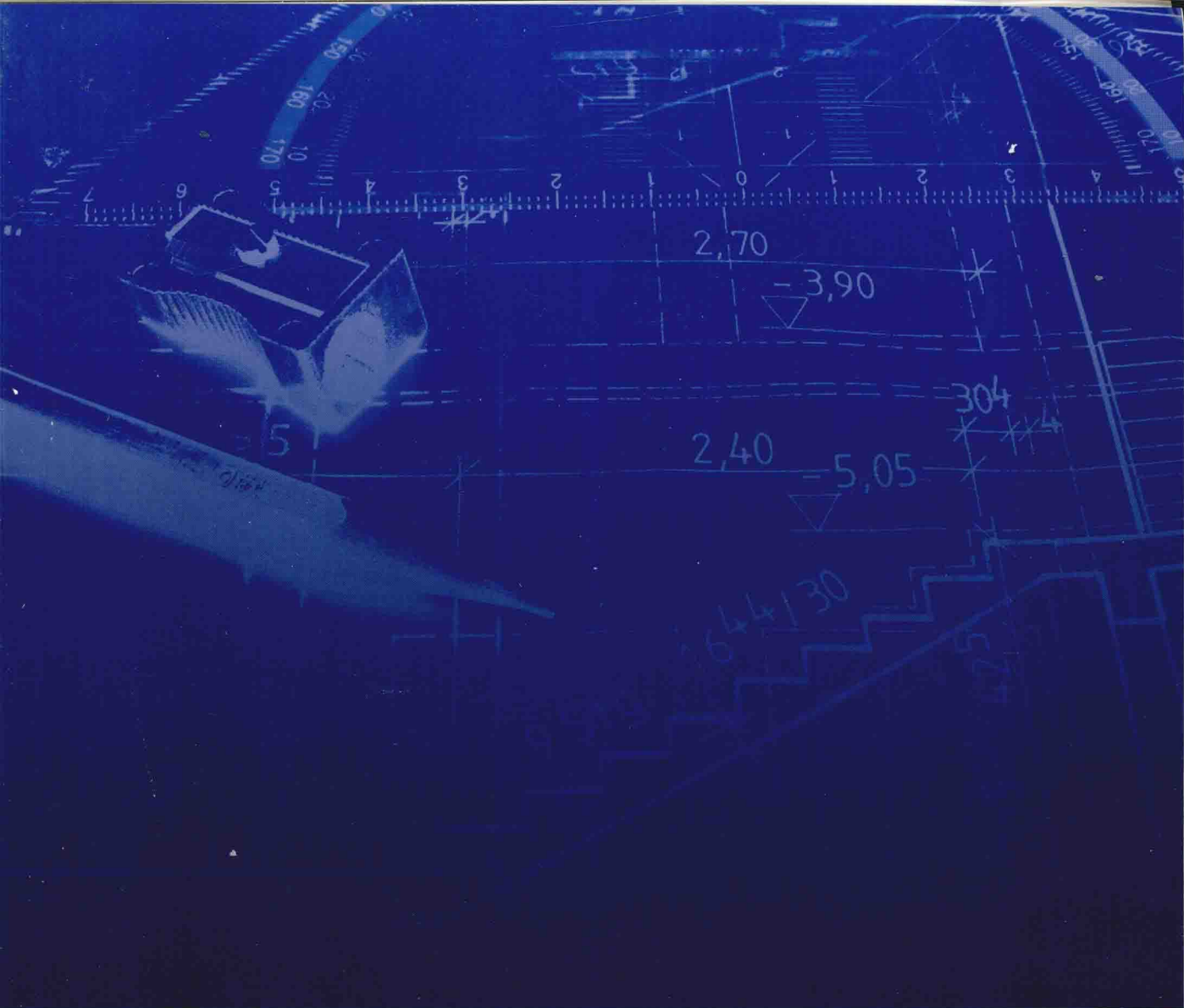




测量学

主 编 马玉晓

副主编 吴建新 肖东升 魏 亮 武广臣



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

测量学

主 编 马玉晓

副主编 吴建新 肖东升 魏 亮 武广臣



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

测量学 / 马玉晓主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2015.2
ISBN 978-7-5023-9637-4

I. ①测… II. ①马… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 286851 号

测量学

策划编辑: 林倪端 责任编辑: 杨俊妹 责任校对: 张燕育 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司
版 次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
字 数 441千
印 张 18.5
书 号 ISBN 978-7-5023-9637-4
定 价 39.80元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

本书为非测绘专业测量教科书,主要介绍小区域内的测绘工作及一般工程测绘。是普通高等院校建筑工程、农林、水利、城规、土木工程、房地产、地理信息、水土保持等专业的测量学教材,也可作为电大、函大等各级各类学校测量学教学用书,以及测绘工程技术人员自学参考书。

本书编写依据高等院校建筑工程、农林、水利、地信类各专业教学大纲精心编写而成,编写时,在保持本学科系统性的基础上,加强对基本理论、基本概念和基本技能的论述,力求反映不同的专业特色,以满足生产、科研对测量学课程的不同需求。对近年来已实际应用的新仪器、新技术和测绘新成就作了重点介绍,以满足学生将来工作的需要。

