

///
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程专业核心教材



普通高等教育“十五”国家级规划教材

大地测量学基础

Foundation of Geodesy

孔祥元 郭际明 刘宗泉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校测绘工程专业核心教材



普通高等教育“十五”国家级规划教材

大地测量学基础

Foundation of Geodesy

孔祥元 郭际明 刘宗泉 编著



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/孔祥元,郭际明,刘宗泉编著. —武汉:武汉大学出版社,2006.1

高等学校测绘工程专业核心教材

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-307-04837-X

I. 大… I. ①孔… ②郭… ③刘… II. 大地测量学—高等学校—教材 IV. P22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 137180 号

责任编辑:王金龙 责任校对:王 建 版式设计:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:武汉大学出版社印刷总厂

开本:787×1092 1/16 印张:26.125 字数:664千字

版次:2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

ISBN 7-307-04837-X/P·114 定价:39.50元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

教材重点内容是全面系统地阐述大地测量学的基本概念、基本理论和测量技术与方法。主要内容是研究地球(也涉及月球和行星)形状的确立及地面点的精密定位。全书共6章。首先阐明了大地测量学定义、地位与作用、体系和内容、发展简史与未来展望等基本概念。接着系统地论述了大地测量学的基本理论,其中包括大地测量用的时间系统和坐标系,协议天球坐标系及协议地球坐标系,大地坐标系的建立原理,大地基准参数,坐标微分方程及坐标系间相互变换等基本理论;地球运动,地球重力场基础,高程系,大地水准面差距及地球形状确定等基本理论;地球椭球的数学性质,大地主题解算原理及方法,椭球投影变换及坐标正反算,坐标邻带换算等测量计算方面的基本理论。随后详细地叙述了大地测量的基本测量技术与方法,重点内容是建立国家及工程测量控制网的基本原则,国家平面大地控制网,高程控制网,重力网, GPS 原理及外业的技术设计与实施方法,电磁波在大气中传播,大地测量仪器,大地测量各种内、外业工作,包括水平角、天顶距、距离、水准、天文、重力等方面的测量技术与方法,大地测量数据处理数学模型以及大地测量数据库建立及维护与使用等。最后对包括测量月球及其他行星为主要对象的深空大地测量的基本概念和理论与技术等内容作了简明介绍。

本书是“十五”国家级规划教材,严格按照教育部批准的“十五”国家级规划教材立项要求和全国高等学校测绘学科教学指导委员会以及武汉大学的具体要求进行编写,是全国高等学校测绘工程专业本科教学用教材,也可供从事测绘工程专业及相关专业的科技人员、管理人员及研究生等参考。

序

本书是经全国高等学校测绘学科教学指导委员会向教育部申请,并被批准的国家“十五”规划教材,适用于高校测绘工程本科专业。教材围绕大地测量时空基准、精密定位、数据处理、地球重力场的确定以及月球及其他行星测量等问题,阐述大地测量学的基本概念、基本理论和测量技术与方法。它是在武汉大学测绘工程本科专业所使用的《大地测量学基础》教材的基础上,广泛吸取了我国十余所高校测绘工程专业有关大地测量学科教师的教学以及教材编写的经验和意见,重新编写的一本新教材。

从大地测量学教学的角度看,本教材具有如下显著的特点:

1. 为了适应测绘工程专业的教学需要,本教材是在现代大地测量学科理论体系的框架下,以几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学的理论与方法为主线,参考了已经出版和使用过的数种同类教材,统筹整合和精选重组全书内容,既加强基础,又充分体现现代科学新成就。从而让学生以整体性、系统性和科学性的思维方法吸取和掌握大地测量学知识。

2. 本书内容面向当代和未来,面向国内外先进标准和水平,尽量吸收国内外最新成果,具有一定的前瞻性。鉴于“大地测量学基础”是测绘工程专业所有专业方向学生必修的一门专业技术课,它涵盖了几何大地测量学、物理大地测量学和空间大地测量学的内容,因此本教材以“基本概念、基本理论、基本技术”为依据精选和组织教材内容,重点突出,符合教学规律,适宜组织教学。

3. 本书始终坚持大地测量学理论密切联系测绘工程实际的原则,合理安排实践性教学环节。这些实践性教学环节不仅有大地测量综合实习和课程设计以及 GPS、精密水准实习等,而且还涉及诸如计算机编程、计算方法等多方面的知识,实践内容比较广泛,有利于培养复合型人才的综合业务素质和实际工作能力。

