

普通高等教育规划教材

现代测量学

⊕(附实习、实训指导书)⊕

沙从术 主编 耿宏锁 副主编



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

现代测量学

（附实习、实训指导书）

沙从术 主编 耿宏锁 副主编



化学工业出版社

北京

本教材在传统测量学和地形测量的基础上,力求采用新思路、增加新内容、体现新结构、应用新技术,对全书结构和内容方面进行优化处理。

全书共分4篇11章,包括:现代测量学的基本知识、测量的基本方法及测量仪器的使用、现代测量学的基本理论、数字地形图的测绘及应用,每篇前面增加了导读内容,旨在提示读者本篇要讲述的主要内容、学习目标、学习方法和学习要求;每章后面都有相应的习题与思考题,通过练习,达到对本章内容学习的巩固与深化。

为更好地掌握现代测量学的理论知识,编写了与之配套的《现代测量学实习、实训指导书》(另册),通过完整的实践训练,达到理论与实践的有机结合。

本书为高等学校测绘工程、地理信息、工程测量技术、地籍测量等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代测量学(附实习、实训指导书)/沙从术主编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 2
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-07519-2

I. 现… II. 沙… III. 测量学 IV. P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第000328号

责任编辑:李仙华 卓丽 王文峡
责任校对:周梦华

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张17 字数438千字 2010年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价(含实习、实训指导书): 30.00元

版权所有 违者必究

前 言

“现代测量学”是测绘工程、地理信息、工程测量技术、地籍测量等专业的一门主要专业课，重点学习现代测量学的基本知识、测量仪器的操作使用、数字地形图的测绘等内容。本课程与后续的测量课程联系密切，也是今后学习其他课程的基础，对培养学生的专业能力具有重要的作用。

本教材在传统测量学和地形测量的基础上，力求采用新思路、增加新内容、体现新结构、应用新技术对全书进行结构和内容方面的优化处理。全书共分4篇11章，包括：现代测量学的基本知识、测量的基本方法及测量仪器的使用、现代测量学的基本理论、数字地形图的测绘及应用，每篇前面增加了导读内容，旨在提示读者本篇要讲述的主要内容、学习目标、学习方法和学习要求；每章后面都有相应的习题与思考题，通过练习，达到对本章内容学习的巩固与深化。本教材摒弃了传统的平板仪测图内容，增加了利用全站仪和GPS进行数字化测图的内容，对传统的三角测量方法和交会测量方法进行了大幅度的删减，将新的技术、新的方法、新的仪器内容添加进来，如增加了GPS测量技术、数字测图和计算机绘图技术，增加了电子经纬仪、全站仪的使用与操作方法。

由于现代测量学是一门实践性很强的课程，在学习过程中必须进行各种实习和综合实训才能很好地掌握现代测量学的理论知识，为此，我们编写了与之配套的《现代测量学实习、实训指导书》(另册)，通过完整的实践训练，达到理论与实践的有机结合。

本书由河南工程学院沙从术任主编、西北农林科技大学耿宏锁任副主编、福建龙岩学院陈绍杰参编，全书由沙从术统稿。

在本书编写过程中，参考了有关文献资料，在此向这些文献作者表示感谢！

在本书编写中存在的问题和不足之处，恳请读者批评指正。

本书提供有电子教案，可发信到 cipedu@163.com 邮箱免费获取。

编 者

2010年1月

目 录

第一篇 现代测量学的基本知识

第一章 绪论	1
第一节 现代测量学的地位与作用	1
一、现代测量学的基本概念	1
二、现代测量学的地位与作用	2
第二节 现代测量学的学科分类	3
第三节 测量学的发展历史及前景	5
第四节 学习测量学的方法与要求	6
习题与思考题	6
第二章 测量学的基本知识	7
第一节 地球的形状和大小及相关概念	7
一、地球的形状和大小	7
二、关于大地体的几个基本概念	7
三、关于参考椭球面的基本概念	7
第二节 测量坐标系统和高程系统	8
一、点的空间位置表示	8
二、有关的名词概念	8
三、平面直角坐标系	9
第三节 直线定向	9
一、直线定向的意义	9
二、子午线收敛角	9
三、直线定向的几种表示方法	9
第四节 用水平面代替水准面的限度	10
一、水准面的曲率对水平距离的影响	10
二、水准面的曲率对水平角度的影响	11
三、地球曲率对高差的影响	11
第五节 测量工作概述	11
一、测图原理	11
二、测量工作概述	12
习题与思考题	12

