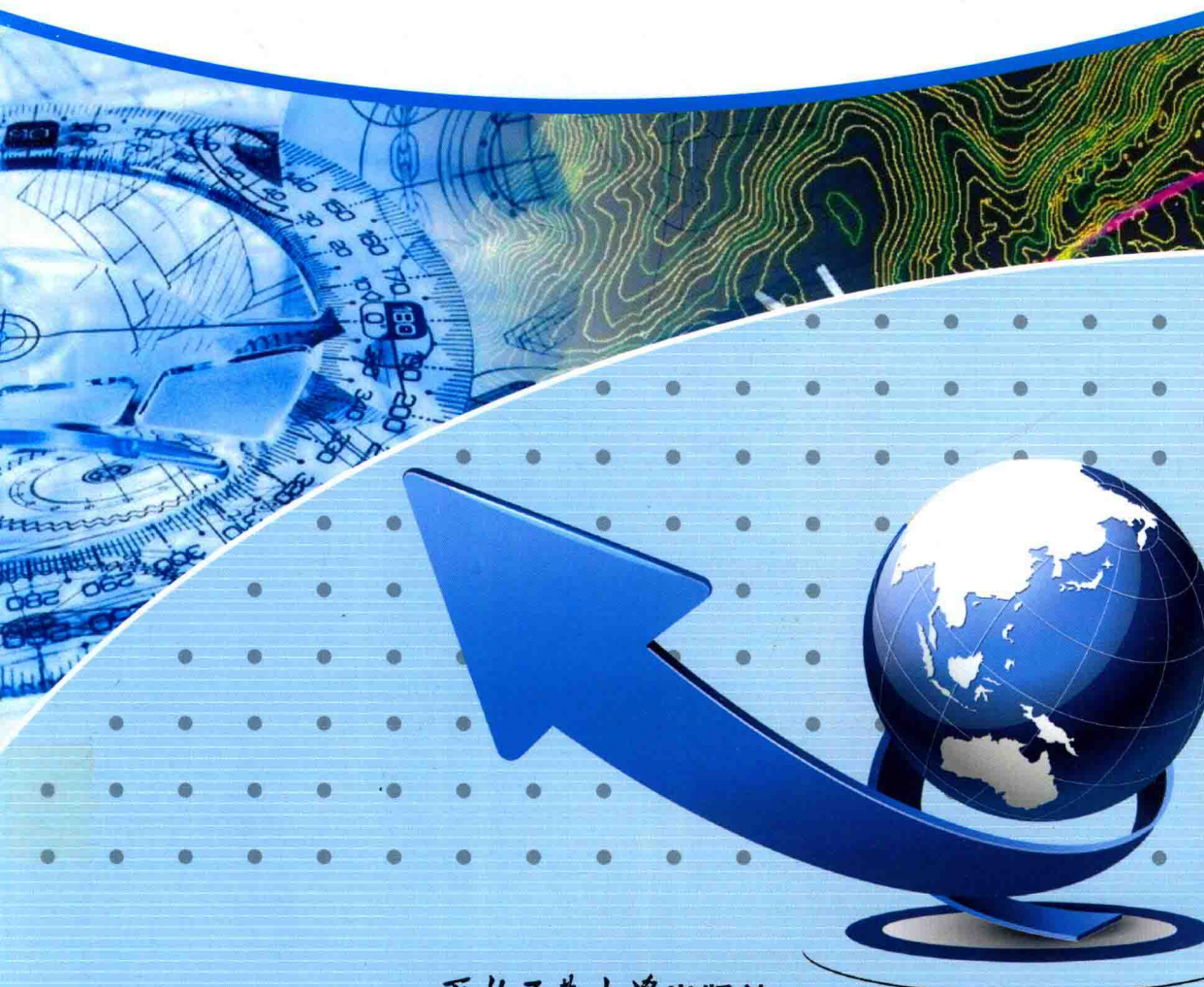


高等学校“十三五”规划教材

测量学基础与矿山测量

(第2版)

主编 蔡文惠



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是在《测量学基础与矿山测量》第1版的基础上修订而成的。全书共分13章,内容包括测量学的基础知识、水准测量、角度测量、距离测量、控制测量、地形图测绘、全站仪测量、地形图的应用和数字化测图、建筑工程控制测量与施工测量、矿井测量、MAPGIS在矿山测量中的应用、摄影测量在矿山测量中的应用,以及变形测量等。

本书可作为高等学校规划、土木工程、农林、地质、矿产、采矿等专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量学基础与矿山测量/蔡文惠主编.—2版.—

西安:西北工业大学出版社,2019.1

ISBN 978-7-5612-6387-7

I. ①测… II. ①蔡… III. ①测量学-高等学校-教材
②矿山测量-高等学校-教材 IV. ①P2 ②TD17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 271314 号

CELIANGXUE JICHU YU KUANGSHAN CELIANG

测量学基础与矿山测量

责任编辑:杨军

策划编辑:杨军

责任校对:万灵芝

装帧设计:李飞

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号

邮编:710072

电话:(029)88491757, 88493844

网址:www.nwpup.com

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:17

字数:446千字

版次:2010年9月第1版 2019年1月第2版 2019年1月第1次印刷

定价:49.80元

如有印装问题请与出版社联系调换

前 言

本书是在西北工业大学出版社 2010 年出版的《测量学基础与矿山测量》第 1 版的基础上进行了修订,同时为每章增加了相应的习题。

本书共 13 章,第一~六章属于测量学的基本内容,主要介绍测量学的基本理论和基础知识,如高斯投影、水准测量、角度测量、距离测量、控制测量和地形图测绘等基础内容,第七~十三章属于矿山工程测量内容,主要介绍全站仪测量、建筑工程控制测量与施工测量、地形图的应用和数字化测图、矿井测量以及 MAPGIS 与摄影测量在矿山测量中的应用等。本书结构合理,层次清晰,内容详细。