4. 本书恰当地处理了同先前课程和后续课程之间的关系。为避免课程之间内容的重复,对涉及先前课程的内容适当提高了起点,对与后续课程有联系的内容,通过开窗口的方式使学生拓宽视野,为后续学习做好铺垫。

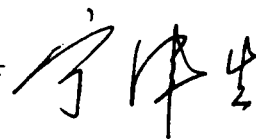
5. 与本教材的教学内容相配套,还编制了相应的多媒体教学课件和大地测量计算软件,充分利用这些先进的教学手段提高本课程的教学质量。

这本《大地测量学基础》是测绘工程专业课程改革和建设的一种尝试,也是我国第一本具有整合性、综合性和概括性,并适用于测绘工程专业及其他相关专业本科教学的大地测量学新教材。它灌注了作者多年的科研和教学经验,基本上符合大地测量学科的认识和发展规律,能满足目前大地测量学课程的教学需要。当然一本新教材是否适用,还需要在教学实践中去检

验。希望有更多高校的测绘工程专业能使用这本教材,让它在教学实践中不断吸取大家的意见,以便改进和完善。

全国高等学校测绘学科教学指导委员会主任

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '宁津生'.

2005年9月22日于武汉大学

前 言

《大地测量学基础》是教育部批准的“十五”国家级规划教材,可作为测绘工程专业本科教材和相关专业本科教学用书,也可作为测绘类或相关专业的从事科研、生产和管理工作的人员参考。

大地测量学是测绘学科及其相关学科的基础,在促进地球科学和空间科学发展、在国民经济建设和国防建设、在安全监测和社会保证中都有重大意义,在测绘工程专业高素质人才的培养计划中具有重要的地位并发挥着重大作用。它的主要内容是研究地球形状、大小及外部重力场的确定及地面点的精确定位,为社会和科学发展提供大地基准和地球空间应用信息。本书根据大地测量学的基本体系和内容,参考了现有的多本科学著作和教材,并吸收最新的科学技术成果,在原《大地测量学基础》教材的基础上编写而成,但在内容上却有了比较大调整、补充和扩展,使其更为合理和便于教学。本书共6章,比较全面地阐明了大地测量的基本概念、基本原理和基本技术与方法。第1章绪论,侧重于大地测量学的基本概念。包括大地测量学的定义和内容、地位与作用、体系和内容、发展简史及未来展望。第2、3、4章侧重于大地测量学的基本理论。其中,第2章是时间系统和坐标系统,包括恒星时、世界时、历书时、原子时,协议天球坐标系、协议地球坐标系及坐标系间转换等;第3章包括地球重力场基础,地球形状确定等方面的基本理论;第4章是椭球面上的测量计算及椭球投影变换的原理,坐标邻带换算等大地控制测量计算方面的基本理论。第5章是大地测量的基本测量技术与方法,比较全面地介绍了建立国家及工程测量控制网的基本原则,大地测量的仪器和内外业技术与大地测量数据处理及数据库建立等方面的知识。最后,第6章是深空大地测量介绍,这是当今测绘工作者应该要了解的必要内容。

本书严格按照教育部批准的“十五”国家级规划教材立项要求和全国高等学校测绘学科教学指导委员会和武汉大学的具体要求进行编写。参加本书编写的有孔祥元、郭际明、刘宗泉。其中孔祥元编写第1、第3、第4、第6章及第5章部分内容,郭际明编写第2章,刘宗泉编写第5章大部分内容。此外,张松林、丁士俊、苏新洲、程新明等也为本书编写做了许多有益工作。全书由孔祥元主编并负责统稿工作。

在本书编写过程中,始终得到全国高等学校测绘学科教学指导委员会主任、中国工程院院士宁津生教授的关注、指导和支持,并为此书作序,在此特向宁津生院士表示衷心感谢。解放军信息工程大学、海军大连舰艇学院、同济大学、中国矿业大学、辽宁工程技术大学、长安大学、中国地质大学、中国石油大学、桂林工学院等兄弟院校测绘工程专业老师们提出了许多宝贵的意见和建议;徕卡测量系统公司(北京)及欧亚测量仪器公司徐忠阳和余峰先生提供了宝贵的资料和大力协助;武汉大学教务部和测绘学院领导和老师们予以直接指导与帮助,特别是武汉大学出版社理工事业部主任任翔和责任编辑王金龙为本书的出版做了许多艰苦细致的工作。