第二篇 测量的基本方法及测量仪器的使用

第三章 高程测量	13
第一节 水准测量原理	13
一、水准测量原理	13
二、水准测量方法	14
第二节 水准仪的操作方法	14
一、S3型水准仪的构造	15
二、水准尺及尺垫	15
三、水准仪的使用	15
第三节 水准测量的外业工作	16
一、水准点和水准路线	16
二、施测方法	16
三、水准测量应注意的事项	18
第四节 水准测量的内业工作	19
一、水准路线闭合差的计算	19
二、高差闭合差的分配	20
第五节 水准仪的检验与校正	21
一、水准仪应满足的条件	21
二、水准仪的检验与校正	21
第六节 水准测量的误差分析	24
一、仪器误差	24
二、水准标尺的误差	24
三、整平误差	25
四、读数误差的影响	25

五、仪器和标尺升沉误差	25	习题与思考题	26
六、大气折光的影响	25		
第四章 角度测量	28		
第一节 水平角与竖直角的概念及测量		第四节 竖直角测量方法	37
原理	28	一、竖直角观测与计算	37
一、水平角观测的概念及测量原理	28	二、竖盘读数指标差	39
二、竖直角观测的概念及测量原理	29	第五节 经纬仪的检验与校正	40
第二节 光学经纬仪与电子经纬仪的操作		一、光学经纬仪应满足的几何条件	40
方法	29	二、经纬仪的检验与校正	40
一、光学经纬仪的构造	29	第六节 角度测量的误差分析及注意	
二、光学经纬仪的操作方法	32	事项	43
三、电子经纬仪	34	一、角度测量的误差分析	43
第三节 水平角的测量方法	35	二、角度观测的注意事项	44
一、测回法	35	习题与思考题	45
二、方向观测法	35		
第五章 距离测量	47		
第一节 距离测量概述	47	一、视距测量原理	55
第二节 钢尺量距	47	二、视距测量的观测和计算	57
一、量距工具	47	三、视距测量的误差来源及消减方法	57
二、直线定线	48	第四节 电磁波测距	58
三、一般量距方法	49	一、测距原理	58
四、钢尺的检定	51	二、红外测距仪及使用	60
五、钢尺的精密量距	52	三、使用测距仪的注意事项	62
六、钢尺量距的误差分析及注意事项	54	习题与思考题	63
第三节 视距测量	55		
第六章 坐标测量	64		
第一节 坐标测量概述	64	第三节 坐标测量方法	74
第二节 全站仪的操作方法	65	一、测站点坐标的设置	74
一、全站仪简介	65	二、仪器高和目标高的设置	74
二、全站仪的结构与测量原理	65	三、后视点定向	75
三、电子测角原理	67	四、坐标测量	75
四、全站仪的操作方法	69	习题与思考题	75
五、全站仪操作注意事项	73		

第三篇 现代测量学的基本理论

第七章 测量误差的基本知识	76		
第一节 测量误差概念	76	第二节 测量误差的种类	77
一、观测者的原因	76	一、系统误差	77
二、仪器的原因	77	二、偶然误差	77
三、外界环境的影响	77	三、粗差	77

四、误差处理原则	78	第六节 不等精度观测值的平差计算	89
第三节 偶然误差特性及评定观测值的 精度指标	78	一、不等精度观测及观测值的权	89
一、偶然误差特性	78	二、加权平均值	91
二、评定精度的指标	80	三、加权平均值的中误差	92
第四节 误差传播定律及其应用	82	四、单位权中误差的计算	92
一、观测值的函数	82	第七节 平差应用举例	94
二、误差传播定律应用实例	84	一、由同精度双观测值的差数求观测值 中误差	94
第五节 等精度观测值的直接平差	86	二、由不同精度双观测值的差数求中 误差	95
一、算术平均值	86	三、等权代替法平差	97
二、观测值的改正值	86	习题与思考题	100
三、按观测值的改正值计算中误差	86		