本书编写人员为来自高校的教师和一线企业的测绘高级工程师,在编写上特别注重概念的准确性,尽量把每个概念给以确切的定义。本书编入了许多测绘相关图片,以增强学生对测绘知识的感性认知,提高学生的学习积极性。同时本书也编入了一定的课外阅读材料,以扩充学生的测绘知识面,使学生更好地学习和掌握本书的内容。另外,本书为授课教师配有相应的教学课件。如需课件请与出版社联系。

本书可作为高等学校测绘、地质、采矿、规划建筑等专业的学生学习测绘知识的教材,也可作为企事业的测绘人员学习测绘知识的参考书。

本书参编人员及编写分工如下:

蔡文惠(新疆工程学院)主编,编写第一章和第九章;

高永甲(新疆航天经纬测绘技术有限公司)副主编,编写第二章;

王治中(乌鲁木齐鑫疆域测量技术服务有限公司)副主编,编写第三章;

聂卫东(新疆地矿局第六大队)副主编,编写第四章;

李志海(新疆国地测绘有限公司)副主编,编写第五章;

谢峰震(新疆工程学院)副主编,编写第六章;

王小于(新疆工程学院)副主编,编写第七章;

石磊(新疆工程学院)参编,编写第八章;

姜永涛(新疆工程学院)参编,编写第十章;

张海燕(新疆工程学院)参编,编写第十一章;

王丽美(新疆工程学院)参编,编写第十二章;

张成(新疆工程学院)参编,编写第十三章。

由于科学技术的进展迅速,加之笔者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请使用本书的读者批评指正。

编 者

2018 年 7 月

目 录

第一章 测量学的基础知识	1
第一节 绪论	1
第二节 地球的形状和大小	10
第三节 确定地面点位的坐标系	11
第四节 测量误差	17
第五节 直线定向与罗盘仪使用	23
第六节 计算凑整规则及常用的计量单位	27
习题	30
第二章 水准测量	31
第一节 水准测量原理	31
第二节 水准仪和水准尺	33
第三节 水准仪的使用	36
第四节 水准测量	38
第五节 微倾式水准仪的检验与校正	43
第六节 自动安平水准仪	45
第七节 三、四等水准测量	46
第八节 水准测量的误差分析	49
第九节 数字水准测量	51
习题	61
第三章 角度测量	63
第一节 角度测量原理	63
第二节 光学经纬仪	64
第三节 水平角测量	67
第四节 竖直角测量	71
第五节 经纬仪的检验与校正	73
第六节 水平角测量的误差	76
第七节 电子经纬仪	77
习题	80
第四章 距离测量	81
第一节 距离测量概述	81

第二节	钢尺测量距离	81
第三节	视距法测量距离	85
第四节	电磁波测距	87
习题	.....	93
第五章	控制测量	94
第一节	控制测量概述	94
第二节	导线测量	95
第三节	导线测量的内业计算	98
第四节	小三角测量	105
第五节	GPS 测量	107
第六节	高程控制测量	112
习题	.....	116
第六章	地形图测绘	118
第一节	地形图概述	118
第二节	地形图的图式符号	120
第三节	测图前的准备工作	125
第四节	大比例尺地形图测绘	126
第五节	地形图的拼接、检查、清绘、整饰和复制	132
习题	.....	133
第七章	全站仪测量	134
第一节	全站仪结构	134
第二节	全站仪的基本操作	141
第三节	南方 NTS-350 型全站仪测量	143
习题	.....	179
第八章	地形图的应用和数字化测图	180
第一节	地形图的分幅与编号	180
第二节	地形图的基本应用	187
第三节	面积量算	191
第四节	数字测图及应用	197
习题	.....	204
第九章	建筑工程控制测量与施工测量	205
第一节	建筑施工平面控制网的建立	205
第二节	平面矩形控制网布设	207
第三节	高程控制网的建立	211

第四节 施工测量·····	212
习题·····	217
第十章 矿井测量·····	218
第一节 矿井平面控制测量·····	218
第二节 矿井高程测量·····	220
第三节 矿井平面联系测量·····	221
第四节 矿井高程联系测量·····	226
第五节 矿井施工测量·····	228
习题·····	231
第十一章 MAPGIS 在矿山测量中的应用·····	232
第一节 矿山测绘技术概述·····	232
第二节 地理信息系统在矿山测量中的应用·····	234
第三节 MAPGIS 的结构及功能·····	236
习题·····	240
第十二章 摄影测量在矿山测量中的应用·····	241
第一节 摄影测量概述·····	241
第二节 摄影测量基础知识与原理·····	243
第三节 数字摄影测量的设计与实施·····	255
第四节 几种常见的航摄仪·····	257
习题·····	258
第十三章 变形测量·····	259
习题·····	262
参考文献·····	263

第一章 测量学的基础知识

第一节 绪 论

一、测量学的主要内容及其分支学科

(一)测量学的主要内容

1990年,国际测绘联合会(IUSM)把当今信息时代的测绘学定义为测绘是采集、量测、处理、分析、解释、描述、利用和评价与地理和空间分布有关的数据的一门科学、工艺、技术和经济实体。它的主要内容包括确定地球的形状和大小、地理信息的采集、应用和各种工程设计的施工放样、竣工测量以及变形观测。测量学是测绘学科中的一门基础技术学科,也是采矿工程、地质工程、土木工程、交通工程、测绘工程和土地管理专业的一门必修课。学习本课程的目的为了掌握地形图测绘、地形图应用和矿产资源开发建设工程、基础建设等工程的施工放样的基本理论和方法。