编写分工为:魏亮(河南城建学院)编写第3章、第4章、第8章,马玉晓(河南城建学院)编写绪论、第1~2章、第5~7章,第9~13章。

全书由马玉晓负责统稿、定稿。主审河南工程大学校长刘文楷教授仔细地审阅了全部书稿,并提出了宝贵意见和建议,书中引用了许多参考资料(这里不一一列举),在此一并致谢。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和不足,恳请读者批评指正。

编 者

2014年9月

目 录

绪 论	1
第一节 测量学的任务与主要内容	1
第二节 测绘学科内涵和发展概况	2
第三节 测量工作基本要求及本课程学习方法	6
第 1 章 测量学基本知识	7
第一节 地球的形状和大小	7
第二节 地面点位的确定	8
第三节 水平面代替水准面的限度	12
第四节 测量工作概述	13
第五节 图的种类及图的比例尺	16
第 2 章 水准测量	20
第一节 水准测量原理	20
第二节 普通水准仪及工具	21
第三节 普通水准测量的实施	24
第四节 水准测量成果的内业计算	29
第五节 水准仪的检验与校正	31
第六节 水准测量的误差及观测注意事项	34
第七节 自动安平水准仪及精密水准仪	37
第 3 章 角度测量	41
第一节 角度测量原理	41
第二节 光学经纬仪构造及使用	42
第三节 水平角测量	46
第四节 竖直角测量	49
第五节 经纬仪的检验和校正	52
第六节 角度测量误差来源及减弱措施	55
第七节 电子经纬仪	56
第 4 章 距离测量与直线定向	58
第一节 距离丈量	58
第二节 视距测量	61
第三节 光电测距	63
第四节 全站型电子速测仪简介	66
第五节 直线定向	74
第 5 章 误差的基本知识	79
第一节 测量误差及精度概念	79
第二节 衡量精度的标准	83
第三节 误差传播定律	85
第四节 直接平差	89
第 6 章 小地区控制测量与点位计算	99
第一节 测量控制网概述	99
第二节 测量控制点点位计算原理	99
第三节 导线测量及坐标计算	101
第四节 小三角测量及其成果处理	107

第五节	交会定点测量及点位计算	112
第六节	高程控制测量	115
第 7 章	GPS 技术及应用	121
第一节	GPS 系统的组成	123
第二节	GPS 定位技术	125
第三节	GPS 定位技术的实施	127
第四节	GPS 接收机应用	131
第 8 章	地形图的基本知识及应用	139
第一节	地物地貌在地形图上的表示	139
第二节	地形图分幅与编号	143
第三节	地形图的识读	147
第四节	地形图的一般应用	150
第五节	地形图的高级应用	152
第六节	地形图的野外应用	157
第七节	数字地形图的应用	159
第 9 章	数字测图	172
第一节	数字测图概述	172
第二节	测图前准备工作	173
第三节	野外数据采集	174
第四节	平面图绘制	176
第五节	等高线绘制	186
第六节	地形图分幅与整饰	190
第七节	地形图输出	193
第 10 章	施工测量	196
第一节	施工测量概述	196
第二节	施工放样的基本工作	197
第三节	建筑施工测量	201
第四节	线路工程测量	206
第五节	圆曲线测设	216
第 11 章	不动产测量	219
第一节	概 述	219
第二节	初始地籍调查	220
第三节	初始地籍测量	230
第四节	变更地籍测量	237
第五节	房产调查	238
第六节	房产图测绘	242
第 12 章	土地平整测量	248
第一节	缓坡地的土地平整测量	248
第二节	水田土地平整测量	252
第三节	梯田土地平整测量	254
第 13 章	工程测量实验与实习	261
第一节	测量实验与实习须知	261
第二节	测量实验指导	263
第三节	测量综合实习指导	277
参考文献		290

绪 论



重点提示

要求学生了解测量学的基本任务与作用,了解测绘学科的内涵和分支,理解测量工作的基本要求及学习方法。

第一节 测量学的任务与主要内容

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面(包含空中、地表、地下和海底)物体的空间位置,并将这些空间位置信息进行处理、存储、管理、应用的科学。它是测绘学科重要的组成部分,其核心问题是研究如何测定点的空间位置。测量学研究的内容分为测定和测设两部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或把地球表面的地形按一定比例尺、规定的符号缩小绘制成地形图,供科学研究和工程建设规划设计使用;测设是指把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

目前,在工程规划设计、地震预测预报、电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术、林区开发、道路勘测施工、地籍管理、房地产开发等方面,测量技术应用广泛。

铁路和公路等交通线路工程在建造之前,为了能设计一条经济和合理的路线,需要在地形图上进行规划;在路线的走向基本确定后,通过实地勘测,在路线所经的带状地形图上进行技术设计;然后将设计路线上的主要点位在实地测设,据此进行施工。线路工程在跨越河流时,需要建造桥梁,这就需要河流两岸一定范围内的地形图以及测定河床的断面图和流速流量等水文资料,为桥梁设计提供必要的地形数据;然后将设计的桥墩和桥台的位置在实地测设;所设计的桥梁上部结构(拱、梁、塔柱、拉索等)的正确安装定位,每一步都需要精确的测设。

