



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

地形 测量

主编 索效荣 李天和

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

地形测量

主 编 索效荣 李天和
副主编 刘俊荷 李树奎

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高职高专“十一五”规划教材之一。全书分为普通测量、图根控制测量和地形图测绘与应用三部分内容,共 10 章。主要阐述了测量学的基本知识;介绍了常规测量仪器的结构、测量原理、操作和使用方法;对测量误差的基本知识和理论进行了介绍;对角度、距离、高差三项基本测量工作原理和方法作了系统的阐述;叙述了图根控制测量的内、外业工作方法;对大比例尺地形图的基本知识、测绘方法和地形图的使用进行了详细描述。

本书可作为土木、采矿、地质矿产、交通等工程领域相关高职专业的地形测量学教材,亦可作为中等职业技术教育的教学用书,还可作为相关专业的成人教育、岗位培训及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

地形测量/索效荣,李天和主编. —北京:煤炭工业出版社,2007.7

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3078-0

I. 地… II. ①索…②李… III. 地形测量—高等学校: 技术学校—教材 IV. P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 054897 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm $1/16$ 印张 $15\frac{1}{2}$
字数 377 千字 印数 1—6,100
2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 5879 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国煤炭高职高专工程测量技术类“十一五”规划教材

编审委员会

主 任:纪奕君

副 主 任:薄志义 李天和 索效荣 李战宏

秘 书 长:赵国忱

委 员 (以姓氏笔画为序):

邓传军 冯大福 孙 江 孙金礼

任建华 刘永清 刘俊荷 米志强

宋文斌 李世平 李孝文 杨 楠

苗福林 贺英魁 钟来星 高绍伟

燕志明 姬 婧 梁振华 董俊峰

温继满

前 言

本书是由煤炭教育协会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织,按照高等职业院校工程测量技术和矿山测量专业人才培养方案及地形测量教学大纲编写而成的,是全国煤炭高职高专工程测量技术和矿山测量专业“十一五”规划教材之一。

本书突出职业教育特色,注重专业应用能力和实践能力的培养,以培养测绘领域高等技术应用性专门人才为目标。结合本课程在专业教学中的基础地位和测绘新技术的发展与应用,通过阐述测量技术的基本概念、基本原理、基本方法,重点使学生通过本课程的学习,构建专业的理论基础框架,提高专业实践的基本技能,奠定专业基本素养基础。教材编写大纲经过集体讨论,形成了以建立测绘科学的整体概念为中心,以测量工作的三项基本测量工作为主线,将测绘技术的基本原理、方法贯穿其中,通过介绍地形图测绘的作业方法,进一步提高专业基本知识的综合应用能力的编写结构。

地形测量是测绘类专业的专业基础课,是专业的入门课程。因此,本教材系统阐述了测量学科的基本知识,介绍了角度测量、距离测量和高差测量等测量工作的三项基本工作的原理、所用仪器工具的使用与观测方法。在此基础上对地形测量中图根控制测量和碎部测图的内、外业工作方法做了重点阐述。在介绍基本知识的同时,力求突出测绘新知识、新技术应用,摒弃陈旧的教学内容和方法,以适应现代测绘技术发展与应用的需要。

本书适用于高等职业教育测绘类专业,也可作为相关专业的测量学教材或参考书。本书理论教学参考学时为100学时,根据不同专业要求和培养目标,可适当调整部分章节的理论教学学时。建议在教学过程中,充分利用实物演示、演示练习、课堂实训等多种教学方法,加强学生动手能力的训练和培养。使用时可根据课程实际教学总学时合理安排课堂实训教学内容和时间。

本书由索效荣、李天和任主编,刘俊荷、李树奎任副主编。具体分工如下:山西煤炭职业技术学院索效荣编写第五章、第六章和附录;重庆工程职业技术学院李天和编写第九章;石家庄工程职业技术学院刘俊荷编写第二章;黑龙江科技学院李树奎编写第八章、第十章;陕西能源职业技术学院贾周云编写第一章;平顶山工业职业技术学院姬婧编写第三章第一节;平顶山市湛河区煤炭工业管理局刘富齐编写第三章第二、三、四、五、六、七节;长治职业技术学院魏学琳编写绪论、第四章、第七章。全书由索效荣统稿、定稿,由中国矿业大学(北京)崔希民教授主审。