信息采集(测定)就是使用测量仪器和工具,应用测量技术和测量软件,通过测量和计算,确定地球表面的地物(房屋、道路、河流、桥梁等人工构筑物)和地貌(山地、丘陵等地表自然起伏形态)的位置,求得点在规定坐标系中的坐标值,按一定比例缩绘成地形图,为各种工程的规划、设计提供图纸和资料,供科学研究、航空航天、经济建设和国防建设使用。

施工放样(测设)就是将图纸上已设计好的建筑物或构筑物的平面和高程位置标定到实地,以便施工,为各种工程提供“眼睛”服务。严把质量关,保证施工符合设计要求。

竣工测量,为工程竣工验收、以后扩建和维修提供测绘资料。

变形观测,对于一些重要的建(构)筑物,在施工和运营期间,定期进行变形观测,以了解其变形规律,确保工程的安全施工和运营,促进和谐发展。

测量学的历史久远,是一门古老的科学,早在公元前21世纪大禹治水时就有了早期的“左准绳,右规矩”测量技术。随着社会的发展和科学的进步,测量学应用范围越来越广泛,测绘技术也得以飞速发展,并派生出许多分支学科。

(二)测量学的分支学科

1.大地测量学

大地测量学是一门研究地球的形状、大小,地壳板块的运动,地震预测,重力场的时空变化,地球的潮汐、自转,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网,利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。其基本任务是建立控制网、重力网,精确测定控制点的空

间三维位置,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球形状大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是一门研究利用摄影和遥感的手段获取研究目标的影像数据,从中提取几何或物理信息,并用图形、图像和数字形式表达的理论和方法的学科。它主要包括航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量等。航空摄影测量是根据在航空飞行器上拍摄的像片获取地面信息,测绘地形图。航天摄影是在航天飞行器(卫星、航天飞机、宇宙飞船)中利用摄影机或其他遥感探测器(传感器)获取地球的图像资料和有关数据的技术,是航空摄影的扩充和发展。地面摄影测量是利用安置在地面基线两端点处的专用摄影机拍摄的立体像对所摄目标物进行测绘的技术。

3. 工程测量学

工程测量学是一门研究在工程建设和自然资源开发中各个阶段进行控制策略、地形测量、施工放样和编写监测的理论和技术的学科,是测绘学科在国民经济和国防建设中的直接应用。它包括规划设计阶段的测量、施工兴建阶段的测量和竣工后运营管理阶段的测量。规划设计阶段的测量主要是提供地形资料,施工兴建阶段的测量主要是按设计要求在实地准确地标定出建筑物各部位的平面和高程位置,作为施工和安装的依据;运营管理阶段的测量是工程竣工后的测绘,以及为监视工程的状况,进行周期性的重复测量,即变形观测。高精度的工程测量(或称精密工程测量)是指采用非常规的测量仪器和方法以使其测量的绝对精度达到毫米级以上要求的测量工作,用于大型、精密工程和设备的精确定位和变形观测等。

4. 海洋测绘学

海洋测绘学是一门研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量理论和方法的学科。其主要成果为航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋重力、磁力数据等。与陆地测量相比,海洋测绘的基本理论、技术方法和测量仪器设备等有许多特点,主要是测区条件复杂,海水受潮汐、气象等影响而变化不定,透明度差,大多数为动态作业,综合性强,需多种仪器配合,并同时完成多项观测项目。一般需采用无线电卫星组合导航系统、惯性组合导航系统、天文测量、电磁波测距、水声定位系统等方法进行控制点的测定;采用水声仪器、激光仪器以及水下摄影测量方法等进行水深和海底地形测量;采用卫星技术、航空测量、海洋重力测量和磁力测量等进行海洋地球物理测量。

5. 地图制图学

地图制图学是一门研究模拟地图和数字地图的基础理论、设计、编绘、复制的技术的学科。它主要包括地图投影、地图编制、地图整饰、地图制印、计算机制图技术等内容。

二、测量学的基本任务及其工作原理

(一) 测量学的基本任务

(1) 测定地球的形状和大小、地球重力场,建立统一的空间坐标系统,用以表示地表任一点在地球坐标系统中的准确几何位置。

(2) 进行控制测量,建立控制网,并在此基础上进行详细的地形测绘工作,包括地表的各种自然形态、土壤植被的分布以及人类活动产生的各种人工形态,如居民地、交通线和其他各种

工程建筑物的位置、行政和权属界线等,绘制各种全国性的和地方性的地形图,数字化城镇和农村,全面建立“数字化地球”的基础信息部分。

(3)为发展规划、资源调查、开发与利用、环境保护、城市、交通、水利、能源、通信等建设工程提供准确的测绘保障,为国家经济建设提供精确、实时的数据资料。在国防建设和公众安全保障中,测绘提供准确、及时的定位和相关保障。对个人财产或监控物的动态监控,对财产定位及其必要的跟踪,对出游进行定位和指向。为经济社会发展中提供自然和社会经济要素的分布状况及其变化特征,预告自然、社会危机和风险事件。这些工作总称为“工程测量”。

(4)测量的基本工作。地面点的空间位置是以投影平面上的坐标 (x, y) 和高程 H 决定的,而点的坐标一般是通过水平角测量和水平距离测量来确定的,点的高程是通过测定高差来确定的,所以,测量的基本工作是测角、量距和测高差,观测、计算、绘图是测量工作的基本技能。

测量工作一般分为外业和内业两种。外业工作的主要内容是应用测量仪器和工具在测区内所进行的各种信息的采集和各种工程的施工放样;内业工作的主要内容是将外业采集的各种信息加以整理、计算,并绘制成图以便使用。