第四篇 数字地形图的测绘及应用

第八章 高斯投影和地形图的分幅与编号	101	二、矩形分幅与编号	109
第一节 高斯投影概述	101	第三节 地形图的图幅元素	110
第二节 地形图的分幅与编号	104	习题与思考题	111
一、梯形分幅与编号	104		
第九章 平面控制测量	113	三、后方交会	128
第一节 控制测量概述	113	第四节 GPS 测量方法	130
第二节 导线测量外业工作和内业计算	114	一、GPS 全球定位系统的建立	130
一、导线测量的外业工作	114	二、GPS 系统的特点	130
二、导线测量的内业计算	117	三、GPS 定位的基本原理	131
三、导线测量的近似平差计算	118	四、GPS 定位方法	132
四、导线测量的计算实例	122	五、GPS 在控制测量中的应用	133
第三节 其他测量方法简述	125	六、GPS 测量的设计与实施	135
一、前方交会	125	习题与思考题	144
二、侧方交会	127		
第十章 数字地形图的测绘	146	三、后方交会	128
第一节 数字地形图的基本知识	146	第四节 内业数据处理及计算机绘图工作	160
一、数字测图的有关概念	146	一、CASS 数字测图系统操作主界面及 其简介	160
二、数字测图的作业流程	149	二、数据传输与参数设置	162
三、数字测图的优点	149	三、平面图绘制	164
四、数字测图的作业模式	150	四、编辑、注记与数据处理	170
第二节 测图前准备工作	151	五、等高线绘制与编辑	174
一、控制测量	151	六、数字地形图的整饰与输出	176
二、仪器器材与资料准备	152	第五节 测图工作外业与内业的注意 事项	177
三、测区划分	152	一、测图工作外业注意事项	177
四、人员配备	152	二、内业绘图工作的注意事项	178
第三节 野外数据采集工作	152	习题与思考题	178
一、全站仪法数据采集	153		
二、RTK 法数据采集	155		
三、无码作业与简码作业	158		

第十一章 数字地形图的应用	179
第一节 数字地形图在地籍管理方面的应用	179
一、生成权属信息文件	179
二、绘制地籍图	182
三、宗地图绘制	183
四、地籍表格绘制	185
第二节 数字地形图在工程方面的应用	186
一、基本几何要素查询	186
二、土方量的计算	187
第三节 断面图的绘制	191
一、根据坐标文件生成断面图	192
二、根据里程文件	192
三、根据等高线	192
四、根据三角网	192
五、断面图数据文件	192
习题与思考题	194
参考文献	195

第一篇

现代测量学的基本知识

【导读】 本篇内容主要引导学生对现代测量学有一个初步的认识，了解现代测量学的一些基本概念、测量学的学科分类，了解测量学在国民经济和国防建设中的地位与作用，了解测量学的发展历史及发展前景。了解地球的形状和大小及与地球相关的一些概念，了解测量坐标系统和高程系统的相关概念与规定；掌握直线定向的方法以及象限角和坐标方位角的关系，掌握用水平面代替水准面限度的计算方法与规定；了解测量工作基本原则、基本方法和要求。

通过本篇的学习，使学生树立学好测绘专业课的信心，培养学生的学习兴趣，掌握测绘专业课的学习方法，今后测绘专业课的学习从思想认识上打下比较稳固的基础。

第一章 绪 论

【知识目标】

- 掌握测量学及相关学科的基本概念
- 了解测量学在国民经济和国防建设中的地位与作用
- 了解测量学发展历史及发展前景
- 掌握本课程的学习方法与要求

第一节 现代测量学的地位与作用

一、现代测量学的基本概念

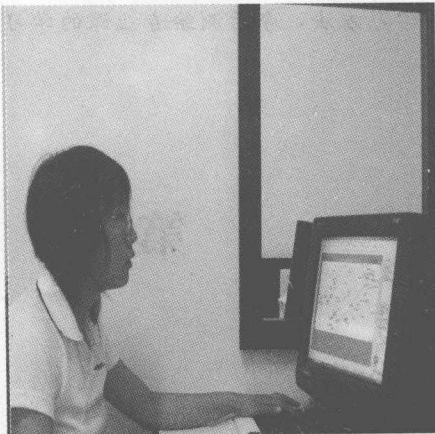
测量学是一门古老而又现代的学科，早期的概念是以地球为研究对象，对它进行测定和描绘的科学。测绘就是利用测量仪器测定地球表面自然形态的地理要素和地表人工设施的形状、大小、空间位置及其属性等，然后根据观测到的这些数据通过地图制图的方法将地面的地物、地貌绘制成地形图。图 1-1 为利用平板仪测绘地形图。随着测绘技术和计算机绘图技术的不断发展，测绘仪器的自动化程度也越来越高，目前，传统的平板仪和经纬仪测图方法基本上不再使用，现多采用数字化的测图技术，即利用全站仪和 GPS 接收机进行野外数据采集，利用计算机进行内业绘图工作，如图 1-2 所示。在一般情况下，这种概念的测绘工作



图 1-1 平板仪测绘地形图



(a) 外业数据采集



(b) 内业计算机绘图

图 1-2 数字化测图

仅限于较小区域的测量与制图，将地面当成平面，不考虑地球曲率的影响。但是地球表面并不是平面，测绘工作的范围也不仅限于局部地区，尤其是在现代测绘科学技术的应用领域不断扩大，其工作范围不仅是大范围，例如一个地区或一个国家，有时甚至需要进行全球的测绘工作。在这种情况下，测绘工作和测绘科学所要研究的问题就不是那样简单，而是变得复杂得多了。这时，测量学不仅研究地球表面的自然形态和人工地物的几何信息的获取与表达问题，而是把地球作为一个整体，研究获取和表达其几何信息、物理信息、人文信息等以及这些信息随时间变化的规律。因此，现代测量学比较完整的概念应该是：它是研究实体（包括地球整体、表面以及外层空间各种自然与人造的物体）中与地理空间分布有关的各种几何、物理、人文及其随时间变化的信息的采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。