在本书编写过程中,参考和引用了大量文献和技术资料,得到了山西煤炭职业技术学院、重庆工程职业技术学院、石家庄工程技术学校、黑龙江科技学院、陕西能源职业技术学院、平顶山工业职业技术学院、长治职业技术学院、平顶山市湛河区煤炭工业管理局等兄弟单位的大力支持。在此向这些文献资料的编著者和给予大力支持的院校、单位表示衷心的感谢。

感谢!

尽管本书的编者都已从事高职测绘教育教学工作多年,但由于水平有限,书中不足和
不妥之处在所难免,恳请读者给与批评指正。

编 者
2007 年 5 月

目 录

绪论	(1)
思考题与习题	(5)
第一章 测量学基本知识	(6)
第一节 地球形状和大小的概念	(6)
第二节 比例尺	(8)
第三节 地面点位置的表示	(10)
第四节 直线定向	(15)
第五节 坐标计算的基本公式	(18)
第六节 表述地表形态的几个基本概念	(21)
第七节 地形测量工作概述	(24)
本章小结	(26)
思考题与习题	(27)
第二章 水准测量	(28)
第一节 高程测量概述	(28)
第二节 水准测量原理	(29)
第三节 水准测量的仪器及工具	(31)
第四节 水准测量外业	(37)
第五节 图根水准路线的内业计算	(42)
第六节 水准仪的检验与校正	(46)
第七节 水准测量误差来源	(48)
第八节 电子水准仪简介	(50)
本章小结	(53)
思考题与习题	(53)
第三章 经纬仪及角度测量	(56)
第一节 角度测量原理	(56)
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪	(57)
第三节 水平角观测	(63)
第四节 垂直角观测	(66)
第五节 DJ ₆ 型光学经纬仪的检验与校正	(70)
第六节 水平角观测的误差来源	(75)
第七节 全站仪简介	(78)
本章小结	(84)
思考题与习题	(84)
第四章 距离测量	(88)

第一节 钢尺量距	(88)
第二节 钢卷尺的检定	(95)
第三节 长度计算	(97)
第四节 视距测量	(98)
第五节 光电测距简介	(100)
本章小结	(103)
思考题与习题	(103)
第五章 测量误差理论基础	(105)
第一节 测量误差及其分类	(105)
第二节 衡量精度的标准	(108)
第三节 误差传播定律及其应用	(110)
本章小结	(118)
思考题与习题	(119)
第六章 图根平面控制测量	(120)
第一节 概述	(120)
第二节 图根导线测量的外业工作	(126)
第三节 图根导线测量内业计算	(129)
第四节 交会法测量	(139)
第五节 辐射点的计算	(147)
本章小结	(148)
思考题与习题	(149)
第七章 三角高程测量	(153)
第一节 三角高程测量原理	(153)
第二节 独立交会高程点	(155)
第三节 三角高程导线	(156)
本章小结	(159)
思考题与习题	(160)
第八章 地形绘图的基本知识	(161)
第一节 地形图的基本知识	(161)
第二节 地物及其表示方法	(163)
第三节 地貌及其表示方法	(169)
第四节 地形图注记	(173)
本章小结	(178)
思考题与习题	(179)
第九章 大比例尺地形图测绘	(180)
第一节 大比例尺测图的技术设计	(180)
第二节 地形图的分幅与编号	(182)
第三节 大平板仪简介	(187)
第四节 测图前的准备工作	(191)