借此书出版之际,谨对上述领导、专家和朋友们一并表示深深的感谢。

测绘工程专业教学改革和课程建设是一项艰巨的系统工程,《大地测量学基础》的出版仅仅是其中的一个改革尝试,由于我们的水平所限,难免有错误和不妥之处,欢迎专家和读者批评指正。

编 者

2005年9月16日于武汉大学

目 录

序	1
前 言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 大地测量学的定义和作用	1
1.1.1 大地测量学的定义	1
1.1.2 大地测量学的地位和作用	1
1.2 大地测量学的基本体系和内容	3
1.2.1 大地测量学的基本体系	3
1.2.2 大地测量学的基本内容	4
1.2.3 大地测量学同其他学科的关系	4
1.3 大地测量学的发展简史及展望	6
1.3.1 大地测量学的发展简史	6
1.3.2 大地测量的展望	12
第 2 章 坐标系统与时间系统	16
2.1 地球的运转	16
2.1.1 地球绕太阳公转	16
2.1.2 地球的自转	16
2.2 时间系统	19
2.2.1 恒星时(ST)	19
2.2.2 世界时(UT)	20
2.2.3 历书时(ET)与力学时(DT)	21
2.2.4 原子时(AT)	21
2.2.5 协调世界时(UTC)	22
2.2.6 卫星定位系统时间	22
2.3 坐标系统	23
2.3.1 基本概念	23
2.3.2 惯性坐标系(CIS)与协议天球坐标系	26
2.3.3 地固坐标系	28
2.3.4 坐标系换算	42
第 3 章 地球重力场及地球形状的基本理论	48

3.1 地球及其运动的基本概念	48
3.1.1 地球概说	48
3.1.2 地球运动概说	50
3.1.3 地球基本参数	55
3.2 地球重力场的基本原理	56
3.2.1 引力与离心力	56
3.2.2 引力位和离心力位	57
3.2.3 重力位	60
3.2.4 地球的正常重力位和正常重力	62
3.2.5 正常椭球和水准椭球,总的地球椭球和参考椭球	73
3.3 高程系统	74
3.3.1 一般说明	74
3.3.2 正高系统	74
3.3.3 正常高系统	75
3.3.4 力高和地区力高高程系统	78
3.3.5 国家高程基准	79
3.4 关于测定垂线偏差和大地水准面差距的基本概念	82
3.4.1 关于测定垂线偏差的基本概念	82
3.4.2 关于测定大地水准面差距的基本概念	84
3.5 关于确定地球形状的基本概念	91
3.5.1 天文大地测量方法	91
3.5.2 重力测量方法	93
3.5.3 空间大地测量方法	94
第4章 地球椭球及其数学投影变换的基本理论	97
4.1 地球椭球的基本几何参数及其相互关系	97
4.1.1 地球椭球的基本几何参数	97
4.1.2 地球椭球参数间的相互关系	98
4.2 椭球面上的常用坐标系及其相互关系	99
4.2.1 各种坐标系的建立	99
4.2.2 各坐标系间的关系	101
4.2.3 站心地平坐标系	105
4.3 椭球面上的几种曲率半径	105
4.3.1 子午圈曲率半径	106
4.3.2 卯酉圈曲率半径	107
4.3.3 主曲率半径的计算	108
4.3.4 任意法截弧的曲率半径	110
4.3.5 平均曲率半径	111
4.3.6 M, N, R 的关系	112
4.4 椭球面上的弧长计算	112