二、现代测量学的地位与作用

1. 在科学研究中的作用

地球作为人类赖以生存与发展的唯一星球，经过自古至今的自然变迁与人类改造，如今

的地球正变得越来越不稳定,人类正面临着一系列全球性或区域性的重大难题与挑战,现代测量学在探索地球的奥秘与规律、深入认识和研究地球的各种问题中发挥着重要作用。伴随着现代测量技术的不断发展,现代测量已经或将要实现无人干预自动连续观测和数据处理,可提供任意时段的观测数据,这对地球内部的物质结构变化、地壳运动规律、重力场的时空变化、地球自转的变化等研究,都起到非常重要的作用。

2. 在国民经济建设中的作用

现代测量学在国民经济建设中作用更是广泛的。在经济发展规划、土地资源的调查与利用、海洋开发、农林牧渔业的发展、生态环境保护以及各种工程、矿山和城市建设等各个方面都必须进行相应的测量工作,编制各种类型的地图和建立相应的地理信息系统,以供规划、设计、施工、管理和决策使用。例如,在城市化进程中,城市规划、乡镇建设、交通管理等都需要测绘数据和相对应的地图;在水利、能源、通讯等设施的大规模、高难度的工程建设中,也离不开精确的具有现势性强的测绘资料,并且需要在工程建设的全过程采用地理信息数据进行辅助决策。丰富的地理信息是国民经济和社会信息化的重要基础,对传统的产业改造、升级、优化与生产经营,发展精细农业,构建“数字中国”和“数字城市”,发展现代物流配送系统和电子商务,实现金融、财税、贸易等信息化,都需要以测绘数据为基础的地理空间信息系统作为平台。

3. 在国防建设中的作用

古代打仗和近代战争离不开地图,在现代化的战争中,武器的定位、发射和精确制导更需要高精度的定位数据,高分辨率的地球影像图。以地理空间信息为基础的战场指挥系统,可持续、实时地提供虚拟数字化的战场环境信息,为作战方案的优化、战场指挥和战场态势评估实现自动化、系统化和信息化提供测绘数据和基础地理信息保障。测绘信息可以提高战场上的精度打击力,夺取战争的胜利与主动。公安部门合理部署警力,有效预防和打击犯罪也需要电子地图、全球定位系统和地理信息系统的技术支持。为建立国家边界及国内行政界线,测绘空间数据库和多媒体地理信息系统不仅在实际疆界划定工作中起着基础信息的作用,而且对于边界谈判、缉私禁毒、边防建设与界线管理中均有重要的作用。尤其是测绘信息中的许多内容涉及国家主权的利益,决不可失去严肃性与严密性。

4. 在社会发展中的作用

国民经济建设和社会发展的绝大多数活动都是在某一特定空间地域进行的,其信息数据也大多数与地理位置有关,政府部门或职能机构既要及时了解自然和社会经济要素的分布特征与资源环境条件,也要进行规划布局,还要掌握其发展状态和政策的实施效应,由于现代经济和社会的快速发展与自然关系的复杂性,使人们解决现代经济和社会问题的难度增加,因此,为实现政府管理和决策的科学化、民主化,需要提供广泛通用的地理空间信息平台,测绘数据是其基础,在此基础上,将大量的经济与社会信息要素加载到这个平台上,形成符合真实世界的空间分布形式,建立空间决策系统,进行空间分析和决策,以及实施电子政务。另外,在防灾与减灾、自然资源的合理开发与利用、生态建设与环境保护、社会可持续发展等方面,测绘数据与地图资料都发挥着极其重要的作用。

第二节 现代测量学的学科分类

随着现代科学技术的发展和不同学科的交叉融合,现代测量学产生了许多分支学科:大地测量学;地形测量学;摄影测量学;海洋测绘学;工程测量学;制图学;遥感(RS);全

球定位系统 (GPS) 和地理信息系统 (GIS) 等, 伴随新技术的不断发展, 新的测量分支学科将不断涌现。

大地测量学: 它是研究地球的形状与大小、地球的重力场和地面点几何位置的测量方法及地球整体与局部运动的理论和技术的学科。在大地测量学中, 测定地球的大小是指测定地球椭球的大小; 研究地球的形状是指研究大地水准面的形状和地球椭球的扁率; 测定地面点的几何位置是指测定以地球椭球面为参考面的地面点位置; 研究地球的重力场是指利用地球的重力作用研究地球的形状。