第五节 地形测图的方法	(195)
第六节 地形测图的一般要求	(201)
第七节 地形测图的测站点	(204)
第八节 地物的测绘	(205)
第九节 地貌的测绘	(209)
第十节 地形图的拼接与整饰	(215)
第十一节 地形图检查验收与质量评定	(217)
本章小结	(222)
思考题与习题	(222)
第十章 地形图的应用	(224)
第一节 地形图的识读	(224)
第二节 地形图应用的基本内容	(226)
第三节 地形图在工程建设中的应用	(227)
第四节 地形图上的面积量算	(229)
第五节 地形图在平整场地中的应用	(233)
本章小结	(235)
思考题与习题	(235)
附录 测量中常用的度量单位	(237)
主要参考文献	(238)

绪 论

一、测量学的研究对象和任务

测量学是研究地球空间信息的科学。具体地讲是一门研究如何确定地球的形状和大小,以及测定地面、地下和空间各种物体的位置和几何形态等信息的科学。

测量学的任务:

- (1) 精确测定地面点的平面位置和高程,研究地球的形状和大小。
- (2) 对地球表面、地壳浅层和外层空间的各种自然和人造物体的几何、物理和人文信息数据及其时间变化进行采集、量测、存储、分析、显示、分发和利用。
- (3) 进行经济建设和国防建设所需要的测绘工作,以推动生产与科技的发展。

测量学又是测绘科学技术的总称,它所涉及的技术领域,按照研究范围与测量手段的不同,又分为许多分支学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究在广袤的地球表面上测定点的位置,建立国家大地控制网;精确测定地球形状、大小以及地球重力场的理论、技术和方法的学科。它为地球科学、空间科学、地震预报、海陆变迁研究等提供重要资料,为其他测量工作提供起算数据。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;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的位置。由于人造卫星的发射和遥感技术的发展,现代大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2. 地形测量学

地形测量学是研究如何将地球表面较小区域内的地物(自然地物和人工地物)和地貌(地球表面起伏的形态)等测绘成地形图的基本理论、技术和方法的学科。地形图作为规划设计和工程施工建设的基本图件,在国民经济和国防建设中起着非常重要的作用。由于地形图测绘工作是在地表面范围不大的测区内进行的,而地球曲率半径很大(地球半径为6 371 km),可将小区域球面近似看作平面而不必顾及地球曲率及地球重力场的微小影响,从而使测量计算工作得到简化。地形测量学是测量学的基础。

3. 摄影测量学

摄影测量学是利用航空或航天器、陆地摄影仪等对地面进行摄影或遥感,以获得地物和地貌的影像和光谱,然后再对这些信息进行处理、量测、判释和研究,以确定被测物体的形状、大小和位置,并判断和调查其性质、属性、名称、质量、数量等,从而绘制成地形图的基本理论和方法的一门学科。摄影测量主要用于测绘地形图,它的原理和基本技术也适用于非地形测量。自从出现了影像的数字化技术以后,被测对象既可以是固体、液体,也可以是气体;可以是微小的,也可以是巨大的;可以是瞬时的,也可以是变化缓慢的。只要能够被摄得

影像,就可以采用摄影测量的方法进行量测,这些特性使摄影测量方法得到广泛的应用。用摄影测量手段成图是当今大面积地形图测绘的主要方法。目前,1:5万至1:1万的国家基本图主要采用摄影测量的方法完成。摄影测量发展很快,特别是与现代遥感技术相配合使用的光源可以是可见光或近红外光,其运载工具可以是飞机、卫星、宇宙飞船及其他飞行器。因此,摄影测量与遥感已成为测量学分支中非常活跃和富有生命力的一个独立学科。