民用建筑、工业厂房和各种市政工程在设计时都需要有地形图和其他测量数据。例如居民点的住宅小区设计,必须在城市大比例尺地形图上根据城市道路的红线规划,在地块的界址范围内进行楼宇和内部道路的布置。施工时,要将设计的工程结构物的平面位置和高程在实地按设计数据测设。高层建筑,对墙、柱等承重结构构件的垂直度要求很高,需要用高精度的测量仪器进行测设;在工程完成后,还需要测绘竣工图,供管理、维修、改建、扩建之用。对于建筑物和构筑物,在其建成以后还需要进行变形(沉降、倾斜、位移等)观测,以保证建筑物和构筑物的安全使用。



在城市规划,房地产开发、管理和经营中,城市道路红线规划图测绘、房地产图测绘和红线点、界址点的测设起着重要的作用。地籍图、房产图、红线点和界址点坐标提供了土地的行政界线、权属界线、土地和房屋的面积等重要资料。经政府规划部门和土地管理部门确认后,具有法律效力,可以保护土地使用权人和房产所有权人的合法权益,以及国家对房地产的合理税收。上述测绘资料也是城市基础地理信息系统的重要组成部分。

本教材属于普通测量学的范畴,主要讲述如下基础测绘专业知识和技能:

1. 测图 在小区域内(小于半径 10km 的范围)进行测量,把地面上的地形描绘到图纸上。即以控制网为依据,将地面上的地物(房屋、道路、河流等)和地貌(山头、洼地、平原等),用各种图式,按一定的比例尺测绘到图纸上,供规划设计使用。

2. 用图(使用地形图的简称) 泛指使用地图的知识、方法和技能。即利用地形图解决工程上若干基本问题。

3. 放样 根据控制网将图纸上已设计好的建(构)筑物的平面位置和高程按设计要求测设到地面上,作为施工的依据。

第二节 测绘学科内涵和发展概况

一、测绘学科的内涵

测量学是测绘学科中的一门技术基础课程,而测绘学科是地球科学的一个分支学科,为研究测定和描绘地球及其表面的各种形态的理论和方法。为此,测绘学科的研究内容和基本任务主要包括以下几个方面:首先,需要测定地球的形状和大小及与此密切相关的地球重力场,并在此基础上建立一个统一的空间坐标系,用以表示地表任一点在地球坐标系中的准确几何位置;其次,测定一系列地面控制点的空间坐标(称为控制测量),并在此基础上进行详细的地表形态的测绘工作(称为地形测量),其中包括地表的各种自然形态,如水系(江河湖海)、地貌(地表的高低起伏)、土壤和植被的分布,以及人类社会活动所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、土地的行政和权属界线等,绘制成各种全国性的和地区性的数字化地形图,其最终目标是全面建立“数字地球”中的基础地理信息部分;第三,各种经济建设和国防工程建设的规划、设计、施工和建筑物建成后的运营管理中,都需要测绘工作相配合,需要进行控制测量和地形测量,并利用测绘手段来指示建筑工程和设备安装的进行等施工测设工作,监测建筑物的变形等,这些工作总称为工程测量。

二、测绘学科的发展概况

测绘学科是人们在了解自然、利用自然和改造自然的过程中发展起来的。早在远古时代,就有夏禹在黄河两岸治理水患和埃及尼罗河泛滥后整理农田边界的传说,这都需要应用测量学方面的理论和技术。在我国几千年的文明历史中,有着许多关于测量的传说与记载,





在世界测绘科学的历史上享有崇高的声誉。

公元前 4 世纪就利用磁石制成了世界上最早的指南工具,称为“司南”。公元前 130 年,西汉初期的《地形图》及《驻军图》已于 1973 年从长沙马王堆三号汉墓中出土,为目前所发现的我国最早的地形图,较国外有历史记载的地形图早一千多年。晋代制图学家裴秀(244 年—271 年)提出了绘制地图的六条原则,即《制图六体》,正确地解决了地图比例尺、方位、距离及其改化问题,是世界上最早的制图理论,在我国和世界制图学史上有重要地位。唐代高僧一行(俗名张遂)于公元 727 年主持进行了世界最早的子午线测量,直接丈量了长达 300km 的子午线弧长,这是我国第一次应用弧度测量的方法测定了地球的形状和大小,也是世界上最早的一次子午线弧长的测量,比公元 814 年阿拉伯国家进行的子午线弧长的测量早 90 年。北宋沈括(1031 年—1095 年)发明和发展了许多精密易行的测量技术,如用分级堰方法,测量了汴渠 400 多千米沿河段的高差,用水平尺、罗盘测量地形,并在世界上最早发现了磁偏角。元代郭守敬(1231 年—1316 年)在长期修渠治水实践中,总结了一套水准测量的经验,首先提出了海拔高程的概念。18 世纪初,进行了大地测量,在此基础上开展了全国测图工作,在 1708 年—1718 年间完成了《皇舆全图》。在《皇舆全图》上第一次测绘了世界最高峰,注记为珠穆朗玛山。该图彩色绘制,绘法和装裱极为精细。该图的测绘和出版,在我国测绘史上有划时代意义,在世界测绘史上也有重要地位。在此以后,我国在日益腐朽的清封建王朝、北洋军阀和国民党统治下,测绘科学发展相对滞后。