地形测量学: 研究将地球表面局部地区的地貌、地物测绘成地形图的基本理论和方法。地形测量学主要是研究在局部地区测绘各种地形图的方法与理论以及各种测量仪器的操作与使用方法。

摄影测量学: 研究利用航天、航空、地面的摄影和遥感信息, 进行测量的方法和理论的学科。它是研究如何利用摄影或遥感手段获取目标物的影像数据, 从中提取几何和物理信息, 并用图形、影像和数字形式表达测绘成果。摄影测量学又包括航空摄影测量、航天摄影测量、地面摄影测量等。

海洋测绘学: 它是以前海洋水体和海底为对象, 研究海洋定位、测定海洋大地水准面、海底地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。其主要内容包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图等图的编制工作。

工程测量学: 它是研究在工程建设和自然资源开发各个阶段进行测量工作的理论和技术的学科。它是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用, 包括规划设计阶段的测量、施工兴建阶段的测量、竣工验收阶段的测量和运行管理阶段的测量。每个阶段的测量工作, 其内容方法和要求也各不相同。

地图学: 它是研究模拟地图和数字地图的基础理论、地图设计、地图编制和复制的技术方法及其应用的学科。传统的地图学内容包括: 地图投影理论、地图编制技术、地图设计方法、地图印制工艺等。随着计算机技术的引入, 出现了计算机地图制图技术, 它是根据地图制图原理和地图编辑过程的要求, 利用计算机输入、输出等设备, 通过数据库技术和图形数字处理方法, 实现地图数据的获取、处理、显示、存储和输出。此时地图是以数字形式存储在计算机中, 称之为数字地图, 它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。

遥感 RS (Remote Sensing): 它是不接触物体本身, 用传感器采集目标物的电磁波信息, 经处理分析后, 识别目标物, 并揭示其几何、物理性质和相互联系及其变化规律的现代科学技术。一切物体, 由于其种类及环境条件不同, 因而具有反射和辐射不同波长的电磁波的特性, 遥感技术就是利用物体的这种电磁波特性, 通过观测电磁波, 从而判读和分析地表的目标及现象, 达到识别物体及物体所在环境条件的技术。

全球定位系统 GPS (Global Positioning System): 它是美国国防部为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位的要求而建立的, 是目前世界上最先进、最完善的卫星导航与定位系统, 它不仅具有全球性、全天候、实时精密三维导航与定位能力, 而且具有良好的抗干扰性和保密性。它由 6 个轨道上的 24 个卫星组成, 基本定位原理是依据用户和 4 颗卫星之间的伪距测量, 根据卫星在适当参考框架中的已知坐标确定用户接收机天线的坐标, 也就是空间后方交会原理。

地理信息系统 GIS (Geographic Information System): 它是在计算机软件和支持硬件的支持下, 把各种地理信息按照空间分布及属性以一定的格式输入、存储、检索、更新、显示、制

图和综合分析应用的技术系统。它是将计算机技术与空间地理分布数据相结合,通过一系列空间操作和分析方法,为地球科学、环境科学和工程设计,乃至政府行政职能和企业经营提供对规划、管理和决策有用的信息,并回答用户提出的有关问题。

第三节 测量学的发展历史及前景

在人类发展的历史长河中,人的各种活动都与空间位置有关,因而产生了确定点位及相互关系的需要。远在上古时代,就有了夏禹在黄河两岸治理水患和埃及尼罗河泛滥后农田边界整理的传说,这些都需要有一定的测量知识。

公元前7世纪前后,管仲在所著《管子》一书中已收集了早期的地图27幅,西汉初期的《地形图》及《驻军图》已于1973年从长沙马王堆汉墓中出土。到了西晋,裴秀就提出了绘制地图的6条原则,即《制图六体》,它是世界上最早的制图理论。早期的地图不论是精度和内容,还是制图的手段都是很低的,随着人们对自然界的认识不断深入,生产力水平和科学技术的不断发展,测绘科学也不断发展和进步。17世纪,望远镜的使用,是测绘科学发展史上一次较大的变革。1903年飞机的发明,又促进了航空摄影测量学的发展。到了20世纪50年代,随着电子学、信息论、相干光理论、电子计算机、空间科学技术等学科的发展,又极大地推动了测绘科学的发展。

20世纪80年代,由于全球定位系统卫星的发射和计算机技术的快速发展,更是推动测绘科学的进步。从低精度到高精度、从低速度到高速度、从静态观测到动态观测、从局部到全球、从图纸化到数字化、从手工到自动化、从二维到多维,这就是测绘科学发展的总趋势。