4. 工程测量学

工程测量学是研究在工程规划设计、施工建设和运营管理各阶段中进行的测量工作的理论、技术和方法的学科,所以又称为实用测量学或应用测量学。它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用。按工程建设进行的程序,工程测量在各阶段的主要任务有:规划设计阶段所进行的测量工作,是测绘拟建工程区域的地形图,为工程规划设计提供详实的资料。施工阶段进行的各种施工测量,是将图上设计好的建筑物标定到实地,确保其形状、大小、位置和相互关系,称为放样,并根据工程施工进度要求在实地准确地标定出工程各部分的平面和高程位置,作为施工和安装的依据,以确保工程质量和安全生产。工程竣工后,要将建筑物测绘成竣工平面图,作为质量验收和日后维修的依据,称为竣工测量;对于大型工程,如高层建筑物、水坝等,工程竣工后,为监测工程的运行状况,确保安全,需对工程的位置和形态进行周期性的重复观测,称为变形监测。工程测量服务的领域非常广阔,有军事建筑、工业与民用建筑、道路修筑、水利枢纽建造等。工程测量按其服务的对象又分为城市测量、铁路工程测量、公路工程测量、水利工程测量、地质勘探工程测量、地籍测量、建筑工程测量、工业厂区施工安装测量和矿山测量等。

5. 制图学

制图学是以地图信息传输为中心,探讨地图及其制作的理论、工艺技术和使用方法的一门综合性学科。它主要研究用地地图图形反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化,具有区域性学科和技术性学科的两重性,所以亦称地图学。主要内容包括地图编制学、地图投影学、地图整饰和制印技术等。现代地图制图学还包括用空间遥感技术获取地球、月球等星球的信息,编绘各种地图、天体图以及三维地图模型和制图自动化技术等。

6. 海洋测量学

海洋测量学是研究测绘海岸、水体表面、海底和河底自然与人工形态及其变化状况的理论、技术和方法的学科。

二、测量学的发展概况

测量学是在人类生产实践活动中产生并不断发展形成的一门应用学科,有着悠久的历史。早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等古代国家的人民就开始创造并运用测量工具进行土地丈量、水利与农田灌溉等工程中的测量工作。在远古时代我国就发明了指南针,以后又制造了浑天仪等测量仪器,并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传到欧洲,之后在全世界得到广泛应用,到今天仍然是利用地磁测定方位的简便测量工具。我国古代劳动人民为测量学的发展作出了突出贡献。

测量学最早用于土地整理,随着社会生产的发展,逐渐应用到社会的许多生产部门。17世纪发明望远镜后,人们利用光学仪器进行测量,使测量科学迈进了一大步。自19世纪末发展了航空摄影测量后,又使测量学增添了新的内容。随着现代光学及电子学理论在测量