中华人民共和国成立后,在中国共产党的领导下,我国测绘技术有了新的发展。全国各经济建设部门纷纷建立了专业测绘队伍。1956 年成立国家测绘局,不但组织和领导全国的测绘事业,还统一和制定了全国各种测量规范。与此同时,该年又建成了测绘学院,培养了大批测绘科技人才。现已建成了全国的大地控制网和 GPS 的 A 级组网,完成了大量不同比例尺地形图的测绘,各种工程建设的测量工作也取得了显著成绩。测量仪器制造方面从无到有,所有测绘仪器目前已全部能自主研发,批量生产,在智能化、信息化、数字化方面大步迈进。特别是我国北斗导航系统的开发和应用,使我国的测绘技术得到质的飞跃。

世界各国测绘科学主要是从 17 世纪初开始逐步发展起来的。17 世纪初,望远镜应用于天象观测并普遍应用于各种测量仪器。1617 年三角测量方法开始应用。1683 年法国进行了弧长测量。高斯(德国,1777 年—1855 年)于 1794 年提出最小二乘法理论,以后又提出了横圆柱投影学说,这些理论经后人改进,至今仍在应用,1903 年飞机的发明,促进了航空摄影测量学的发展,从而使测图工作部分地由野外转移到室内。

20 世纪 50 年代开始,新的科学技术迅速发展,如电子学、电子计算机和空间技术等。1947 年研究利用光波进行测距,这是量距工作的一大变革。

20 世纪 40 年代自动安平水准仪问世。电子经纬仪已替代了光学经纬仪;外业数据采集实现了自动化,内业数据处理实现了程序化,大大降低了测绘工作者的劳动强度,显著提高了测绘工作的效率。卫星定位技术不仅用于国家控制网,而且在市县一级控制测量、地籍测量等方面也被广泛应用。随着设备及数据处理方法的改进,测绘科学的研究范围及服务对象已远远超出地球表面这一目标。20 世纪 60 年代初发射的宇宙飞船,开始了人类对太阳系





的行星及卫星(金星、火星、月球等)的形状、大小、表面形态的观测和制图工作的研究。

进入 21 世纪后,测绘技术及手段发展更加迅速,传统的测绘技术已基本被现代测绘技术(全球定位系统 GPS,遥感技术 RS,地理信息系统 GIS,简称“3S”技术)所代替;测绘产品应用范围不断拓宽,并可向用户提供“4D”数字产品(数字高程模型 DEM,数字正射影像 DOM,数字栅格地图 DLG,数字线画地图 DRG);目前,数字化测绘技术正在向 3S 技术集成和信息化测绘技术发展。

三、测绘学科分支

测绘学科是一级学科,以下分为大地测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、海洋测绘学和地图制图学等分支学科。

(一)大地测量学

大地测量学是一门研究和测定地球的形状、大小、重力场和地面点几何位置及其变化的理论和技术的学科。地球的形状以大地水准面为代表,是一个以南北极的连线为旋转轴、两极略为扁平、赤道略为突出的旋转椭球体,通过极轴的剖面是一个椭圆;地球的大小以椭圆的长半径 a (赤道半径)和短半径 b (两极半径)来表示。地面点的几何位置有两种表示方法:①将地面点沿椭球法线方向投影到椭球面上,用该点的大地经纬度(B, L)表示该点的水平位置;用地面点至椭球面上投影点的法线距离表示该点的大地高程(H)。②用地面点在以地球质心为原点的空间直角坐标系中的三维坐标(x, y, z)表示。地面点的几何位置测定为大规模测绘地形图提供了平面控制网和高程控制网。

大地测量的传统方法有几何法、物理法以及近代产生的卫星法,它们分别成为几何大地测量、物理大地测量和卫星大地测量(或称空间大地测量学)三个主要分支学科。在近代,随着大地测量点位测定精度的日益提高,使研究地球板块的移动和固体潮等天文和地质所引起的地理现象成为可能,由此引出一门新的学科——动态大地测量学。

(二)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或遥感的手段获取地面目标物的影像数据,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,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照片获取地面信息,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及有关数据的技术,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上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。

(三)工程测量学

工程测量学是一门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、施工放样和变形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信息;施工兴建阶段的测量主要是按照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。高精度工程测量(或称精密工程测量)是采用精密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 and 设备的精确定位和变形观测等。

(四)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,主要包括海洋大地测量、海底地形测量、海道测量、海洋专题测量等,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,并同时完成多种观测项目。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。

(五)地图制图学

地图制图学是一门研究地图制图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法的学科。主要包括以下方面:

地图投影——依据数学原理将地球椭球面上的经纬度线网投影在平面上的理论和方法;

地图编制——研究制作地图的理论和技术;

地图整饰——研究地图的表现形式,包括地图符号和色彩设计、地貌立体表示、出版原图绘制以及地图集装帧设计等;

地图制印——研究地图复制的理论和技术,包括地图复照、翻版、分涂、制版、打样、印刷、装帧等工艺技术。

随着计算机技术引入地图制图中,出现了计算机地图制图技术。此时,地图是以数字的形式存储在计算机中,称之为数字地图;将数字地图在屏幕上按需要的各种方式显示,称为电子地图。计算机地图制图的实现,改变了地图的传统生产方式,节约了人力,缩短了成图周期,提高了生产效率和地图制作质量,并方便了对地图的使用。

测量学课程中的主要内容是测绘学科中基础理论和基础技术的一部分。其中涉及大地测量学中的地球基本形态的知识部分,工程测量学中的基本测量仪器、测量误差知识、控制测量、地形测量、施工测量的基本部分,以及摄影测量学和地图制图学的基础知识部分。测量学也称之为“基础测绘学”。





第三节 测量工作基本要求及本课程学习方法

测量是一项细致的工作,常常容易发生错误,如读错、记错、算错、绘错,一处发生错误即影响下步工作,甚至影响整个测量成果,造成返工浪费现象。所以错误在测量观测和记录中是绝对不允许的。为此,在测量工作中,一定要有极端负责的精神,做到测、算、绘工作处处有校核,对不符合规范的成果,要查明原因返工重测,以保证达到所要求的精度。

测量工作多在野外进行,风吹日晒,工作条件较为艰苦,为争取进度就要充分利用白天的时间进行外业,利用晚间进行内业计算和绘图,劳动强度较大,这就要求测绘工作者具有不怕劳累和连续作业的艰苦奋斗的精神。

测量仪器是测量人员的武器,而且价格又比较昂贵,如对仪器有损坏或遗失,不但造成国家财产的损失,还将影响工作的进度。因此,首先应从思想上像爱护眼睛一样爱护仪器,在行动上才能养成正确使用仪器的良好习惯。

在非测绘专业,测量学既是一门技术课,又是一门专业基础课。它的特点是实践性较强,除了听课及参考有关书籍外,主要是通过完成课后作业、课间实验和教学实习等教学环节来掌握测量知识和技术。所以学习方法必然是理论紧密联系实际。那种只重视理论轻视实践或者只要求实践的感性知识而对理论不求甚解的学习方法,都是错误的。普通测量学的内容多是具体的技术,很多篇幅都是讲述各种仪器的构造和使用方法,这些都属于技术性的知识,如果学习时对其不重视,则对仪器操作不熟悉,观测的精度达不到要求,成果、成图都是废品,造成浪费。只有懂得理论,并能熟练地掌握操作技术,观测成果达到要求精度,才能胜利完成本课程的学习任务。

第1章 测量学基本知识



重点提示

本章涉及水准面、大地水准面、参考椭球面、地理坐标、平面直角坐标、高斯投影、地面点高程、比例尺、比例尺精度等基本概念,要求同学熟练掌握,同时还应理解测量工作的基本原则,了解地球曲率对测量成果的影响。

第一节 地球的形状和大小

测量学的主要任务是量度、描述地球表面信息。目前,主要的测量工作是在地球表面上进行的,因此有必要了解地球的形状和大小。

人们早已知道地球为一球形,但几百年来,关于它的确切形状,一直是学者们研究兴趣很浓的课题。地球的自然表面是一个起伏不平的不规则的曲面,其中海洋约占71%,陆地约占29%,若以平均海水面为准,陆地的最高处为我国与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰,我国测绘工作者于2005年测得其精确的高程为8844.43m。海底最深处为太平洋西部的马里亚纳海沟,深达11022m。然而,这样的山峰和海沟在庞大的地球表面上却又是微不足道的,如果将它们和地球的半径6371km相比,它们分别仅占地球半径的1/720和1/578,因此,在宏观上完全可以忽略这样的起伏。静止的水面称为水准面,随着水面高度的不同,水准面可以有无数多个,而静止的平均海水面的水准面,则称为大地水准面。它是一个向大陆、岛屿内部延伸而形成的封闭曲面,测量学中通常用大地水准面表征地球表面的形状,以大地水准面所包围的形体——大地体来表示地球的形状和大小。

水准面的特性就是它的表面处处与铅垂线垂直,即与重力方向垂直。由于地球的自转,地球上的每个质点都受到离心力 P 和引力 F 的作用(图1-1),使地面上的物体不致自由离开,这两种力的合力 G 称为重力。当悬挂的垂球静止时,垂球线就是垂球的重力作用线,也称为铅垂线。