4.4.1	子午线弧长计算公式	112
4.4.2	由子午线弧长求大地纬度	116
4.4.3	平行圈弧长公式	117
4.4.4	子午线弧长和平行圈弧长变化的比较	117
4.4.5	椭球面梯形图幅面积的计算	118
4.5	大地线	119
4.5.1	相对法截线	119
4.5.2	大地线的定义和性质	120
4.5.3	大地线的微分方程和克莱劳方程	121
4.6	将地面观测值归算至椭球面	122
4.6.1	将地面观测的水平方向归算至椭球面	122
4.6.2	将地面观测的长度归算至椭球面	125
4.7	大地测量主题解算概述	127
4.7.1	大地主题解算的一般说明	127
4.7.2	勒让德级数式	129
4.7.3	高斯平均引数正算公式	132
4.7.4	高斯平均引数反算公式	135
4.7.5	白塞尔大地主题解算方法	136
4.8	地图数学投影变换的基本概念	151
4.8.1	地图数学投影变换的意义和投影方程	151
4.8.2	地图投影的变形	151
4.8.3	地图投影的分类	155
4.8.4	高斯投影简要说明	156
4.9	高斯平面直角坐标系	156
4.9.1	高斯投影概述	156
4.9.2	正形投影的一般条件	160
4.9.3	高斯投影坐标正反算公式	164
4.9.4	高斯投影坐标计算的实用公式及算例	170
4.9.5	平面子午线收敛角公式	178
4.9.6	方向改化公式	181
4.9.7	距离改化公式	185
4.9.8	高斯投影的邻带坐标换算	189
4.10	通用横轴墨卡托投影和高斯投影族的概念	192
4.10.1	通用横轴墨卡托投影概念	192
4.10.2	高斯投影族的概念	194
4.11	兰勃脱投影概述	197
4.11.1	兰勃脱投影基本概念	197
4.11.2	兰勃脱投影坐标正、反算公式	197
4.11.3	兰勃脱投影长度比、投影带划分及应用	203

第5章 大地测量基本技术与方法	205
5.1 国家平面大地控制网建立的基本原理	205
5.1.1 建立国家平面大地控制网的方法	205
5.1.2 建立国家平面大地控制网的基本原则	208
5.1.3 国家平面大地控制网的布设方案	210
5.1.4 大地控制网优化设计简介	220
5.2 国家高程控制网建立的基本原理	225
5.2.1 国家高程控制网的布设原则	225
5.2.2 国家水准网的布设方案及精度要求	226
5.2.3 水准路线的设计、选点和埋石	227
5.2.4 水准路线上的重力测量	228
5.2.5 我国国家水准网的布设概况	228
5.3 工程测量控制网建立的基本原理	230
5.3.1 工程测量控制网的分类	230
5.3.2 工程平面控制网的布设原则	230
5.3.3 工程平面控制网的布设方案	232
5.3.4 工程高程控制网的布设	233
5.4 大地测量仪器	234
5.4.1 精密测角仪器——经纬仪	234
5.4.2 电磁波测距仪	239
5.4.3 全站仪	240
5.4.4 GPS 接收机	254
5.4.5 TPS 和 GPS 的集成——徕卡系统 1200-超站仪 (System 1200-SmartStation)	257
5.4.6 精密水准测量的仪器——水准仪	258
5.5 电磁波在大气中的传播	272
5.5.1 一般概念	272
5.5.2 电磁波在大气中的衰减	273
5.5.3 电磁波的传播速度	275
5.5.4 电磁波的波道弯曲	281
5.6 精密角度测量方法	282
5.6.1 精密测角的误差来源及影响	282
5.6.2 精密测角的一般原则	287
5.6.3 方向观测法	287
5.6.4 分组方向观测法	296
5.6.5 归心改正	299
5.7 精密的电磁波测距方法	304
5.7.1 电磁波测距基本原理	304
5.7.2 N 值解算的一般原理	305
5.7.3 距离观测值的改正	309
5.7.4 测距的误差来源和精度表达式	314