(二)测量工作的基本原则

1. 整体原则

整体原则,即从整体到局部原则。任何测量工作都必须先总体布置,然后分期、分区、分项实施,任何局部的测量过程必须服从全局的定位要求。

2. 控制原则

控制原则,即先控制后碎部原则。先在测区内选择一些有控制意义的点(控制点),把它们的平面位置和高程精确地测量出来,然后根据这些控制点测定出附近碎部点的位置。这种测量方法不仅可以减少误差积累,而且可以同时几个控制点上同时进行测量,加快工作进程。

3. 检核原则

检核原则,即前一步工作未作检核,不进行下一步工作的原则。在控制测量或碎部测量工作中都有可能发生错误,小错误影响到成果质量,严重错误则造成返工浪费,甚至造成不可挽回的损失。

任何工作都必须遵循一定的原则,按照一定的步骤进行,这样才能做到有条不紊,保质保量,测量工作更是如此。

三、工程测量学的发展与现状

(一)工程测量学的发展简史

工程测量学历史悠久,成果不胜枚举,如:埃及金字塔(见图 1-1)建于公元前 27 世纪,边长 230 m,高 146.5 m;中国的都江堰工程是现存世界上历史最长的无坝引水工程,利用水测量水位高低与大小。

(1)公元前 21 世纪,中国建周公测景台,测量在建筑中已应用。

(2)公元前 14 世纪,在幼发拉底河和尼罗河流域,进行过地籍测量。

(3)公元前 1 世纪,中国《周髀算经》发表,书中阐述了用直角三角形的性质测算高度、距离



图 1-1 埃及金字塔

的方法。

(4)263 年,中国刘徽撰《海岛算经》,叙述求海岛高度和距离的各种测量方法。

(5)400 年,中国发明记里鼓车,用于测量距离。

(6)1667 年,法国首次在全圆分度器上安装望远镜进行测角。

(7)1783 年,英国制造度盘直径为 90 cm、质量为 91 kg 的经纬仪,用特制的四轮弹簧马车运输。

(8)1794 年,德国高斯提出最小二乘法。

(9)1964 年,FIG(国际测量师联合会)成立第六委员会即工程测量委员会。

(二)目前工程测量科学技术发展的概况和主要成就

(1)随着测绘科技的飞速发展,工程测量的技术面貌发生了深刻的变化,并取得了很大的成就。

科学技术的新成就,电子计算机技术、微电子技术、激光技术、空间技术等新技术的发展与应用,以及测绘科技本身的进步,为工程测量技术飞速发展提供新的方法和手段。

改革开放以来,随着我国经济发展和社会进步,可持续发展战略(西部大开发、振兴东北老工业区、中部崛起)的实施,城市建设不断扩大,能源、环保、交通各种大型建筑物和构筑物的建设工程、特种精密建设工程等不断增多,对工程测量不断提出新任务、新课题和新要求,有力地推动和促进了工程测量事业的进步与发展。

我国近年来的建设规模和速度不但令国人瞩目,在国际上也引起了极大的震撼。

北京、广州、深圳、珠海、厦门、上海的市区和浦东、湖北省的宜昌和武汉、西安等正在发生着日新月异的变化。

长江上的武汉二桥、九江大桥、铜陵大桥、江阴大桥、苏通大桥,黄浦江上的南浦和杨浦大桥,跨海的杭州湾大桥、虎门大桥,等等,正以其各自的特征(长度、跨度、结构、难度)竞争着亚洲之最。

城市中超高层建筑如雨后春笋,已建的百米楼厦已达 200 座之多。各大城市的电视塔(有些城市有 2~3 座)正竞相创造高度亚洲之冠,当前上海的东方明珠电视塔以 454 m 的高度暂时领先。

几个特大城市的地面下,则展开着地下铁道与地下管道的争冠。地铁通过时,还要保障已有地面建筑的安全,在不得已而需切割地面建筑在地下深部的桩基时,广州成功地采用了“偷梁换柱”的方法。

连续几年的水灾,正使人们对水利枢纽备加青睐,从而保障水利设施的安全监测亦日益发展。

核电工程方兴未艾,大亚湾二号,秦山二号、三号,福建核电和辽宁核电等都已在积极进行,有关地质灾害的监测万不可掉以轻心,兴建核电站的地基可来不得半点马虎!

京九铁路与若干大型引水渠道的建成,以及若干大型国际机场的兴建,正使工程测量界对GPS定位与高程测定备感兴趣。

可见,随着我国大工程建设的蓬勃发展,工程测量的任务正成倍增长。使我们感到骄傲的是,尽管上述大工程中很多是由国外提供设计,引进外资兴建的,但所有的测量工作却无一不是由我国的测绘工作者独立承担的。这从一个侧面证明了我国测绘工作者在精密工程测量领域的高超水平。他们积累了丰富的工作经验,取得了卓越的研究成果。

面向21世纪的我国工程测量技术的发展趋势和方向是测量数据采集和处理的自动化、实时化、数字化,测量数据管理的科学化、标准化、信息化,测量数据传播与应用的网络化、多样化、社会化。GPS技术、RS技术、GIS技术、数字化测绘技术及其集成化与先进地面测量仪器等新技术将广泛应用于工程测量中,并发挥其主导作用。

(2)信息时代的工程测量新技术主要表现在测量仪器和测量系统已形成数字化、智能化和集成化的新的发展态势,空间测量和地面测量仪器和测量系统出现互补共荣的新的发展格局,工程测量新技术极大地推动测绘学科向前发展。