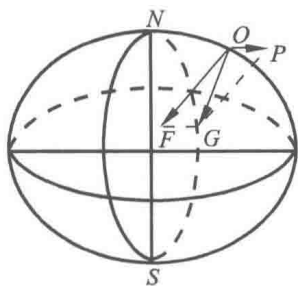


图 1-1 引力、离心力与重力

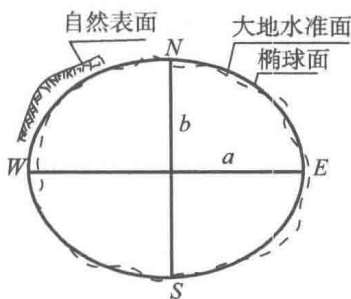


图 1-2 地球的三种表面

由于地球内部的质量分布不均匀,因此,各点的铅垂线方向也会产生不规则的变化,致

使表面处处与铅垂线垂直的大地水准面成为一个不易用数学公式表达的不规则的曲面。如果把地表面的形状按铅垂线投影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量的计算工作。经过长期的测量实践,发现大地体与一个以椭圆的短半轴为旋转轴的旋转椭球的形状十分近似,而旋转椭球是可以用数学公式严格表示的,所以测量工作就取大小与大地体接近的旋转椭球作为地球的参考形状和大小。

椭球体的基本元素是长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 e (图 1-2)。几个世纪以来,许多学者分别测算出椭球体的基本元素值。特别在 20 世纪 60 年代末以后,国际上利用卫星大地测量技术得到了当时最佳拟合于全球大地水准面的椭球体。我国在 1972 年—1982 年期间进行国家天文大地网整体平差时,采用的是国际大地测量学协会 1975 年推荐的以下新椭球参数基本元素:

$$a=6378140\text{m}$$

$$e=\frac{a-b}{a}=\frac{1}{298.257}$$

由于椭球体的扁率很小,在普通测量学中,可以把地球当作圆球看待,其半径为:

$$R=\frac{1}{3}(a+a+b)\approx 6371\text{km}$$

第二节 地面点位的确定

地面点都是位于三维空间的点,其位置是用三维坐标来表示的,测量中某点的三维坐标通常用坐标和高程来表示。

一、地面点的坐标

(一)地理坐标

1. 天文坐标 见图 1-3,视地球为一球体, N 和 S 分别是地球北极和南极,通过地极和地球质心的地球自转轴,称为地轴。过地轴的平面称为子午面,它与球面的交线称为子午线。过地心 O 且垂直于地轴的平面称为赤道面,它与球面的交线称为赤道。通过英国格林尼治天文台原址的子午线称为起始子午线(首子午线)。而包括该子午线的子午面称为首子午面。地面上任一点 M 的地理坐标是以该点的经度和纬度来表示的,经度和纬度的起算面分别是首子午面和赤道面。例如,地面点 M 的经度,就是过 M 点子午面与首子午面的夹角,以 λ 表示。从首子午线起向东 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称东经;向西 $0^\circ\sim 180^\circ$ 称西经。 M 点的纬度,就是过该点的铅垂线与赤道平面的交角,以 φ 表示。纬度自赤道起向北 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称北纬;向南 $0^\circ\sim 90^\circ$ 称南纬。例如南昌某地的地理坐标为东经 $116^\circ 00'$,北纬 $28^\circ 40'$,据此可在球面上确定该地的位置为 $(116^\circ 00', 28^\circ 40')$ 。以上经纬度称天文坐标或天文经纬度,是用天文测量方法测定的,点和点之间的天

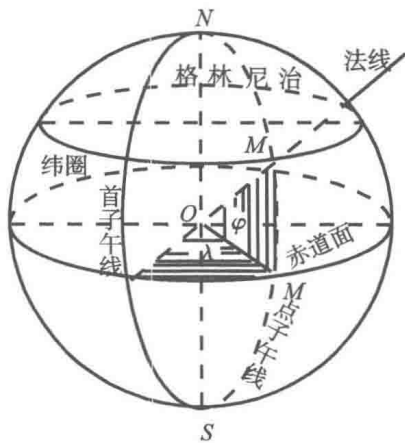


图 1-3 天文坐标

文坐标没有数学关联,使用不便。

2. 大地坐标 如果以旋转椭球的旋转轴和椭球中心为基础得到子午面和赤道面,按照相同的方式定义的经纬度称为大地坐标,分别是大地经度,用 L 表示,大地纬度,用 B 表示,其中大地纬度是过某点的椭球面法线与赤道面的夹角。某点的大地经纬度可由已知数据推算得到,相对天文坐标,大地坐标使用较为方便,因此测量中常用的统一地理坐标是大地坐标。

(二)平面直角坐标

由于地球的半径很大,赤道面上 $1''$ 的经度差就达到 31m 左右,在国民经济建设中为保证精度和计算的方便,采用平面直角坐标系。

1. 假定平面直角坐标 当测量区域较小,可将该部分的椭球面用过测区中心的切平面(即水平面)来代替(其限度见第三节),把局部地球表面上的点,依正射投影投影在该水平面上。在水平面上假定一平面直角坐标系,以直角坐标 x 、 y 来表示点的平面位置。即在测区的西南选一坐标原点,以过该点的子午线方向为 x 轴(纵轴),向北为正;过该点且垂直于子午线的方向为 y 轴(横轴);坐标轴将平面分成四个象限,其顺序依顺时针方向排列(图 1-4)。测量上使用的平面坐标的 x 、 y 标注方向与数学上常用的不同,这是因为测量工作中,规定所有直线的方向都是以纵坐标轴北端按顺时针方向量度的。经这样变换后,既不改变数学公式,同时又便于测量中方向和坐标的计算。