中的应用,先后发明并制造了一系列激光、红外光、微波测距、测高、准直和定位的仪器。而惯性理论在测量学中的应用,又发明了陀螺定向、定位仪器。这些先进仪器的应用,大大改进了测量手段,提高了测量精度和速度。从20世纪60年代以来,由于电子计算技术的飞速发展,出现了自动绘制地形图的仪器。人造地球卫星的发射以及遥感、遥测技术的发展,使得测绘工作者可以获得更加丰富的地面信息。近二十多年随着计算机科学、信息工程学、现代仪器学的迅猛发展,促使现代测绘技术正在发生革命性的变化。它体现在现代大地测量学、摄影测量与遥感学、工程测量学、地图学与地理信息系统、海洋测量和测绘仪器等学科中出现的新理论和新方法,极大地推进了测绘学科的发展。目前,现代测量学正在努力实现“3S”结合,即GPS(Global Positioning System)全球卫星定位系统、RS(Remote Sensing)遥感、GIS(Geographical Information System)地理信息系统的结合与集成。以3S技术为代表的测绘新技术打破了传统测绘以大地、航测、制图学科划分的界限,具有观测范围大、速度快、精度高、全天候和部分智能化的特点。3S的集成利用,构成了整体的、实时的和动态的对地观测、分析和应用的运行系统,满足了资源与环境调查、监测和自然灾害预测、预报,以及灾情调查、灾后恢复等对取得信息快捷准确的要求。由于3S技术的发展使我们有可能对社会、经济发展领域中诸多方面进行动态监测、综合分析和模拟预测,成为人类解决全球与区域性环境与发展问题的重要手段。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业有了很大的发展。1954年建立了1954北京坐标系,1956年建立了黄海高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网;完成了国家大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本图的测绘工作。2005年再次准确测定了珠穆朗玛峰最新高程(8 844.43 m)。1988年1月1日,我国正式启用新的高程系统——1985年国家高程基准,且在我国陕西西安泾阳县永乐镇建立了新的大地坐标原点,并用IUGG75参考椭球,建立了我国独立的参心坐标系,称为1980年西安坐标系,为全国测绘工作奠定了良好的基础。与此同时,测绘工作者还配合国民经济建设进行了大量的测绘工作,例如进行了南京长江大桥、宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机、青藏铁路、长江三峡水利枢纽等特大型工程的精确放样和设备安装测量。在测绘仪器制造方面,从无到有,现在不仅能生产大量常规测量仪器,像全站仪、GPS接收机等一些先进的仪器也可批量生产。测绘人才培养方面,1950年,中国人民解放军总参谋部测绘局成立,同时各大军区分别成立了测绘学校。1952年清华大学等6所高等院校设置了测量专业,积极培养测绘技术人员。1956年,成立了全国统一的测绘管理机构——国家测绘总局。多年来,已有数十所高等学校先后设立了测绘专业,为国家培养了大量高、中级测绘人才,构成了我国测绘领域从事科研、教学、生产的强大的各级各类专业队伍,大大提高了我国测绘科技水平。“数字中国计划”作为国家的战略计划已经提上了议事日程,测绘工作也已经纳入了“中国21世纪议程”。配合国家产业结构调整战略,测绘产业也正在进行产业结构调整,一个由现代化的新技术结构、高效益的新产业结构、现代化的新管理体系构成的新型地理信息产业即将形成。测绘仪器集成化,测绘过程自动化、实时化、动态化,测绘成果数字化及测绘系统智能化将是未来测绘工作的发展方向。

测量学未来发展趋势:

(1) 电子学、计算机技术进一步渗透到测绘领域,电子仪器得到广泛应用,并有基本取代光学仪器的趋势。

(2) 测绘方法和技术手段得到更新,数字化、自动化程度越来越高,测绘工作劳动条件得到改善。

(3) 测绘工作周期进一步缩短,测绘精度和效益也进一步提高。

三、测绘工作在国民经济建设中的作用

新世纪,科学技术突飞猛进,经济发展日新月异,测绘越来越受到普遍重视,其应用领域不断扩大。在国民经济建设中,测量技术的应用非常广泛。例如:铁路、公路在建设之前,为了确定一条最经济、最合理的路线,事先必须进行该地带的测量工作,由测量成果绘制带状地形图,在地形图上进行线路规划设计,然后将设计的路线标定在地面上,以便进行施工;在路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,要绘制河流两岸的地形图,为桥梁的设计提供重要的图纸资料,最后将设计的桥墩位置在实地标定出来;在矿山,井下各矿井之间,同一矿井各水平之间需要掘进巷道,巷道开挖之前,需要测量标定巷道的开口位置和巷道的掘进方向,以保证巷道的正确贯通。城市规划、给水排水、煤气管道等市政工程建设,工业厂房和高层建筑的建造,在设计之初都需测绘各种比例尺的地形图,供工程设计使用。在施工阶段,要将设计的工程平面位置和高程在实地标定出来,作为施工的依据。待工程完工后,还要测绘竣工图,供以后改扩建和维修之用;对某些重要的建筑物和构筑物,在其建成以后,还需要进行变形观测,以确保其安全运行。在房地产的开发、管理和经营中,房地产测绘起着重要的作用。地籍图和房产图以及其他测量资料准确地提供了土地的行政和权属界址,每个权属单元的位置、界线和面积,每幢房屋与每层房屋的几何尺寸和建筑面积,经土地和房屋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屋所有权人的合法权益,可为合理开发、利用和管理土地和房产提供可靠的图纸和数据资料,并为国家对房地产的合理税收提供依据。具体来说,测绘学在国民经济建设和国防建设中的主要作用可归纳为以下几方面:

(1) 提供地球表面一定空间内点的坐标、高程和地球表面点的重力值,为地形图测绘和地球科学研究提供基础资料。

(2) 提供各种比例尺地形图和地图,作为规划设计、工程施工和编制各种专用地图的基础图件。

(3) 准确测绘国家陆海边界和行政区划界线,以保证国家领土完整和睦邻友好相处。

(4) 为地震预测、预报,海底和江河资源勘测,灾情和环境的监测调查,人造卫星发射、宇宙航行技术等提供测量保障。

(5) 为地理信息系统的建立获得基础数据和图纸资料,以提供经济建设的决策参考。

(6) 为现代国防建设和国家安全提供测绘保障。

随着我国经济社会信息化水平的不断提高,数字化基础地理信息已成为各个领域进行决策、管理、规划、建设等不可缺少的数字地理空间信息支撑条件,各方面对数字化测绘产品的需求量越来越大。我国将进入一个新的发展时期,在对经济结构进行战略性调整的同时,还将大力推进国民经济和社会信息化,以信息化带动工业化,实现社会生产力的跨越式发展。特别是随着国家西部大开发和中部崛起等重大战略的实施,国家将进一步加强水利、交通、能源、现代信息等基础设施建设,加大生态环境治理力度,合理进行资源的利用与开发,促进地区协调发展等,必将对测绘保障工作提出更高的要求,推动测绘事业进入新的发展阶段。

测绘工作被称为“工程的眼睛”、“指挥员的参谋”,在经济和国防建设方面具有重大的意义和作用。在国家各方面建设工作规模日益巨大、复杂的形势下,测绘工作在国家建设事业中所承担的任务也愈来愈大。人们把测量工作者称为建设的“尖兵”,这是对测绘事业最崇高的评价,也是对每位测绘人的鞭策。

本课程属于测绘专业的专业基础课,通过本课程的学习,首先建立测量学科的有关基本概念,理解测量工作的基本原理,掌握测量工作的基本计算及量测技能,为后续专业课的学习打下坚实的基础。同时本课程还介绍了大比例尺地形测图的作业方法,意在培养测绘大比例尺地形图的基本技能。所以对本课程的学习应予以足够的重视。

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,除了培养理论分析能力和实际动手能力之外,在素质方面,还要发扬测绘界吃苦耐劳、一丝不苟的优良传统,而且要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精神。

思考题与习题

- 0-1 测量学的研究对象是什么?目前测量学分成了哪些独立学科?它们的研究对象分别是什么?
- 0-2 地形测量学的主要任务是什么?本课程与其他专业课有何关系?
- 0-3 试述测绘工作在我国经济建设中的重要作用。

第一章 测量学基本知识

第一节 地球形状和大小的概念

多数测量工作都是在地球表面进行的,且测量学的主要研究对象是地球的自然表面,因此,必然会涉及地球的形状和大小问题。测绘工作者对地球的形状和大小应具有明确的概念。

地球究竟是一个什么形状,怎样来表述它?这是自然科学研究的极其重要的问题之一。虽经过长期测定和研究,但现在还没有一个十分完善准确的结论。这一课题仍然是需要不断探讨和研究的重要课题。

地球的自然表面有海洋、有陆地,有高山、有深沟,是一个十分复杂的不规则表面,不便于用公式表达。在这样一个不规则的几何体表面无法进行测量的计算、绘图,也无法确定点间的相对位置。但我们知道,在地球的自然表面,海洋表面约占其表面积的 71%,而陆地仅占约 29%。陆地表面虽然高低起伏,但最高的珠穆朗玛峰高出海面也不过 8 844.43 m;而最深的马里亚纳海沟也不过比海面低 11 022 m。这些最大的高低起伏,相对于地球的体积来说是极微小的。因此,可以设想有一个静止的海洋面,将它扩展延伸使其穿过陆地和岛屿,形成一个包围地球的封闭的海水面,这个静止的海水面叫做水准面。由于海水受潮汐影响,时高时低,水准面有无穷多个。所以,取一个与平均海水面高度一致,穿过大陆和岛屿,包围地球的封闭水准面,来代替地球的自然表面,这个假想的水准面叫做大地水准面。大地水准面包围的球体叫做大地体,通常用大地体代表地球的形状和大小。