随着计算机技术、微电子技术、激光技术及空间技术等新技术的发展,传统的测绘仪器体系正在发生根本性的变化。20世纪80年代以来出现了许多先进的光电子大地测量仪器,如红外测距仪、电子经纬仪、全站仪、电子水准仪、激光扫平仪、GPS接收机等,现在则是单功能传统产品发展为多功能高效率光、机、电、算一体化产品及数字化测绘技术体系,为测量工作向自动化、智能化等现代化方向发展创造了良好的条件。

1)产生的原因。

a.信息时代的测绘学对测绘仪器的要求。

1990年,国际测绘联合会把当今信息时代的测绘学定义为测绘是采集、量测、处理、分析、解释、描述、分析、利用和评价与地理和空间分布有关的数据的一门科学、工艺、技术和经济实体。国际标准化组织(ISO)简明定义为地理空间信息学(Geomatics)是一个现代的科学术语,表示测量、分析、管理和显示空间数据的研究方法。

上述定义清楚地表明,信息时代的测绘学已经不是单纯测定测站点位置的几何科学,而是一门研究空间数据的信息科学。这里所说的空间数据或与地理和空间分布有关的数据是指一种信息,它除了具有空间位置特征外,还具有属性特征。比如地籍测量涉及的信息除了土地的几何位置之外,还加上了有关土地利用、建筑设施以至于自然资源等属性数据。这就意味着传统测绘和大地测量已从单纯的几何测量发展到信息科学,将会实现从模拟到数字,从静态到动态,从后处理到实时处理,从离线到在线,从分散到集成,从局域到全球的转变。

从这个意义上说,现在测绘学不仅要解决空间位置的测定问题,还要解决地理位置上的属性数据的采集和管理等问题。测绘仪器主要解决空间定位问题,空间位置上的属性数据的测

量应该说不是测绘仪器的任务。但是信息时代的仪器应该适应和有利于属性数据的采集、储存、管理、分析和利用。也就是说,现在测绘仪器产生的地理空间定位数据应能方便地纳入 GIS 的范畴,可以与属性数据集成并由计算机进行处理。因此,信息时代的测绘仪器至少应具有以下新的功能:

数字化:数字化并不单纯指数字显示,而是要求仪器应能输出可以由计算机进一步处理、传送、通信的数字表示的地理数据,仪器应具备通信接口,这是测绘仪器实现内外一体化的基础。

实时化:现代测绘仪器具有实时处理的功能,一方面实时计算并判断测绘质量,另一方面可以在现场按设计图图样实施施工放样和有关计算、显示及修改等功能。这就是说,仪器能在线处理测量数据,提高测绘质量和效率,并能通过现代通信工具及时更新 GIS 数据库。

集成化:随着测绘高技术的发展,传统的测绘分工被打破,各种测量互相渗透,要求测绘仪器在硬件上集成多种功能,软件上则要更具有开放性,使各种仪器采集的数据可以通信和共享。

除了上述这些传统测绘仪器无法比拟的功能外,现在测绘仪器还突显并具有如下特点:

多学科成果的结晶:与当今仪器发展趋势一样,现代测绘仪器几乎无一不是高科技的综合,我们通常说光、机、电、算一体化,其实还应该包括通信、空间技术、自动控制等方面的最新成就。

更新周期越来越短:光学经纬仪、水准仪、平板仪等传统测绘仪器曾经有 30 年不衰的历史,但是近年来发展的电子经纬仪、全站仪、GPS 接收机技术更新速度大大加快,几乎是每两三年出现一个型号,特别是软件产品的升级更快。

仪器操作更容易,使用更方便:仪器内置的专业软件使得非专业人员也能操作仪器,他只要有基本的计算机操作技能就能使用仪器,或者说仪器越来越智能化了。

b.空间测量和地面测量仪器和测量系统出现互补共荣的新的发展格局。

经过观察和研究,我们认为测绘仪器正在形成一种由多种传感器互相集成和相互补充的新格局。问题不是谁代替谁、谁淘汰谁,而是各自调整性能找到最佳位置以及合理集成的问题。事实上,数字地面一体化测量系统与空间定位技术手段形成了极好的互补关系,从而形成了测绘仪器的新格局。具体表述如下:

GPS 技术的发展和普及给大地控制测量仪器领域注入了新的活力,开创了新局面。GPS 接收机单点定位技术、相对定位技术以及差分 RTK 技术已发展到相当成熟的阶段,各种类型的 GPS 接收机在市场上争芳斗艳,此外还出现了既能接收 GPS 信号又能接收 GLONASS 信号的所谓多信号接收机,随着其他卫星定位系统的出现,今后必将出现相应的新型卫星定位接收机。这就是说,GPS 技术必将成为大地测量、控制测量以及 GIS 数据获取的重要手段。接收机市场上,LeicaGPS1200 接收机代表了当今的发展水平。

2)全站仪仍是数字化地面测量的主要仪器。它将完全取代光学经纬仪和红外测距仪,成为地面测量的常规仪器。在高等级大范围的控制测量中它也许要让位于 GPS,而在工程测量、建筑施工测量、城市测量中仍将发挥主要作用。

全站仪(Total Station)又称全站型电子速测仪(Electronic Tachometer Total Station)。在当前测绘仪器市场上,有许多仪器厂家生产和提供各种门类的全站仪,比如瑞士的徕卡公司,日本拓普康、索佳公司以及我国北京光学测绘仪器公司、南方测绘公司等。

1995年徕卡公司首先推出 TPS1000 系列产品。所谓 TPS,是全站仪定位系统(Positioning System)的缩写,也可以把“T”解释为“Terrestrial”的第一个字母,意为“地面上的”或“大地的”。它的基本特点是通过使用统一标准的数据记录介质、接口和数据格式,把该公司的不同类型的全站仪的测量和数据处理系统有机地结合起来,实现仪器的相互兼容和数据共享,实现真正意义的地面三维空间定位系统。

