。

大地测量学中,测定地球的大小,是指测定地球椭球体的大小;研究地球形状,是指研究大地水准面的形状;测定地面点的几何位置,是指测定以地球椭球面为参考的地面点的位置。将地面点沿法线方向投影于地球椭球面上,用投影点在椭球面上的大地纬度和大地经度表示该点的水平位置,用地面点至投影点的法线距离表示该点的大地高程。点的几何位置也可以用一个以地球质心为原点的空间直角坐标系中的三维坐标来表示。

1.2 大地测量学的分类

大地测量学按所研究的地球空间的范围大小,可分为高等测量学(理论大地测量学)、大地控制测量学、海洋大地测量学和工程大地测量学。高等测量学是以整个地球形体为研究对象,整体地确定地球形状及其外部重力场,建立大地测量参考系。大地控制测量是在一个或几个国家范围内,在适当选定的参考坐标系中,测定一批足够数量的

地面点的坐标和高程,建立国家统一的大地控制网,以满足地形图测绘和工程建设的需要。海洋大地测量是在海洋范围内布设大地控制网,实现海面和水下定位,测定海洋重力场、海面地形和海洋大地水准面等。工程大地测量是在一个局部小范围内测定地球表面的细部,通常以水平面作为参考面。高等测量学、大地控制测量学、海洋大地测量学和工程大地测量学之间存在着密切的联系。国家大地控制测量和海洋大地测量需要全球大地测量所确定的大地测量常数和参考基准,以便对观测结果进行顾及地球曲率和重力场影响的归算。而国家大地控制测量和海洋大地测量的结果又为理论大地测量学提供了地球表面的几何和物理量度信息。平面测量必须与国家大地控制网相连接,以使其成果纳入国家统一的坐标系中。

大地测量学按其研究的地球的时空属性,可分为几何大地测量学、物理大地测量学、空间大地测量学。几何大地测量学是用几何方法研究地球的形状和大小,将地面大地控制网投影到规则的参考椭球面上,并以此为基础推算地面点的几何位置。物理大地测量学是研究全球或局部范围内的地球外部重力场,用物理方法建立地球形状理论,并用重力测量数据研究大地水准面相对于地球椭球的起伏。空间大地测量学主要是采用空间手段研究人造地球卫星及其他空间探测器为代表的空间大地测量的理论、技术与方法,最精确有效、贡献最大的空间测量技术主要有卫星激光测距、甚长基线干涉测量、卫星重力和卫星测高技术、全球卫星导航定位系统技术。

大地测量学按实现基本任务的技术手段,可分为地面大地测量学(常规大地测量学,又称天文大地测量学)、空间大地测量学(卫星大地测量学)和惯性大地测量学。地面大地测量是应用光电仪器进行短距离(一般小于50km)地面几何测量(边角测量、水准测量、大地天文测量)和地面重力测量,以间接的方式确定地面点的水平位置和高程,并求解局部重力场参数。空间大地测量是通过观测地外目标(人造地球卫星、类星体射电源等)来实现地面点的定位,包括相对定位和相对地心的绝对定位,应用卫星重力技术获取全球覆盖的重力场信息。惯性大地测量是利用运动物体的惯性力学原理进行地面点的相对定位,并测定重力场参数。

1.3 大地测量的作用

大地测量在国家经济建设、国防建设、地学研究和社会主义信息化进程中具有重要的作用,以下对此进行简述。

1. 大地测量在地形图测绘、工程建设和交通运输方面的作用

在地形图测绘和工程建设的在工作中,大地测量的作用主要体现在以下三方面:

①统一坐标系统。国家基本地形图通常是不同部门在不同时期、不同地区分幅测绘的。由于大地控制网点的坐标系统是全国统一的,精度均匀,因此,不管在任何地区任何时间开展测图工作都不会出现漏测或重叠,从而保证了相邻图幅的良好拼接,形成统一整体。

②解决椭球面和平面的矛盾。地图是平面的,但地球接近于旋转椭球体,其表面是不可展平的曲面,如强制展平将会出现皱褶或破裂。也就是说,不能直接把球面上的地

形测绘在平面图上。但是,大地控制点在椭球面上的位置通过一定的数学方法可以换算为投影平面上的位置,根据这些平面点位就能在平面上测绘地图了。

③控制测图误差的积累。在测图工作中难免存在误差。例如,描绘一条方向线、量一段距离等都会存在误差,这些误差在小范围内是不明显的,但在大面积测图中将逐渐传递和积累起来,使地形、地物在图上或实地的位置产生较大偏差。如果以大地网作为测图控制基础,就能把误差限制在相邻控制点之间而不致积累传播,从而保证了测图和施工的精度。