5.8	精密水准测量的方法	314
5.8.1	精密水准测量的误差来源及影响	315
5.8.2	精密水准测量的实施	320
5.8.3	水准测量的概算	322
5.8.4	跨河精密水准测量	327
5.9	天文测量方法	334
5.9.1	一般说明	334
5.9.2	天球及天球上的点和弧	335
5.9.3	天球坐标系及其同天文测量的关系	336
5.9.4	天文观测简介	338
5.10	重力测量方法	339
5.10.1	概述	339
5.10.2	绝对重力测量	340
5.10.3	相对重力测量	341
5.10.4	重力基准与重力系统	343
5.11	GPS 测量方法	344
5.11.1	GPS 测量的基本原理	344
5.11.2	GPS 的绝对定位和相对定位基本概念	344
5.11.3	GPS 网的技术设计	345
5.11.4	GPS 网的布网形式	345
5.11.5	GPS 网的设计准则	346
5.11.6	GPS 网的外业观测	347
5.11.7	关于 GPS 测量的归心改正	348
5.12	大地测量数据处理的数学模型	348
5.12.1	GPS 基线向量网在地心空间直角坐标系中平差的数学模型	348
5.12.2	GPS 观测值与地面观测值在参心空间坐标系中平差的数学模型	349
5.12.3	GPS 观测值与地面观测值在平面直角坐标系中平差的数学模型	358
5.13	大地测量数据库简介	367
5.13.1	一般说明	367
5.13.2	大地测量数据库的数据特性	367
5.13.3	大地测量数据库系统设计	368
5.13.4	大地测量数据库的运行与维护	368
第 6 章	深空大地测量简介	369
6.1	深空探测概述	369
6.1.1	深空探测及其特点	369
6.1.2	月球测绘的目标和任务	370
6.1.3	月球及深空大地测量国内外的研究现状及分析	371
6.1.4	探月再次成为世界航天的热点	373
6.2	关于地心引力常数和月心引力常数	374

6.2.1	引言	374
6.2.2	关于地心引力常数	374
6.2.3	关于月心引力常数	376
6.3	关于月球形状中心和月球质量中心	379
6.3.1	引言	379
6.3.2	重力方法确定月球质心的原理	379
6.3.3	月球质心确定的初步结果	382
6.4	关于月球几何形状及月球地形测绘	382
6.4.1	关于月球几何形状的研究	382
6.4.2	关于月球地形和地貌测绘的研究	384
6.5	初识的月球及月球的再认识	386
6.5.1	初识的月球	386
6.5.2	月球基本特性汇总	387
6.6	深空探测基本技术简介	388
6.6.1	探测技术综述	388
6.6.2	单站 $\rho - \dot{\rho} - AE$ 体制中的基本测量原理	389
6.7	深空测控网	393
6.7.1	深空测控网概念	393
6.7.2	深空网的共性功能与共性结构	394
6.7.3	深空站工作任务	394
6.7.4	深空网建造的基本原则	394
6.7.5	深空网概况	395
6.7.6	深空网的未来发展	396
6.8	行星大地测量简介	397
6.8.1	水星 (Mercury)	397
6.8.2	金星 (Venus)	398
6.8.3	地球 (Earth)	398
6.8.4	火星 (Mars)	399
6.8.5	木星 (Jupiter)	401
6.8.6	土星 (Saturn)	401
6.8.7	天王星 (Uranus)	402
6.8.8	海王星 (Neptune)	403
6.8.9	冥王星 (Pluto)	403
6.8.10	彗星	403
主要参考文献		404

第1章 绪 论

1.1 大地测量学的定义和作用

1.1.1 大地测量学的定义

大地测量学(英语 Geodesy, 德语 Geodasie)是在一定的时间-空间参考系统中,测量和描绘地球及其他行星体的一门学科。西语中的大地测量学(Geodesy)的词源是由希腊词: $\gamma \tilde{\eta}$ ——地球及 $\delta \alpha \lambda \omega$ ——我划分组成,最初的意义是陆地测量(land measuring or surveying)。然而随着时代的进步,学科的意义和内容也在发展和变化。在1880年,德国著名大地测量学家赫尔·默特(F. R. Helmert)把它定义为“测量和描绘地球表面的科学”。这个定义既涵盖了原来意义上的内容,同时也包含了测定地球形状,包括外部重力场,以及在地球上进行必须顾及地球曲率的那些测量工作。为了从科学理论和实际技术上加以区别,他后来又应用了术语——高等大地测量学(higher Geodesy or hohere Geodasie),意指理论(数学)大地测量学;和术语:普通大地测量(lower Geodesy or niedere Geodasie),意指地形测量学。现在大家所说的大地测量学(Geodesy)是指前者,但其研究的内容更加广泛和深入,于是有本节开头的定义。

大地测量学是地球科学中的一个分支,而且是发展最活跃、最具有重要地位的一个分支。它的最基本的任务是测量和描绘地球并监测其变化,为人类活动提供关于地球等行星体的空间信息。因此,从本质上讲,它是一门地球信息学科,既是基础学科,又是应用学科。