进入新世纪,徕卡公司又推出系统 1200-斯美特全站仪(System 1200 - SmartStation)。该全站仪主要特点是它在世界上第一次将全站仪同 GPS 整合在一起,从而开辟了一些新的测量观念和测量方法,使测量更容易、更快速和更简单。

因此,徕卡全站仪采用以计算机技术、微电子技术和精湛工艺为核心的高新技术,使该公司全站仪在集成化、自动化和信息化等方面具有许多卓越特性。

3)电子数字水准仪和自动置平水准仪仍是高程测量中不可替代并大量需要的水准测量仪器。

徕卡公司于 20 世纪 80 年代末,推出了世界上第一台数字水准仪——NA2000 型工程水准仪,采用 CCD 线阵传感器识别水准尺上的条码分划,用影像相关技术,由内置的计算机程序自动算出水平视线读数及视线长度,并记录在数据模块中,像元宽度 $25\ \mu\text{m}$,每千米往返水准测量高差中数的中误差为 $\pm 1.5\ \text{mm}$ 。该公司又于 1991 年推出了新型号 NA3000 型精密水准仪,每千米往返水准测量高差中数的中误差为 $\pm 0.3\ \text{mm}$ 。为了满足市场对高精度数字水准仪的需求,最近又推出了第二代数字水准仪 DNA03。

4)随着国家和地方基础设施建设事业的发展,专用的工程测量仪器应运而生。

这类仪器往往带有激光,所以很多厂商把它们叫作激光仪器。它们包括激光扫平仪、激光垂准仪、激光经纬仪、三维激光扫描仪等等,主要应用于建筑和结构上的准直、水平、铅垂以及建立三维立体模型等测量工作,使用很方便。

5)测量用软件已成为一种与仪器一起销售的产品。

仪器内置的软件当然属于仪器的一部分,但像 GPS 后处理软件、GIS 软件以及各种各样的图像处理软件等则是单独销售的软件。

数据的处理主要有后处理和实时处理两种方式。在采用后处理方式时,一般使用记录器、记录卡和记录模块等记录设备来记录数据,然后用读卡器和计算机进行数据读取及处理。现今流行的记录设备是 PCMCIA 卡,它不仅体积小、储存量大、储存速度快,更重要的是它已成为一种标准设备,可以直接被计算机读取并方便地进行数据交换。当采用实时处理方式时,一般有两种途径:一由外接的计算机处理观测数据,仪器通过接口,与计算机串口相连,将观测数据实时传送到计算机中进行处理,如目前广泛使用的电子平板测图;二由仪器中的内置程序进行处理,这些或由厂家开发,或由用户自行开发适用于不同目的和用途的程序,既保证了外业操作的规范化,同时也保证了现场成果的正确性。目前,内置程序正随着软件版本的升级而不断增多,并逐渐成为衡量全站仪性能的指标之一。

数据的共享是厂家和用户十分重视的又一重要问题。数据共享是指同类仪器之间或不同类仪器之间的数据交换和共享,其目的是最大限度地提高测量工作的效率。由于测绘仪器或系统的发展目标之一是内外一体化,因此应提倡基础数据记录设备和数据记录格式要标准化和统一。但国际上,软件五花八门,自成系统,致使用户在选择集成仪器系统时左右为难。因此,目前的数据交换还只是通过计算机进行数据格式转化和间接地进行。同时,市场呼唤统

一的现场工作标准和统一的数据格式、载体和接口。

6) 仪器的集成是新世纪测绘仪器发展的又一热门话题, 目前已有许多集成式的测绘仪器投入市场和在生产实践中得到使用。

在集成式的测绘仪器中, 仪器是作为传感器存在的。从硬件来说, 仪器可以包括两三个传感器, 可以是整体式的, 也可以是堆砌式的集成。从软件来说, 集成式软件应具有同一数据载体、接口和统一的数据格式, 不仅要实现系统内的仪器可以互相交换信息, 而且还能与别的仪器系统连接和交换数据。集成式的测绘仪器目前主要体现在地面测绘技术和空间定位技术的结合。

电子经纬仪与电磁波测距仪的集成产生了电子全站仪。这种电子全站仪在大地测量及工程测量中发挥着重要作用, 但也有一定的局限性。比如, 必须在有控制点的情况下才能进行施工放样及测图等, 另外, 作业影响范围很有限。GPS 的优点是大家共知的, 但由于其必须保持卫星信号通畅条件下才能作业, 因此在楼厦林立的城区, 其作业将受到干扰或者不能作业。为了发挥两种技术的优点和补偿各自的缺陷, 于是将它们集成在一起的全功能的超站仪就应运而生了。这就是 TPS 和 GPS 的集成——徕卡系统 1200-斯美特全站仪(SmartStation)(见图 1-2)。