地球上的任一质点,因受到地球引力,同时还受到因地球自转产生的离心力的作用,地球引力与离心力的合力,就是大家所熟悉的重力,重力方向也就是所说的铅垂线方向。水准面的物理特征就是一个重力的等位面,等位面处处与产生等位能的力的方向垂直,即水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,这引起地面上点的各个重力方向产生不规则变化,因而大地水准面实际上是一个有微小起伏变化的不规则曲面。大地体也就是个无法用数学公式表达的不规则的球体。在这样一个不规则的形体表面是无法进行测量工作和计算的。

长期的测量和研究结果表明,大地体与一个以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球的形状十分近似。我们用一个可以用数学式表示且与大地体非常接近的旋转椭球体来代替大地体,将它作为测量工作中实际应用的地球形状。定位后的旋转椭球体称为参考椭球体,其表面就称为参考椭球面。对参考椭球面的数学式加入地球重力异常变化参数的改正,便可得到大地水准面的近似的数学式。这样,从严格的意义上讲,测绘工作是取参考椭球面为测量

的基准面,但在实际测量工作中,仍取大地水准面作为测量的基准面。对测量成果要求不十分严格时,则不必改正到参考椭球面上。另一方面,实际工作中又可以十分方便地得到水准面和铅垂线,所以用大地水准面作为测量的基准面便大大简化了操作和计算工作。因而水准面和铅垂线便成为测绘外业工作的基准面和基准线。

一个国家为了处理自己的大地测量成果,确定大地水准面与参考椭球面的关系,在适当地点选择一点 P ,如图 1-1 所示。设想把椭球体和大地体相切,切点 P' 位于 P 点的铅垂线上,这时,椭球面上的 P' 点的法线与该点的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。这项确定椭球体与大地体之间相互关系的工作,称为参考椭球体定位。 P 点则称为大地原点。

椭球体是绕椭圆的短轴 NS 旋转而成的,如图 1-2 所示。也就是说包含旋转轴 NS 的平面与椭球面相截的线是一个椭圆,而垂直于旋转轴的平面与椭球面相截的线是一个圆。旋转椭球体的大小和形状,是由它的长半轴 a 和短半轴 b 所决定的;也可由任一半轴和扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 来决定。参考椭球体的长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 α ,叫做参考椭球体元素。

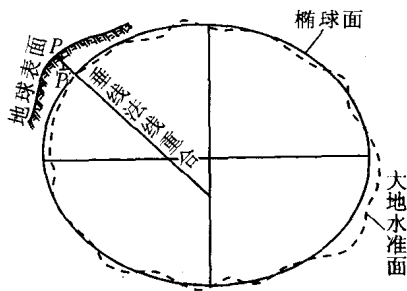


图 1-1 地球自然表面、大地水准面、椭球体面

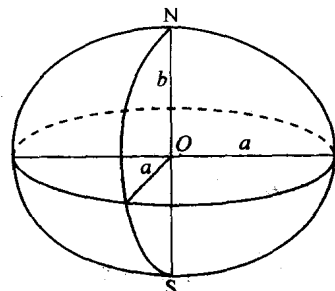


图 1-2 参考椭球形状和大小

世界各国的科学家,对地球的形状和大小进行了不断的测定和研究,推导和采用的地球椭球元素很多。随着空间技术的不断发展和完善,各国之间观测资料的交流和综合应用的发展,测定的结果无疑日趋精确。表 1-1 列出几个有代表性的测算成果。