地图是一种古老而有效并一直沿用至今的精确表达地表现象的方式,是记录和传达关于自然世界、社会和人文的位置与空间特性信息最卓越的工具,它对人类社会发展的作用如同语言和文字一样,具有十分重要性。从本质上讲,地图是对客观存在的特征和变化规则的一种科学的概括和抽象。与早期用半符号、半写景的方法来表示和描述地形的地图相比,现代地图按照一定数学法则,运用符号系统概括地将地面上各种自然现象表示在平面上,因此现代地图具有早期地图无法比拟的优点,即现代地图具有可量测性。

传统的图解法测图是利用常规的测量仪器对地球表面局部区域内的各种地物、地貌特征点的空间位置进行测定,并以一定的比例尺按图式符号将其绘制在图纸上。通常称这种在图纸上直接绘图的工作方式为白纸测图。在测图过程中,观测数据的精度由于刺点、绘图及图纸伸缩变形等因素的影响会有较大的降低,而且工序多、劳动强度大、质量管理难,特别在当今的信息时代,纸质地形图已难以承载更多的图形信息,图纸更新也极为不便,难以适应信息时代经济建设的需要。

随着计算机技术和测绘仪器的发展,一种全解析机助测图方法以高自动化、全数字化、高精度的显著优势取代了传统的手工图解测图法。数字测图就是要实现丰富的地形信息、地理信息数字化和作业过程的自动化或半自动化,尽可能缩短野外测图时间,减轻野外劳动强度,而将大部分作业内容安排到室内去完成,与此同时,将大量手工作业转化为计算机控制下的自动操作,这样不仅减轻劳动强度,而且不会损失观测值精度。地面数字测图的基本过程是:首先采集有关的绘图信息并及时记录在相应存储器中(或直接传输给便携机),然后在室内通过数据接口将采集的数据传输给计算机并由计算机对数据进行处理,再经过人机交互屏幕编辑,最后形成数字图形文件。由上述过程可看出,数字测图的地形信息的载体是计

算机的存储介质（磁盘或光盘），其提交的成果是可供计算机处理、远程传输、多方共享的数字地形图数据文件，如果使用打印机或绘图仪，可以在印刷介质上输出相应的地形图。

将绘制地形图的全部信息存储在设计好的数据库中，经绘图软件处理可在屏幕上将需要地形图显示出来，用这种方式来阅读的地图称为电子地图。电子地图的优点是直接屏幕上阅读，利用计算机技术可将地形图作放大或缩小变化，用漫游功能可阅读任意区域的内容，且不受图幅边界的限制。由于地形图全部信息的存储是用数字方式实现的，因而称为数字地图，即数字地图是用数字形式存储全部地形信息的地图，是用数字形式描述地图要素的属性、定位和关系信息的数据集合，是存储在具有直接存取性能的介质（磁盘、硬盘、光盘等）上的关联数据文件。在电子绘图系统的支持下，将“数字地图”可视化后就成为“电子地图”，通过打印机或者绘图仪可视化，则“电子地图”就成为传统的“模拟地图”。利用数字地图可以生成电子地图和数字地面模型（Digital Terrain Model, DTM），以数学描述和图像描述的数字地形表达方式，可实现对客观世界的三维描述，更具深远意义的是，数字地形信息作为地理空间数据的基本信息之一，已成为地理信息系统（Geographic Information System, GIS）的重要组成部分。

测绘科学是一门古老而又充满活力的现代高科技技术，它与其他学科相互渗透、相互交叉、相互影响、相互促进。

第四节 学习测量学的方法与要求

本书主要学习现代测量学的基本理论、各种测绘仪器的使用、大比例尺数字地形图的测绘方法等内容。测量学是一门实践性很强的课程，因此，在学习进程中，必须做到理论联系实际，多思考、多动手、多实践，才能很好地掌握测量学的知识。学习本书的基本要求是。

- (1) 掌握现代测量学的基本理论、基本知识和基本技能。
- (2) 了解常用测量仪器的构造与组成，正确掌握仪器的使用与基本操作方法。重点掌握水准测量、角度测量和距离测量的方法。
- (3) 初步掌握建大比例尺数字地形图的基本知识及测绘方法。
- (4) 了解测量误差的基本理论与应用方法。
- (5) 了解数字地形图的应用领域及方法。

本课程具有理论严密、概念多、实践性强等特点，通过本课程的学习，除了培养学生的理论分析能力和实际动手能力之外，还要培养学生保持吃苦耐劳、一丝不苟的优良品德，培养学生具备执着的敬业精神、积极主动的工作态度和善于协作的团队意识。