经典大地测量学是把地球假设为刚体不变,均匀旋转的球体或椭球体,并在一定范围内测绘地球和研究其形状、大小及外部重力场。在这方面,经典大地测量学在理论和技术上均取得了巨大的成就,奠定了几何大地测量及物理大地测量的理论基础和实用方法,为人类社会经济发展作出了重大贡献。但从辩证唯物论的观点来看,这些都还有受时代影响的局限性,还不够完全和完善。因为无论是地球表面及外部空间,还是地球内部构造及演化,都在每时每刻地运动着和发展变化着。这种运动和变化不仅在地区和局域性范围内发生着,而且还在洲际乃至全球范围内进行着。其积累和突变将给人类赖以生存的环境空间带来巨大的影响,甚至直接涉及社会和人类生存的安危。显然,经典大地测量技术很不适应监测地球这种动态变化的要求。直到近30年来,以人造地球卫星及其他空间探测器为代表的先进的空间测绘技术的发展及应用,才把传统的大地测量学推进到以空间大地测量为主要标志的现代大地测量学的新时期。现代大地测量学在许多方面发挥着重大作用。

1.1.2 大地测量学的地位和作用

1. 大地测量学在国民经济各项建设和社会发展中发挥着基础先行性的重要保证作用

国民经济蓬勃发展的各项事业,比如交通运输事业(铁路、公路、航海、航空等),资源开发事业(石油、天然气、钢铁、煤炭、矿藏等),水利水电工程事业(大坝、水库、电站、堤防等),工业企业建设事业(工厂、矿山等),农业生产规划和土地管理,城市建设发展及社会信息管理等,都需要地形图作为规划、设计和发展的依据。可以说,地形图是一切经济建设规划和发展必需的基础性资料。为测制地形图首先要布设全国范围内及局域性的大地测量控制网,为取得大地点的精确坐标,必须要建立合理的大地测量坐标系以及确定地球的形状、大小及重力场参数。因此可以说,大地测量学是一切测绘科学技术的基础,在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性的基础保证作用。

2. 大地测量学在防灾,减灾,救灾及环境监测、评价与保护中发挥着独具风貌的特殊作用

地震、洪水和强热带风暴等自然灾害给人类社会带来巨大灾难和损失。地震大多数发生在板块削减带及板块内活动断裂带,地震具有周期性,是地球板块运动中能量积累和释放的有机过程。在我国以及日本、美国等国家都在地震带区域内建立了密集的大地测量形变监测系统,利用 GPS 和固定及流动的甚长基线干涉(VLBI),激光测卫(SLR)站等现代大地测量手段进行自动连续监测。随着监测数据的积累和完善,地震预报理论及技术可望有新的突破,为人类预防地震造福。大地测量还可在山体滑坡、泥石流及雪崩等灾害监测中发挥作用。世界每年都发生各种灾难事件,如空难、海难、陆上交通事故、恶劣环境的围困等,国际组织已建立了救援系统,其关键是利用 GPS 快速准确定位及卫星通信技术,将难事的地点及情况通告救援组织以便及时采取救援行动。

温室效应等又是人类关注的全球环境问题。对此,科学界正密切关注海水面上升,关注平均气温的变化,关注对农、林业等带来的影响,其中监测海水面变化的最有效的手段就是利用 GPS 技术将全球验潮站联测到 VLBI 及 SLR 站上,以便根据长期监测结果,分析海水面变化,进而分析带来的影响。另外,为监测沙漠、森林、洪水等,主要的措施是发展遥感卫星,建立动态地理信息系统(GIS)。这也必须由大地测量来支持,因为发射近地卫星需要精密的地球重力场模型,发射站及跟踪站需要有准确的地心坐标,发展地理信息系统也需要有足够的大地测量控制点作保证。

