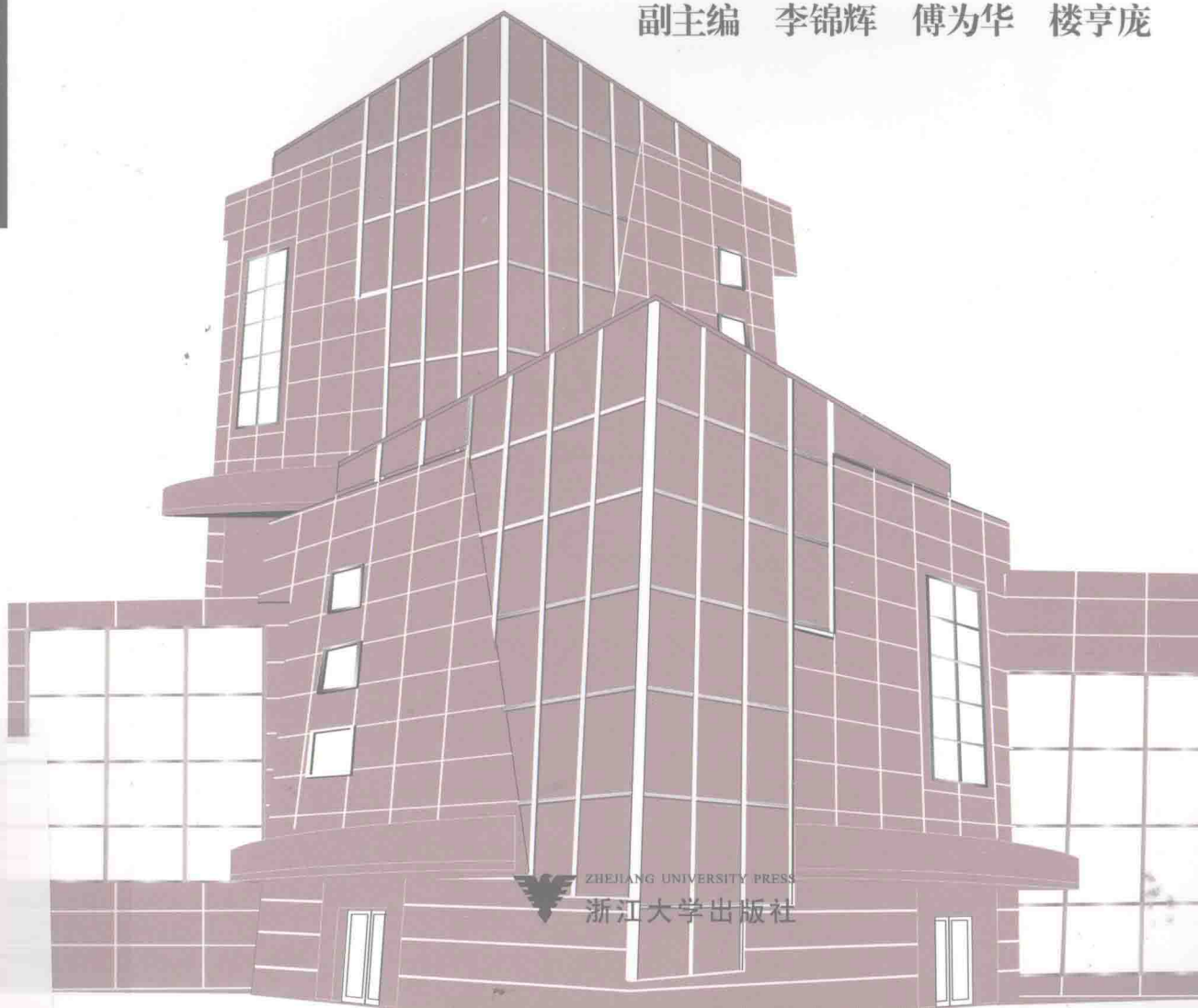


C JIANZHUGONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

主 编 吴华君 洪军明

副主编 李锦辉 傅为华 楼亨庞



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

建 筑 工 程 测 量

主 编 吴华君 洪军明
副主编 李锦辉 傅为华
楼亨庞



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/吴华君,洪军明主编.—杭州:浙江大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-308-10590-3