表 1-1 各种参考椭球元素表

地球椭球名称	长半轴 a/m	短半轴 b/m	扁率 α	年代和国家
德兰布尔	6 375 653	6 356 564	1:334.0	1800 法国
白塞尔	6 377 397	6 356 079	1:299.2	1841 德国
克拉克	6 378 249	6 356 515	1:293.5	1880 英国
海福特	6 378 388	6 356 912	1:297.0	1909 美国
克拉索夫斯基	6 378 245	6 356 863	1:298.3	1940 苏联
我国 1980 年国家大地测量坐标系	6 378 140	6 356 755	1:298.257	1975 年国际第三推荐值

各国测绘科技工作者,都希望推求适合于本国情况的参考椭球元素。由于历史所形成的原因,我国采用的参考椭球几经变化,新中国成立后,采用的是克拉索夫斯基椭球元素。

由于克拉索夫斯基椭球元素与 1975 年国际第三推荐值相比,其长半径相差 105 m,而我国 1978 年根据自己掌握的测量资料推算出的地球椭球为 $a=6\,378\,143\text{ m}$, $\alpha=1:298.257$ 。故我国决定自 1980 年起采用 1975 年国际第三推荐值作为参考椭球元素,它更适合我国的大地水准面的情况,从而使测量成果归算更加准确。因此我国设立了我国新的国家大地原点,设在陕西省泾阳县永乐镇。由此建立了我国新的国家大地坐标系——通常称为 1980 年国家大地坐标系或 1980 年西安坐标系。

由上述可知,地球表面除自然表面外,尚有大地水准面、参考椭球体面二种表述方法。由于参考椭球体的扁率很小,在测区面积不大时可把地球近似地看作圆球表示,其半径为

$$R=6\,371\text{ km}$$

第二节 比例尺

将地球表面上的地物和地貌测绘到图纸上,不可能按其真实的大小来表示,通常要按一定的比例缩小。图上距离 d 与其相应实地水平距离 D 之比称为地形图比例尺。为了使比值概念明确,通常用分子为 1 的分数形式表示,用 M 表示比例尺分母。即

$$\text{比例尺} = \frac{\text{图上距离 } d}{\text{实地水平距离 } D} = \frac{1}{M} \quad (1-1)$$

式中三个元素,知道任意两个元素就可以求得第三个元素。

一、比例尺的表示与使用

按照表示方式不同,比例尺一般可分为数字比例尺和图示比例尺两类。

1. 数字比例尺

用以分子为 1 的分数形式表示的比例尺称为数字比例尺。地形图常用的数字比例尺有:1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000、1:25 000 等的形式。比例尺大小是与其比值的大小来比较的,分母值愈大,比例尺愈小;分母愈小,则比例尺愈大。地形测量中通常将比例尺按大小又分为大比例尺(1:500~1:5 000)、中比例尺(1:1 万~1:2.5 万)和小比例尺(1:5 万和小于 1:5 万)三种。在测量工作中,常用的比例尺主要是大比例尺和中比例尺。在地形图的南图廓正下方一般都注写有数字比例尺,它的特点是直观、准确。确定了比例尺就可以进行图上长度和相应实地水平距离之间的换算。

例 1-1 在比例尺为 1:2 000 的地形图上,量得两点间距离 $d=2.58\text{ cm}$,则地面上相应的水平距离 D 为

$$D=M \cdot d=2\,000 \times 2.58\text{ cm}=51.6\text{ m}$$

反之,若实地水平距离 $D=216\text{ m}$,则在 1:5 000 的图上的距离 d 就为

$$d=D/M=216/5\,000=4.32\text{ cm}$$

由此看出,比例尺分母 M 实际上是图上距离与相应实地水平距离换算时,所需缩小或放大的倍数。

2. 图示比例尺

应用数字比例尺来进行图上长度与相应的实地水平长度相互换算很不方便,也容易出错,易受图纸干湿情况不同的伸缩、变形的影响。采用图示比例尺也就是在图纸上直接绘制比例尺,用图时以图上绘制的比例尺为准,则可以基本消除图纸伸缩产生的误差。图示比例