因此,测绘地形图首先要布设一定密度的大地控制点。传统大地测量作业效率低、周期长、劳动强度大、投资高,随着我国经济的高速发展,对各类中、大比例尺地图的需求迅速增长,要求有快速精密定位和快速测图技术的保障。现在全球定位系统(GPS)能以5~10min的时间(传统方法需要几小时到几天)和厘米级精度测定一个点位;GPS用于航空摄影和地面自动测图系统,可以解决快速大比例尺成图的问题。

在工程建设中,大地测量的重要作用主要体现在以下几个方面:

①建立测图控制网。在工程设计阶段建立用于测绘大比例尺地形图的测图控制网,为设计人员进行建筑物设计或区域规划提供大比例尺地形图。

②建立施工控制网。施工测量的主要任务是将图纸上设计的建筑物放样到实地,满足不同的工程测量的具体任务。例如,隧道施工测量的主要任务是保证对向开挖的隧道能按照规定的精度贯通。放样过程中,仪器所安置的方向、距离都是依据控制网计算出来的,因而在施工放样前,需建立具有必要精度的施工控制网。

③建立变形观测专用控制网。在工程施工过程中和竣工后的运营阶段建立以监测建筑物变形为目的的变形观测专用控制网。由于在工程施工阶段改变了地面的原有状态,加之建筑物本身的重量将会引起地基及其周围地层的不均匀变化(变形)。这种变形,如果超过某一限度,就会影响建筑物的正常使用,严重的还会危及建筑物的安全。为保证建筑物在施工、使用和运营过程中的安全,必须进行变形监测。

2. 大地测量在空间技术和国防建设中的作用

航天器(卫星、导弹、航天飞机和行星际宇宙探测器等)的发射、制导、跟踪、遥控以至返回都需要大地测量的保障:一是需要大地测量提供精密的大地坐标系以及地面点(如发射点和跟踪站)在该坐标系中的精确点位;二是需要大地测量提供精密的全球重力场模型和地面点的准确重力场参数(重力加速度、垂线偏差等)。

大地坐标系用于描述航天器相对于地球体的运动,由分布于地球表面一定数量的已知精确地心坐标的基准点实现,大地坐标系的建立包括确定其坐标轴的定向和一个由4个基本参数(a, j_2, w, GM)定义的正常地球椭球。在航天工程中,通过由测控站(含测控船)组成的航天测控网来确定航天器的运动状态(轨道、姿态)和工作状态,对航天器运动状态进行控制、校正并建立航天器的正常状态,对航天器在运行状态下进行长期管理等。测控站在大地坐标系中的精密位置由大地测量方法精确测定,实施测控作业时,通过测定测控站至航天器的径向距离、距离变化率、位置角等,由已知站坐标解算航天器的位置。

重力场模型提供分析、描述和设计地球表面及其外空间一切运动物体力学行为的先

验重力场约束。卫星的精密定轨依赖于在其定轨动力学方程中给定的扰动重力位展开系数的准确程度,低阶地球重力场模型可保证低轨卫星分米级的定轨精度。随着行星际探测技术的发展,产生了空间微重力学这门边缘学科,这将为研究宇宙飞船上试验物的微重力效应,高精度的地球重力场模型提供主要依据。

军事大地测量还为中近程导弹阵地、巡航导弹阵地、炮兵阵地、雷达阵地、机场、港口、边防、海防、重要城市等重点军事地区和军事设施的联测建立基础控制网点,并为这些应用场合提供地球重力场数字模型和坐标转换模型。

当前,军事测绘在高技术战争中已直接参与指挥和决策,在指挥、控制、通信和情报系统(C3I系统)中,军事大地测量与卫星定位技术系统和成果,如单兵定位系统、GPS制导系统、打击目标的精确三维坐标等起到了特殊作用,该系统的指挥、控制和决策功能必须要以实时定位信息为依托。例如,指挥官要在电子地图上选定打击目标,分配空中火力,制定参战飞机攻击系列来指挥空战行动,从统帅部指挥控制系统的大屏幕上到各指挥中心的荧光屏上都显示着真实、准确、生动的电子地图与叠加各种军事情况标号的作战要图,在数字地形信息数据库的支撑下建立起陆海空天电一体战的链路网络,保障指挥部与各参战部队之间指挥与控制信息畅通,等等。