习题与思考题

1. 什么是测量学？它研究的对象是什么？
2. 名词解释：大地测量学、地形测量学、摄影测量学、工程测量学、制图学。
3. 上网查阅现代测量学学科的科研成果有哪些？需要哪些方面的知识积累？并制定出本课程的学习计划与学习目标。

第二章 测量学的基本知识

【知识目标】

- 掌握地球的形状和大小及相关概念
- 了解测量坐标系统和高程系统的相关概念与规定
- 掌握直线定向的方法，象限角与坐标方位角的关系
- 掌握用水平面代替水准面限度的计算方法与规定
- 了解测量工作基本原则、基本方法和要求

第一节 地球的形状和大小及相关概念

一、地球的形状和大小

从整个地球来看：地球大致像一个椭球体，其表面极不规则，不便于用数学公式来表达。地球高低起伏的形状：最高海拔 8844.43m（我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰）；最低海拔 11022m（太平洋西部的马里亚纳海沟），但地球的半径大约是 6371km。海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%。

二、关于大地体的几个基本概念

大地体：把地球总的形状看作是被海水包围的球体，也就是设想有一个静止的海水面，向陆地延伸而形成一个封闭的曲面。由于海水有潮汐，时高时低，所以取其平均的海水面作为地球形状和大小的标准，它所包围的形体称为大地体。

重力：地球引力与离心力的合力。

水准面：静止而不流动的水面（重力等位面），是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。

水准面的特性是：处处与铅垂线相垂直；水准面不是唯一的，可以有許多；水准面是封闭的，它的表面是不规则的。

大地水准面：通过平均海水面并向陆地延伸所形成的闭合曲面。大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。

重力方向：用细绳悬挂一个垂球，细绳即为悬挂点 O 的重力方向，通常称它为垂线或铅垂线方向。由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，且内部质量的分布又不是均匀的，所以铅垂线方向的变化也是不规则的，它不一定指向地心。

在普通的地形测量工作中，铅垂线通常作为测量工作的基准线。大地水准面通常作为测量工作基准面。

三、关于参考椭球面的基本概念

参考椭球面：由于大地体与椭球比较相似，而椭球是可以数学式来表达的，所以测绘工作便取大小与大地体接近的椭球作为地球的参考形状和大小。

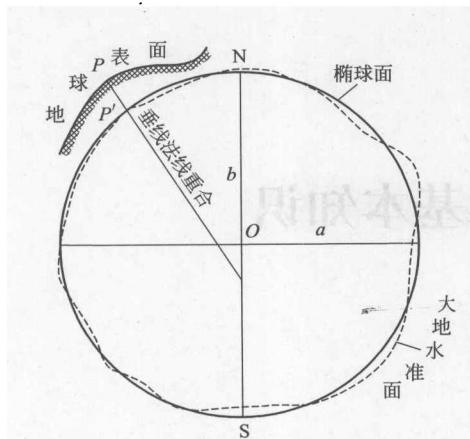


图 2-1 大地水准面与椭球面的关系

参考椭球体的定位：确定椭球体与大地体之间的相互关系并固定下来。

方法：在适当的地点选择一点 P ，设想把椭球体和大地体相切，切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上，这时，椭球面上 P' 的法线与该点对大地水准面的铅垂线相重合，并使椭球的短轴与地球自转轴平行。 P 点为大地原点。

我国目前所采用的参考椭球体为 1980 年国家大地测量坐标系，其原点在陕西省泾阳县永乐镇。

参考椭球体的参数：长半轴 $a=6378140\text{m}$

短半轴 $b=6356755\text{m}$

扁率 $\alpha=1:298.257$

如图 2-1 所示为大地水准面与椭球面的关系。

在高精度大范围的控制测量工作中，通常采用法线作为测量工作的基准线。参考椭球面通常作为测量工作的基准面。

第二节 测量坐标系统和高程系统

一、点的空间位置表示

地球上某一点的空间位置，需要三个量来确定，即该点在基准面（参考椭球面）上的投影位置 (X, Y) 和该点沿投影方向到基准面（一般实用上是用大地水准面）的距离 (H) 来表示。

二、有关的名词概念

如图 2-2 所示， NS 为椭球的旋转轴， N 表示北极， S 表示南极。通过椭球旋转轴的平面称为子午面，而通过原格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道面。赤道面与椭球面的交线称为赤道。与椭球旋转轴正交，但不通过球心的平面与椭球面的交线，称之为平行圈。大地经度 (L) 就是通过某点的子午面与起始子午面的夹角。大地纬度 (B) 就是通过某点的法线与赤道面的交角。大地经度 L 和大地纬度 B 统称为大地坐标。大地坐标是以法线和参考椭球面作为基准线和基准面的。用经度、纬度表示某点位置的坐标系是在球面上建立的，故称为球面坐标或地理坐标。我国疆域全部位于东经、北纬地区。