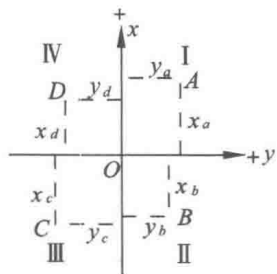


图 1-4 测量平面直角坐标系

为了避免在测区内出现负数坐标,起算点 A 的坐标要定为一个足够大的数值,并选在测区的西南角(图 1-5)。

2. 高斯平面直角坐标 当测区面积较小时,可不考虑地球曲率的影响,而直接将地面点依正射投影投影到水平面上,且用直角坐标系表示投影点的位置,不要进行复杂的计算。但当测区较大时,就不能将球面当作水平面看待,因而也不能依正射投影的方法在平面上表示地面点的位置,而须将椭球上的点位或图形投影到平面上,然后在平面上进行计算。此外,前述地理坐标虽然能表示在球面上的位置,但它对于一般的测量工作在应用上仍不很方便。如何将球面上的点位描绘到平面图纸上,须采用特定的地图投影方法来解决。我国国家基本比例尺地形图采用高斯投影。

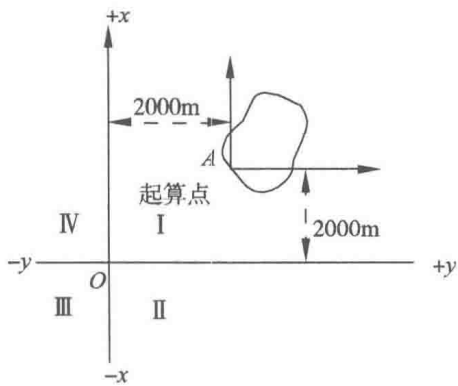


图 1-5 假定平面直角坐标

我们知道,把球面上的图形画到平面上是要产生变形的,变形有长度变形、角度变形和面积变形等数种。在测量上一般要求投影后的角度不变,即图上的图形与实地的图形相似,至于其他变形只要不超过一定的限度即可。满足这一要求的投影方法,就是高斯-克吕格投影,简称高斯投影。在这里仅介绍高斯投影与平面直角坐标的联系。

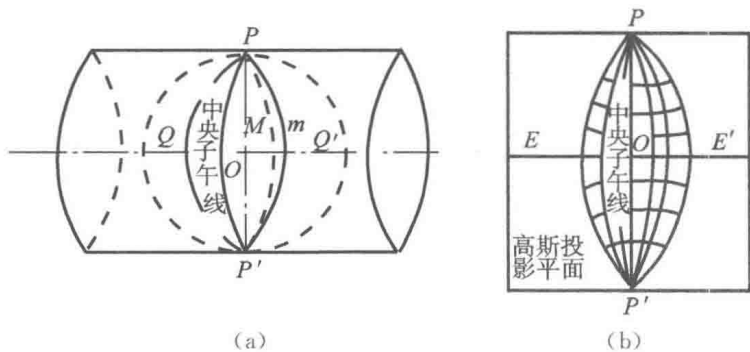


图 1-6 高斯投影

见图 1-6,为简单起见,把地球当作圆球,设想将一个平面卷成一个横圆筒,把它套在圆球外面,使横圆筒的轴通过圆球中心,圆球面上的一条子午线与横圆筒相切(即这一条子午线与横圆筒重合),这条子午线称为中央子午线。在保持角度不变的条件下,按照一定的投影方法,将中央子午线东西各一定经度范围内的地区,投影在横圆筒面上,然后将横圆筒沿通过南北极的母线切开,展成一个平面,这个平面称为高斯投影平面。见图 1-6(b),高斯投影平面上的中央子午线的投影为直线且长度不变,其余的子午线均为凹向中央子午线的曲线,其长度大于投影前的长度。由于离中央子午线愈远其长度变形也愈大,因此,为了将长度变形限制在测图精度允许的范围内,就必须将地球分成若干范围不大的带进行投影。投影的宽度一般有经差 6° 和 3° 两种,简称 6° 和 3° 带。 6° 带是从 0° 子午线算起,经度每隔 6° 为一带,第一带的中央子午线是东经 3° ,第二带为 9° ,依此类推。投影带的带号 N 与该带中央子午线经度 L_0 的关系为 $L_0 = 6N - 3$ 。 3° 带是从东经 $1^\circ 30'$ 算起,以经度每隔 3° 为一带,第一带的中央子午线是东经 3° ,第二带是 6° ,依次类推。 3° 带中央子午线的经度与其带号 n 的关系为 $L'_0 = 3n$ 。图 1-7 所示是两种投影带的分带情况,由图可知, 3° 的中央子午线一部分同 6° 带的中央子午线重合,一部分同 6° 带的边缘子午线重合。