从古代战争到现代战争,都需要相应的军事大地测量保障,在高技术条件下,军事大地测量与卫星定位的作用将更显得突出。大地测量从来就同军事结有不解之缘,由此也形成了大地测量信息的保密体制。

3. 大地测量在地球科学研究中的作用

大地测量学是地学领域中的基础性学科,即为人类的活动提供地球空间信息的学科。社会经济的迅速发展,人口的增长,人类可利用的地球空间受到严峻的约束。现代大地测量学的进展,空间大地测量手段的引入,以及其对推动地球科学发展的巨大作用正是由于大地测量已能广泛地获取地球活动的信息,从而使大地测量能在更深层次上加强在地球科学中的基础性地位,现代大地测量技术已成为支持“活动论”研究方向的强有力的工具,能为当代地球科学研究提供更丰富、更准确的信息,主要贡献表现为以下几个方面:

①提供更为精密的大地测量信息。甚长基线测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)和GPS能以大约1毫米/年的速度测定精度测定板块相对运动速度,从而实测数据直接计算板块相对运动的欧拉向量。过去20年已由大地测量技术获得了板块运动的大量数据,检验了由地质数据导出的现代板块运动模型NUVEL-1的正确性,并建立了实测模型。目前大地测量正以前所未有的空间和时间分辨率测定全球、区域和局部地壳运动,据此可建立板块内部应力和应变的模型,以检验刚性板块假说的真实程度,推算板块内部变量,并为解释板块内的断裂作用、地震活动及其他构造过程提供依据。目前,有些地质和构造事实还不能用板块学说解释,这一学说还要发展完善,大地测量将有可能对此作出贡献。

②探索地球物理现象的力学机制,获取表征地球运动和形变的参数,如板块运动的速率、固体潮的洛夫数、地壳形变的速度和加速度等。

③通过一系列的卫星重力测量计划和陆地、海洋的更大规模重力测量,将提供更精

细的地球重力场,这一大地测量成果也将对解决地球构造和动力学问题提供重要的分析资料。

④应用空间大地测量技术(特别是卫星海洋测高)可以高精度监测海面变化并确定海面地形及其变化,这些信息可用于研究地球变暖问题、大气环流和海洋环流等气象学和海洋学问题。

地球作为一个动态系统,存在着极其复杂的各类动力学过程,大地测量学以其本身独特的理论体系和测量手段,提供了有关动力学过程各种时空尺度上定量和定性的信息,为地学的研究提供了可贵的资料。

4. 大地测量在资源开发、环境监测与保护中的作用

资源开发,尤其是能源开发是当前经济高速发展的紧迫问题,无论是陆地还是海洋资源勘探,各种比例尺的地形图和精密的重力资料是必不可少的资料。例如,20世纪80年代初在我国西北地区柴达木盆地建立的多普勒卫星网以及该地区进行的重力测量对这一大油田的勘探、开发提供了精密的大地测量数据。对海底大陆架油气田的勘探和开发,大地测量显得更加重要。由卫星雷达测高资料结合近海船舶重力测量,联合沿海验潮站之间的水准测量可以给出近海海域具有较高精度和分辨率的海洋大地水准面和海面地形以及重力异常图;应用海面无线电定位,特别是GPS海洋定位,联合声呐海地定位可建立海洋三维大地测量控制网,测制大比例海底地形图。海洋大地测量资料结合海洋磁测、钻探岩石采样标本等海洋地球物理探测资料可判明估测海底油气构造和储量;海洋大地测量资料还可以为准确确定钻井井位、海上和水下作业、钻井平台的定位(或复位)、海底管道敷设、水下探测器的安置或回收等提供设计施工依据。卫星定位技术实时、快速、精确的特点可以为资源勘探与开采中的动态信息管理、生产指挥决策和安全可靠运行提供必要保障。大地测量贯穿资源开发从探测到开采的全过程,先进的大地测量技术将为我国勘探开发矿产资源,特别是向海洋索取能源发挥重要作用。