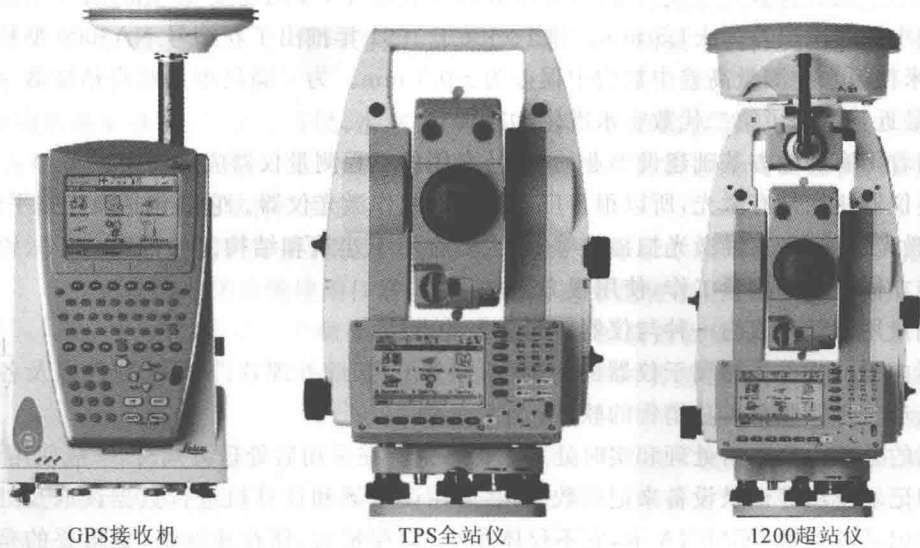


图 1-2 SmartStation

展望未来, 今后测绘仪器可能在以下几方面取得新的发展和突破:

- 仪器采集数据的能力将加强。在一些危险和有害的环境中, 操作者可利用计算机遥控仪器, 以便仪器自动地采集和处理数据。
- 仪器的自我诊断和改正能力将进一步完善, 观测数据的精度检查将进一步提高。
- 仪器实时处理数据的能力将提高。内置应用程序将增多。实时处理数据量和速度将可以满足多台仪器的联机作业, 以对观测目标进行全面的整体观测和分析。
- 系统集成将受到开发者和使用者的关注。针对某些特殊作业要求所开发出的自动化处理系统, 将得到快速发展。
- 仪器间的数据直接交换和共享将成为现实, 内业工作将更多地在外业观测的同时予以

完成。

(3)工程控制网优化设计理论和方法得到长足发展,测量数据处理和分析理论取得许多新成果。

1)工程控制网优化设计的理论和方法取得长足的发展。

建立在最优化理论和方法基础上的,同近代测量平差理论有密切联系的精密工程测量控制网的优化设计取得了长足的进步和丰硕的成果。尽管人们在很早之前就注意研究观测权的最佳分配、交会图形的最佳选择等问题,但由于当时科学技术和计算工具等条件的限制,优化设计并没得到进一步的发展。20世纪70—80年代,由于电子计算机在测量中的广泛应用和最优化理论进入测量领域的研究,测量控制网优化设计才得到迅速的发展。主要的研究范围包括测量控制网的基准设计、图形设计、权的设计和旧网改造设计;质量标准,其中包括精度标准、可靠性标准、可测定性标准、控制网优化设计的全面质显标准等;控制网优化设计的各种解法,监测网的灵敏度标准以及经济费用标原理基础上的蒙特-卡洛法等,其中包括解析法、人机对话的模拟法和概率抽样法;除一维(水准)网的优化设计外,还包括地面网及空间网的优化设计等,研究二维网、三维网,从而使测量控制网设计在观测前就建立在足够科学依据的基础上。此外,控制网优化设计往往同观测数据的数学处理结合在一起进行。其方法是在统一的多功能的软件包上,既可进行控制网的优化设计,也可实现观测数据的相应处理。

2)测量数据处理和分析的理论和方法取得许多新成果。

首先,人们很关注观测数据性质的研究。把平差模型分为函数模型和随机模型的研究扩展到粗差的探测和系统误差的补偿。对于粗差在函数模型中采用数据探测法予以识别和剔除,引入了可靠性理论和度量平差系统的可靠性指标;或者把粗差纳入随机模型,采用比最小二乘法抗干扰性更强的稳健估计法。对于系统误差,消除影响的比较好的办法就是在平差的函数模型中引入系统参数予以补偿,但要注意系统参数的优选并加以统计检验,以防止和克服可能出现的过渡参数化问题。对于随机模型的研究,人们不但注意观测量随机信息验前特性的分析和确定,而且研究了其验后特性的估计法,其中包括方差分量估计法,这对不同类观测权整体权的选取和确定尤为重要。

其次,从概率论数理统计以及向量空间投影几何原理等多种渠道研究和完善线性模型参数估计方法。除常规的最小二乘法外,还研究了观测值服从正态分布的最大似然估计法、最佳无偏估计法以及基于向量空间投影原理基础上的最小二乘法等,从而大大深化了参数估计原理和方法的研究。从对随机变量的处理,发展到一并处理随机变量和具有各态历经性的平稳随机函数的问题,建立了最小二乘滤波、推估和配置的这类内插外推的数学模型,从而较全面系统地解决了满秩平差的各类问题。另外,人们还深入地研究了不同情况下的非满秩(秩亏)平差问题,其中包括加权秩亏自由网平差、普遍自由网平差以及拟稳平差;具有奇异权、零权以及无限大权的线性模型的参数估计等。

最后,工程建筑物变形观测数据处理的理论和方法(比如回归分析方法、时间序列分析模型、灰色系统分析模型、卡尔曼滤波模型、人工神经网络模型及频谱分析方法等)也有很大发展,在变形的几何解释和物理解释以及分析预报等方面也取得了不少进展。

(4)电子计算机促进控制测量工作旧貌换新颜,其服务领域将更加扩大。

首先,只有当计算机应用在测量中时,才能使各类工程测量控制网优化设计成为现实和可能,这已在前面作了介绍。其次,正在改变人们手算时代的某些观念,比如在电算时代,人们主