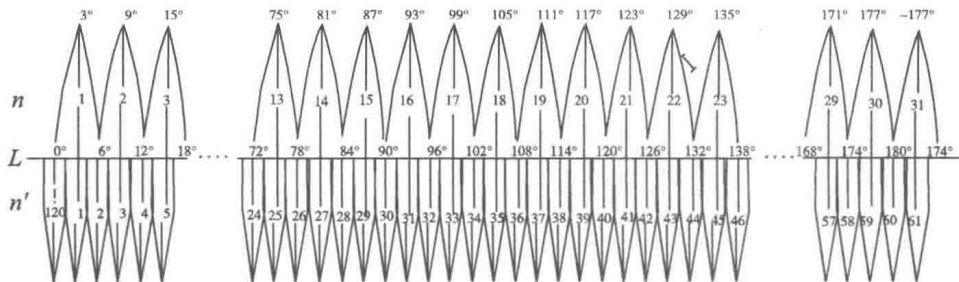


图 1-7 高斯-克吕格投影分带示意图

我国位于东半球,经度范围从东经 72° 至 136° 之间,共包括 11 个 6° 带,即 13~23 带,或包括 22 个 3° 带,即 24~45 带。

有了高斯投影平面后,怎样建立平面直角坐标系呢? 见图 1-8,测量上以每投影带的中央子午线的投影为坐标系的纵轴 x ,向上(北)为正,向下(南)为负;以赤道面与横圆筒的交线(中央子午线相垂直)为坐标系的横轴 y ,向东为正,向西为负,两轴的交点 O 为坐标原点,这就是高斯平面直角坐标系。由于我国领土全部位于赤道以北,因此 x 值均为正值,而 y 值则有正有

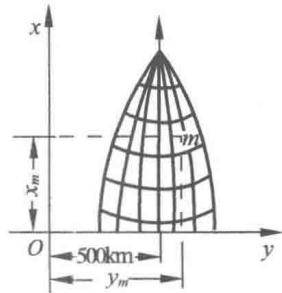


图 1-8 高斯平面直角坐标系

负,为了使计算中 y 值不出现负值,故规定每带的中央子午线各自向西平移 500km,同时为了指示投影带是哪一带,还规定在横坐标值前面要加上带号,如:

$$x_m = 347210.97(\text{m})$$

$$y_m = 19667300.55(\text{m})$$

上述 y_m 等号右边的 19 表示第 19 带,而 m 点距中央子午线的距离 D 为:

$$D = 667300.55 - 500000 = 167300.55(\text{m})$$

由于 D 为正值,所以该点位于中央子午线东面。

由上述分析可知,高斯坐标是平面直角坐标,同时又与地理坐标建立起了联系。但采用高斯平面直角坐标来表示地面点的位置时,需要通过比较复杂的数学(投影)计算才能由地理坐标求得平面直角坐标。所以高斯平面直角坐标系一般都用于较大面积的测量区域。

若已知我国某地的经度 L (以度为单位),则可按下列公式计算所在的 6° 带号 N 和 3° 带号 n :

$$N = L/6 + 1$$

$$n = (L - 1.5)/3 + 1$$

符号“/”为整除,即取除商的整数部分。

【例 1-1】 南昌某地的经度为东经 116° ,求 N 和 n 以及 L_0 和 L'_0 。

解: $N = 116/6 + 1 = 19 + 1 = 20$

$$n = (116 - 1.5)/3 + 1 = 38 + 1 = 39$$

$$L_0 = 20 \times 6 - 3 = 117^\circ$$

$$L'_0 = 39 \times 3 = 117^\circ$$

二、地面点的高程

高程是指由高程基准面起算至地面点的铅垂线长度,亦称高度。从大地水准面起算的高程称为绝对高程,又称海拔。从假定(任意)水准面起算的高度称为相对高程。高程以 H 表示,见图 1-9 中的 H_A 、 H_B 。地面上两点高程之差,称为高差,用 h 表示。高差有正负之分。

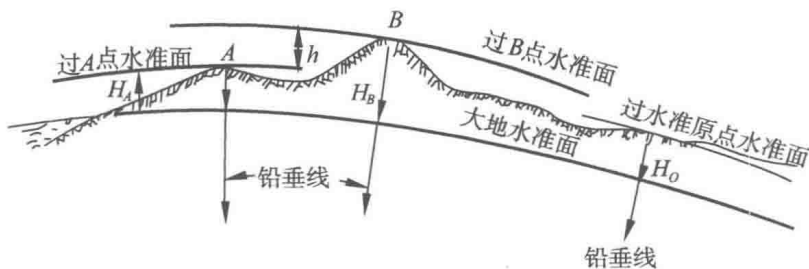


图 1-9 点的高程

见图 1-9, A 点至 B 点的高差,记作 h_{AB} , B 点至 A 点的高差,记作 h_{BA} 。

因为

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1-1)$$

$$h_{BA} = H_A - H_B$$

所以

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1-2)$$

我国过去以青岛验潮站 1950 年—1956 年测定的黄海平均海水面作为全国统一的高程