地球温室效应以及海洋大气的污染是当今世人关注的全区域性环境问题。像我国这样的发展中国家还存在地区性环境恶化问题,如森林覆盖面积缩小、草原退化等生态失衡引起的水土流失、沙漠化等;能源结构中煤炭比重过高引起的工业城市大气含尘量过高、酸雨频繁出现等;由工业废弃物排放失控引起的大范围水体污染等。环境恶化不仅危及人类生存条件和生活质量,也是经济发展的严重制约因素。地球温室效应的影响已引起各国科学家的普遍重视,这一问题被列为1992年世界环境与发展问题大会重要议题就是一个例证。温室效应将引起极地冰盖厚度变薄、全球海水密度减低以及海平面上升。按现在的估测,海平面以每年0.5~1.5mm的速度上升,几十年后造成的海岸后退、陆地减少和海水侵入使土地碱化等环境变化,将严重危及海岸地区居民的生产条件,太平洋一些岛屿将被海水淹没。认真对待温室效应的战略就是精密监测这一过程,控制这一过程的人为因素(如降低二氧化碳排放量、禁止滥伐森林等)。监测这一全球变化的最有效手段是大地测量,主要方法是利用GPS将全球验潮站联测到VLBI和SLRR站上,以便在精确的大地坐标系中根据长期监测结果分析海面变化。近期实施的卫星重力梯度计划监测到了极地冰融产生重力变化,同样预计实施的空基卫星激光测距系统有可能直接观测到极地冰盖厚度的变化。

在当今世界各国都认识到在发展经济的同时必须采取保护环境的对策。环境问题是一个全球性问题,巴西亚马孙河流域热带雨林和东南亚地区热带雨林的日益萎缩,非洲原始森林的破坏,一些地区沙漠化的蔓延都将严重影响全球气候、造成大范围的水旱灾害。为此必须建立一个全球性的环境监测系统,各个国家也应有一个完善的监测系统,主要措施是发展遥感卫星,建立动态地理信息系统(GIS),对环境变化定期做出准确的定量评估。发展这种监测系统也需要大地测量的支持,发射近地卫星需要精密的地球重力场模型,发射站和跟踪站需要准确的地心坐标,建立地理信息系统也需要有点位和控制信息,尽管大地测量在这个系统中是间接的,但却是重要和不可缺少的。

5. 大地测量在防灾、减灾和救灾中的作用

各种自然灾害,特别是地震、洪水和强热带风暴常给人类带来巨大的破坏和损失。就我国而论,国家有关部门估计单地质灾害年损失为274亿元,在灾害频发的年代,各种自然灾害造成的损失高达国民生产总值的1/6。因此,世界各国都十分注意防灾、抗灾问题。目前,除了热带风暴基本上能准确预报外,大地震成功预防率只有20%,反映了我们对地球的认识还很肤浅。提高人类预防自然灾害的能力还要做长期的努力。防灾、抗灾、减灾是包括大地测量在内的地球科学的重要任务。

随着遥感、无人机观测、SLR、GPS等技术的发展,大地测量在预防和救灾过程中发挥着越来越重要的作用。大地测量可以监测震前、同震、震后应变积累和释放的全过程,结合钻孔应变仪、台站伸缩仪和蠕变仪等地球物理监测结果,将有可能建立发震前兆模式。1975年海城短期地震预测的成功,就是利用了明显的短期地震前兆。1986年用大地测量方法准确地预测了长江新滩附近的严重滑坡,防止居民的伤亡,减轻可能损失。2014年8月在云南鲁甸地震中,国防科工局通过对国内外18颗遥感卫星实时传回的地震灾区的影像进行分析,及时高效的地震救援,从而减小地震造成的二次伤害。

1.4 大地测量学的发展简史与趋势

1.4.1 大地测量学的发展简史

大地测量学是伴随人类对地球认识的不断深化而逐渐形成和发展起来的。

1. 萌芽阶段
17世纪以前,大地测量学处于萌芽状态。公元前3世纪,埃拉托色尼首先应用几何学中圆周上一段弧的长度、对应的中心角同圆半径的关系,计算地球的半径长度。公元724年,中国唐代的南宫说等人在张遂一行的指导下,首次在今河南省境内实测一条长约300千米的子午弧。其他国家也进行过类似的工作,但当时测量工具简陋,技术粗糙,所得结果精度并不高,只是测量地球大小的尝试。