I. ①建… II. ①吴…②洪… III. ①建筑测量—高等学校—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第214040号

建筑工程测量

主编 吴华君 洪军明

责任编辑 邹小宁

文字编辑 叶梦箫

封面设计 方红梅

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 杭州金旭广告有限公司

印刷 杭州广育多莉印刷有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 12.75

字数 307千

版印次 2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-308-10590-3

定价 23.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

《建筑工程测量》是高等院校土建施工类、工程管理类等专业的专业基础课程用书,本书根据土建施工类、工程管理类等专业的培养方案要求,以《工程测量规范》(GB 50026—2007)、《城市测量规范》(GJJ 8—99)及其他相关规范为依据,以岗位职业能力培训为切入点构建教材体系,依据工作过程的基本原则编写。

本书立足于高职高专层次,在编写过程中重点突出行业岗位对从业人员知识结构和职业能力的要求,融入职业岗位标准和工作流程,注重职业技能与素质的培养,强调理论联系实际,强化教材内容实用性和可操作性,以工程项目和工作过程为主线来组织教学单元和安排教学任务,充分体现高职教育的特点。在编写过程中,邀请施工企业技术人员参与教材编写,许多实训教学环节任务设计源于工程实践,工学结合特色显著。

本书由义乌工商职业技术学院吴华君教授担任主编并统稿,杭州科技职业技术学院洪军明教授担任第二主编,义乌工商职业技术学院李锦辉、傅为华教授任副主编。其中,吴华君编写了单元一、单元三,洪军明编写了单元四,李锦辉编写了单元二、单元五,傅为华编写了单元六,义乌市勘测设计研究院楼亨庞编写教材中相关的实训项目。

本书在编写过程中得到义乌市勘测设计研究院有关领导和技术人员的大力支持,在此表示衷心感谢。本书编写中参考了附录所列的参考文献,在此对其作者表示诚挚感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在缺点和错误,恳请专家、同行和读者批评指正。

编者
2012年6月

目 录

单元 1	测量基础	1
1.1	测量学的任务和主要内容	1
1.2	测量学的发展与现状	3
1.3	测量学的基础知识	5
1.4	测量工作的基本概念	12
1.5	测量误差基本知识	14
1.6	误差传播定律及其应用	19
单元 2	地形图识读与应用	27
2.1	地形图测绘的基础知识	27
2.2	大比例尺地形图测绘方法	38
2.3	大比例尺地形图的应用	51
单元 3	高程测量	62
3.1	水准仪构造和操作	62
3.2	水准测量原理和一测站水准测量操作	70
3.3	普通水准测量	72
3.4	四等水准测量	84
单元 4	角度和距离测量	92
4.1	经纬仪的操作	92
4.2	水平角测量方法	100
4.3	竖直角观测	107
4.4	距离测量	112

单元 5 小区域控制测量	123
5.1 控制测量概述	123
5.2 平面控制网的定位和定向	128
5.3 导线测量	133
5.4 全站仪	145
单元 6 建筑工程施工测量	169
6.1 施工测量基本工作	169
6.2 施工平面控制测量	175
6.3 民用建筑施工测量	179
6.4 工业建筑施工测量	184
6.5 建筑物的变形观测	187
6.6 建筑工程施工测量实训	189
参考文献	195

单元 1 测量基础

引言

建筑工程测量是测量学的一个组成部分,它应用测量学中的基本理论和知识,利用测量仪器和工具帮助解决建筑工程在勘测、设计、施工、运营管理等各个阶段建筑物空间位置准确定位的问题。建筑工程测量主要的任务包括测绘和测设,测绘是确定地面点的空间位置,并按一定比例和规定的符号在图纸上表示出来;测设是把图纸上设计的构筑物位置在实地准确标定出来。本单元主要介绍测量学的主要内容、测量学的发展和现状、测量坐标系基本知识、测量工作初步概念和测量误差有关知识。

学习目标

通过本单元学习,要求学生具备以下知识技能。

- (1) 了解测量工作任务和测量工作初步概念。
- (2) 掌握测量坐标系基本知识。
- (3) 掌握测量误差基本知识和衡量测量精度的指标。
- (4) 了解误差处理的基本方法。

1.1 测量学的任务和主要内容

1.1.1 测量学的概念

测量学是测绘学科的一门基础技术课,也是土木工程、交通工程等专业的一门专业基础课,学习本课程的目的是为了掌握地形图测绘、地形图应用和建筑工程施工放样的基本理论和方法。测量学是研究地球的形状与大小,以及确定地面(包括空中和海底)点位的科学。它的任务包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过观测和计算,得到一系列测量数据,把地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设等方面使用;测设是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。

随着测绘科学的发展,技术手段的不断更新,以全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)和遥感技术(RS)为代表的测绘新技术的迅猛发展与应用,测绘学的产品基本由传统的纸质地图转变为“4D”(数字高程模型 DEM、数字正射影像图 DOM、数字栅格地图 DRG 和数字线画地图 DLG)产品。“4D”产品在网络技术的支持下,成为国家空间数据基础设施(NSDI)的基础,从而增加了数据的共享性,为相关领域的研究工作及国民经济建设的各行业、各部门应用地理信息带来了巨大的方便。