3. 大地测量是发展空间技术和国防建设的重要保障

空间科学技术发展水平是当今衡量一个国家综合科技水平和综合国力的重要指标,同时也是评估一个国家国防能力的重要标志。卫星、导弹、航天飞机以及其他宇宙空间探测器的发射、制导、跟踪以及返回等都必须在大地测量保障下才能得以实现。这种保障主要体现在,要有一个精确的地球参考框架(指惯性坐标系及地心地固坐标系)及一个精密的全球重力场模型。前者用于描述空间飞行器在参考框架内的相对运动,后者用于对地球表面及其外空间一切飞行体的分析及设计力学行为的先验重力场约束。地球参考框架主要是由一定量的已知精确坐标的基准点及由四个基本参数(长半轴 a , 地球重力场二阶正常带谐系数 J_2 , 地球自转角速度 ω 及地球引力常数与其质量乘积 GM)决定的正常地球椭球,并实现它的定位和定向。地球重力场模型位展开系数是卫星轨道动力学方程中的决定性参数。从古代战争到现代战争以及未来战争,都需要相应的军事测绘作保障,这主要表现在超前储备保障和动态实时保障。比如战争区域的电子地图、数字地图或数字地形信息库,打击目标的精确三维坐标及区域场景的数字影像地图等,都是现代战争必不可少的测绘文件。而这些测绘资料都是依赖于大地测量技术直接或间接参与而取得的。大地测量历来都与军事结有不解之缘,是现代战争赢得首战必胜的重要技术保障。

4. 大地测量在当代地球科学研究中的地位显得越来越重要

利用卫星测高和重力测量数据结合地球物理资料,更精确地查清了许多海地板块边界分布情况,监测海平面变化和以更高的分辨率确定海面地形;利用卫星重力测量及陆、海的大规模的重力测量提供更准确的重力场模型;VLBI及SLR能以1mm/a的速度分辨率精确测定板块相对运动,能以前所未有的空间分辨率和时间分辨率测定全球、区域或局部的地壳运动,为解释板块内的断裂作用、地震活动以及其他构造过程提供依据等。总之,大地测量能以其本身的独特的理论体系和测量手段,提供有关地球动力过程中时空度量上的定量和定性信息,与其他地学学科一起,共同揭示地球的奥秘。

此外,大地测量学是测绘学科的各分支学科(其中包括大地测量、工程测量、海洋测量、矿山测量、航空摄影测量与遥感、制图及地理信息等)的基础科学,大地测量学的基础理论、手段和方法为测绘学科的发展奠定了坚实的基础,提供了先决条件。大地测量学的发展极大地影响和规定着测绘科学学科的发展。因此,凡从事测绘及相关工作的科技人员都应具备坚实的大地测量学基本知识。

1.2 大地测量学的基本体系和内容

1.2.1 大地测量学的基本体系

很久以来,人们把测量学划分为两个分支:测量学和大地测量学。测量学研究范围是不大的地球表面,以至于在这个范围内把地球表面认为是平面且不损害测量精度,计算时也认为在该范围内的铅垂线彼此是平行的。大地测量学是研究全球或相当大范围内的地球,在该范围内,铅垂线被认为彼此不平行,同时必须顾及地球的形状及重力场。之所以顾及地球重力场是因为地球重力对研究地球形状,对高精度测量及其数据处理都起到不可忽略的重要作用。

常规大地测量学经过不断发展和完善,已形成了完整的体系。主要包括:以研究建立国家大地测量控制网为中心内容的应用大地测量学;以研究坐标系建立及地球椭球性质以及投影数学变换为主要内容的椭球大地测量学;以研究测量天文经度、纬度及天文方位角为中心内容的大地天文测量学;以研究重力场及重力测量方法为中心内容的大地重力测量学,以及以研究大地测量控制网平差计算为主要内容的测量平差等。

大地测量学的发展还与一系列相关学科的发展有着密切的关系。特别是电子学和空间科学的发展,电子计算机、人造地球卫星以及声纳等先进科学技术的出现,使得大地测量学同其他学科相结合出现了许多新的研究方向和分支,极大地发展和丰富了常规大地测量的内容和体系。比如,大地测量学同无线电电子学相结合产生了电磁波测距大地测量学;与天体力学及天文学结合产生了宇宙大地测量学,其中包括月球及行星大地测量学;与海洋地质学及海洋导航学结合形成了海洋大地测量学;与地球物理、海洋地质学及地质学相结合形成了地球动力学;与人造地球卫星学及天体力学相结合形成了卫星大地测量学;以惯性原理为基础,利用加速度计测量运动物体某方向加速度,通过计算机积分计算而得到运动物体空间位置的惯性大地测量学;与线性代数、矩阵、概率统计及优化设计、数值计算方法等相结合形成现代大地测量数据处理学等。以上这些新的方向和分支充分地说明了大地测量学已从传统的大地测量学进入到现代大地测量学的新时期。

综上所述,我们可把现代大地测量学归纳为由以下三个基本分支为主所构成的基本体系。