2. 大地测量学科的形成
人类对于地球形状的认识在17世纪有了较大的突破。继牛顿(I. Newton)于1687年发表万有引力定律之后,荷兰的惠更斯(C. Huygens)于1690年在其著作《论重力起因》中,根据地球表面重力值从赤道向两极增加的规律,得出地球的外形为两极略扁的扁球

体的论断。1743年,法国的克莱洛(A. C. Clairaut)发表了《地球形状理论》,提出了用重力测量的方法求出地球形状的克莱洛定律(图 1-1)。惠更斯和克莱洛的研究为用理论学

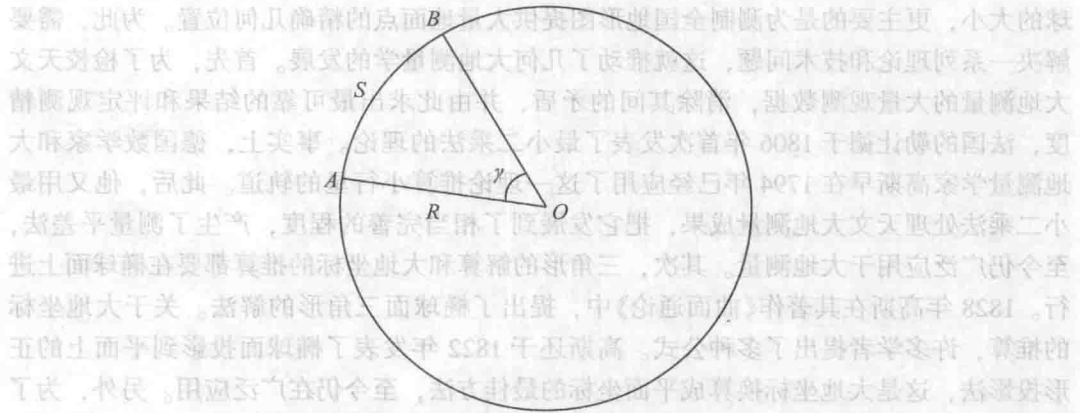


图 1-1 地球半径的测算

观点研究地球形状奠定了理论基础。此外,17世纪初荷兰的斯涅耳(W. Snell)首创了三角测量。这种方法可以测算地面上相距几百公里,甚至更远的两点间的距离,克服了在地面上直接测量弧长的困难。之后又随着望远镜、测微器、水准器等发明,测量仪器精度大幅度地提高,为大地测量学的发展奠定了技术基础。因此,可以说大地测量学是在17世纪末形成的。

(1) 弧度测量

1683—1718年,法国卡西尼父子(G. D. Cassini 和 J. Cassini)在通过巴黎的子午圈上用三角测量法测量弧幅达 $8^{\circ}20'$ 的弧长,推算出地球椭球的长半轴和扁率。由于天文纬度观测没有达到必要的精度,加之两个弧段相近,以致得出了负的扁率值,即地球形状是两极伸长的椭球,与惠更斯根据力学定律作出的推断正好相反。为了解决这一疑问,法国科学院于1735年派遣两个测量队分别赴高纬度地区拉普兰(位于瑞典和芬兰的边界上)和近赤道地区秘鲁进行子午弧度测量,全部工作于1744年结束。两处的测量结果证实,纬度愈高,每度子午弧愈长,即地球形状是两极略扁的椭球。至此,关于地球形状的物理学论断得到了弧度测量结果的有力支持。

另一个著名的弧度测量是J. B. J. 德朗布尔于1792—1798年间进行的弧幅达 $9^{\circ}40'$ 的法国子午弧的测量。由这个新子午弧和1735—1744年间测量的秘鲁子午弧的数据,推算了子午圈一象限的弧长,取其千万分之一作为长度单位,命名为一米。这是米制的起源。

从18世纪起,继法国之后,一些欧洲国家也都先后开展了弧度测量工作,并把布设方式由沿子午线方向发展为纵横交叉的三角锁或三角网。这种工作不再称为弧度测量,而称为天文大地测量。中国清代康熙年间(1708—1718年)为编制《皇舆全览图》,曾实施大规模的天文大地测量。在这次测量中,也证实高纬度的每度子午弧比低纬度的