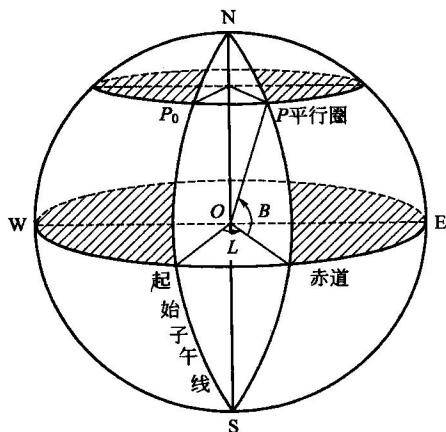


图 2-2 大地经度与大地纬度的表示

要确定某点沿投影方向到基准面的距离，就是确定某点的高程，在一般的测量工作中，称某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离为该点的绝对高程或海拔 (H) 。如果是到任意一个水准面的距离，称为相对高程。我国的水准原点位于青岛观象山，称为水准原点，1956 年黄海平均海水面的水准原点为 72.289m ，1985 年国家高程基准的水准原点高程为 72.260m 。

三、平面直角坐标系

在小区域内进行测量工作通常采用平面直角坐标，投影面当作平面看待，此时用 x 为纵轴，表示南北方向，用 y 为横轴，表示东西方向，测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系是不一致的，二者的比较如图 2-3 所示。这样，就可以用平面三角学的公式进行测量计算，非常方便。

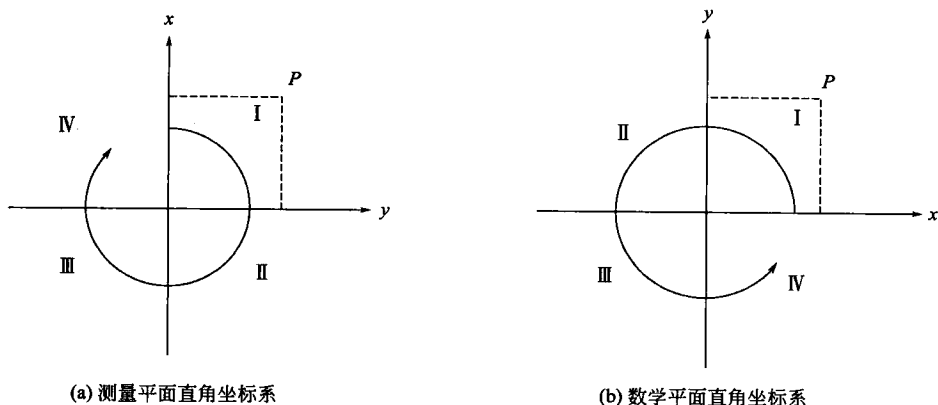


图 2-3 测量坐标系与数学坐标系的比较

第三节 直线定向

一、直线定向的意义

直线定向的意义在于确定点与点之间平面位置的相互关系。确定一条直线与基本方向的关系称为直线定向。

基本方向线有三种，亦称“三北方向”。真北方向，即椭球的子午线所指的北方向；磁北方向，即用磁针北端所确定的北方向；坐标北方向，即平面直角坐标系 x 坐标轴所指的北方向。三北方向是不重合的，在不同地方它们相互位置是不一致的，通过地面某点的真子午线北方向与其坐标北方向之间的夹角，称为子午线收敛角 (γ)。凡坐标纵线偏在真子午线以东者为正，反之为负。磁北方向线与真子午线方向之间的夹角称为磁偏角 (δ)。凡磁北方向线偏于真子午线以东者为东偏，其值为正，偏于西者为西偏，其值为负。如图 2-4 所示。

二、子午线收敛角

子午线收敛角的计算公式： $\gamma = \Delta L \cdot \sin B$

式中， ΔL 为地面某点到中央子午线的经差； B 为该点的大地纬度。

从式中可看出：当 ΔL 不变时，纬度愈低则子午线收敛角愈小，在赤道时， $\gamma = 0$ ，纬度愈高则子午线收敛角愈大，在两极时， $\gamma = \Delta L$ 。 $\sin B$ 恒大于零，故 γ 的正负号与 ΔL 的正负号一致。

三、直线定向的几种表示方法

1. 方位角

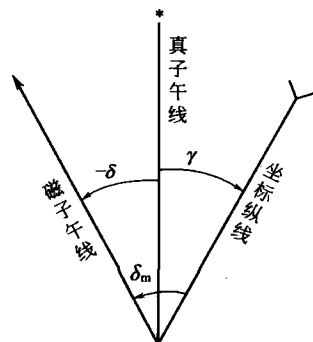


图 2-4 三种标准方向间的关系