要考虑的是使全部运算过程适宜电算程序的编写,数据的规律输入和输出以及解的稳定性的保证,而较少研究计算方法的难易、公式的繁简等。最后,也是最重要的一点,即利用计算机可建立专用测量数据库系统,实现数据管理及使用的自动化。大型工程建设历经勘测、设计、施工、设备安装、竣工验收以及变形监测等许多阶段,测量时间长久,有几年、十几年甚至几十年,观测值类别和数据资料繁多,因此,在电子计算机系统上建立专用测量数据库系统是实现测量现代化管理的必由之路。由电子计算机、打印机、数字仪、绘图仪以及软盘等设备建立的测量数据库系统,以测量信息库为核心,兼有对库内数据调用、运算、处理和加工等多种功能,有着成本低、功能全、效益高等优点。测量学除继续在国民经济建设和社会发展中发挥着基础先行的重要保证作用之外,在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价及保护中,在发展空间技术及国防建设中,以及在地球科学研究及地球空间信息学等广大领域的应用与发展中,都将有广阔的发展空间。

第二节 地球的形状和大小

测绘学科主要是测定和描绘地球及其表面的各种形态,地球整体的形状和大小与测量工作密切相关。地球的自然表面高低起伏,有高山、丘陵、平原、江河、湖泊和海洋等,是一个凹凸不平的复杂曲面,最高点珠穆朗玛峰海拔 8 844 m,最低点马里亚纳海沟深达 11 022 m,但与 6 371 km 的地球半径相比,只能算是极其微小的起伏。地球表面海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%,可以认为地球是一个由水面包围的球体。

地球上自由静止的水面称为水准面,它是一个处处与铅垂线正交的曲面。与水准面相切的平面称为该切点处的水平面。

水准面有无数个,其中一个与平均海面重合并延伸到大陆内部包围整个地球的水准面,称为大地水准面(见图 1-3)。大地水准面可作为地面点计算高程的起算面,高程起算面也叫作高程基准面。

由大地水准面所包围的形体叫大地体,由于地球内部物质分布不均匀,引起地面各点的铅垂线方向不规则变化,所以大地水准面是一个有微小起伏的不规则曲面,不能用数学公式来表述。参考椭球测量上选用一个和大地水准面形状非常接近的,并能用数学式表达的面作为基准面。这个基准面是一个以椭圆绕其短轴旋转的椭球面,称为参考椭球面,它包围的形体称为参考椭球体或称参考椭球。

我国目前采用的参考椭球体的参数值如下:

长半轴 $a=6\ 378\ 140\ \text{m}$;

短半轴 $b=6\ 356\ 755\ \text{m}$;

扁率 $\alpha=(a-b)/a=1/298.257$ 。

由于参考椭球的扁率很小,因此当测区面积不大时,可以认为地球是半径为 6 371 km 的圆球。

参考椭球面是测量工作的基准面。工程测量地域面积一般不大,对于参考椭球面与大地水准面之间的差距可以忽略不计。在实际测量中是将大地水准面作为测量工作的基准面。即使在精密测量时不能忽略参考椭球面与大地水准面之间的差异,也是经由以大地水准面为依据获得的数据通过计算改正转换到参考椭球面上。

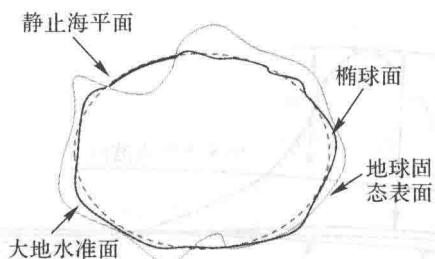


图 1-3 大地水准面

地球上的任何物体都受到地球自转产生的离心力和地心吸引力的作用,这两个力的合力称为重力。重力的作用线常称为铅垂线。地面上任意一点的法线和铅垂线一般是不重合的。

垂线偏差 θ : 过一点的椭球面的法线和铅垂线之间的夹角称为垂线偏差。

由于铅垂线与水准面垂直,知道了铅垂线方向,也就知道了水准面方向,而铅垂线又是很容易求得的,所以铅垂线便成为测量工作的基准线。

第三节 确定地面点位的坐标系

确定地面点的位置是测量工作的基本任务。

一点的位置,需要用三个量来确定。其中两个量用来确定点的平面位置,另一个量用来确定点的高程位置,即某点在基准面上投影位置 (x, y) , 该点离基准面高度 (H) 。

一、地面点的高程系

我国在青岛设立验潮站,长期观测黄海海水面的高低变化,取其平均值作为大地水准面的位置(其高程为零),并作为全国高程的起算面。为了建立全国统一的高程系统,在青岛验潮站附近的观象山埋设固定标志,用精密水准测量方法与验潮站所求出的平均海面进行联测,测出其高程为 72.289 m,将其作为全国高程的起算点,称为水准原点。根据这个面起算的高程称为“1956 年黄海高程系统”。

从 1988 年开始我国采用新的高程基准,采用青岛验潮站 1952—1979 年潮汐观测资料计算的平均海面为国家高程起算面,称为“1985 年国家高程基准”。根据新的高程基准推算的青岛水准原点高程为 72.260 m,比“1956 年黄海高程系统”的高程小 0.029 m。

绝对高程(正高):地面上任意一点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,简称高程,用字母 H 表示, H_A, H_B 分别表示 A 点的高程和 B 点的高程(见图 1-4)。

相对高程:局部地区采用绝对高程有困难或者为了应用方便,也可不用绝对高程,而是假定某一水准面作为高程的起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程,如图 1.4 中的 $H_{A'}, H_{B'}$ 。

正常高:似大地水准面是苏联人莫洛琴斯基定义的,与大地水准面相比,在海洋部分重合,在陆地有厘米级的差距,在高山区可达 2~3 m。以似大地水准面为起算基准的高程系统称为正常高系统,正常高记为 $H_{\text{常}}$ 。我国采用正常高系统。

大地高:点沿法线方向到参考椭球面的距离,称为大地高。