1.1.2 测量学的分类

测量学按照研究范围和对象的不同,可分为以下几个分支学科。

1. 普通测量学

普通测量学是研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法,不考虑地球曲率的影响,把地球局部当作平面对待,是测量学的基础。

2. 大地测量学

凡研究对象是地表上一个较大区域甚至整个地球时,就必须考虑地球曲率的影响,这种以研究广大地区为对象的测绘学科属于大地测量学的范畴。这门学科的基本任务是研究整个地球的形状、大小、重力场和地面点位置及其变化的理论,解决大区域控制测量和地球重力场问题。由于人造地球卫星的发射和科学技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

3. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息(影像或数字形式),进行分析处理,绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。由于获取像片方法的不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学,水下摄影测量学和航天摄影测量学等。特别是由于遥感技术的发展,摄影方式和研究对象日趋多样,不仅是固体的、静态的对象,即使是液体、气体以及随时间而变化的动态对象,都是摄影测量学研究范畴。

4. 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋和陆地水域为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力等海洋自然和社会地理信息分布和海图编绘的理论和技术的学科。

5. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中,在规划、勘测设计、施工放样、竣工验收和工程监测保养等各阶段进行的控制测量、地形测绘和施工放样、设备安装、变形监测的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同,工程测量又可分为建筑工程测量、矿山测量、水利工程测量、公路工程测量、精密工程测量等。

6. 制图学

制图学是利用测量所得的成果资料,研究如何投影编绘成各种地图,以及地图制作的理论、工艺技术和应用等方面的测绘学科。

测量学应用很广,在国民经济和社会发展规划中,测绘信息是重要的基础信息之一,各种规划及地籍管理,首先要有地形图和地籍图。另外,在各项经济建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星和航天器的发射,要保证它精确入轨,随时校正轨道和命中目标,除了应算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外,还必须掌握地球的形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学试验方面,诸如空间科学技术的研究、地壳的变形、地震预报、灾情监测、海底资源探测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测等,以及地极周期性运动的研究,无一不需要测绘工作的紧密配合和提供空间信息。即使在国家的各级管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

此外,对建立各种地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国,也都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

测量学在土木工程专业的工作中有着广泛的应用。在勘测设计的各个阶段,需要测区的地形信息和地形图或电子地图,供工程规划、选择厂址和设计使用。在施工阶段,要进行施工测量,将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,以便进行施工;伴随着施工的进展,不断地测设高度和轴线,以指导施工;并且根据需要还要进行设备的安装测量。在施工的同时,要根据建(构)筑物的要求,开始变形观测,直至建(构)筑物基本上停止变形为止,以监测施工的建(构)筑物变形的全过程,为保护建(构)筑物提供资料。施工结束后,及时地进行竣工测量,绘制竣工图,为日后扩建、改建、修建以及进一步发展提供依据。在建(构)筑物使用和工程的运营阶段,对某些大型及重要的建筑物和构筑物,还要继续进行变形观测和安全监测,为安全运营和生产提供资料。由此可见,测量工作在土木工程专业应用十分广泛,它贯穿着工程建设的全过程,特别是大型和重要的工程,测量工作是非常重要的。

本课程是土木工程专业的基础课。土木工程专业的学生,学习本课程之后,要求掌握普通测量的基本知识和基本理论;了解先进测绘仪器的原理,具备使用测量仪器的操作技能,基本掌握大比例尺地形图的测图原理和方法;在工程规划、设计和施工中能正确地应用地形图和测量信息;掌握处理测量数据的理论和评定精度的方法;在施工过程中,能正确使用测量仪器进行工程的施工放样工作。

建筑工程测量是一门综合性极强的实践性课程,要求学生在掌握基本理论及其方法的基础上,应具备动手操作测量仪器的能力。因此,在教学过程中,除了课程讲授之外,必须安排一定量的实训和实习,以便巩固和深化所学知识。这对掌握测量的基本理论及技能,建立控制测量、地形图测绘和施工放样的完整概念是十分有效的。通过实习可以培养学生分析问题和解决问题的能力,并为利用所学理论和技能解决相关问题打下坚实的基础。

1.2 测量学的发展与现状

1.2.1 测量学的发展简史

科学的产生和发展是由生产决定的;测量科学也不例外,它是人类长期以来,在生活和生产方面与自然界斗争的结晶。由于生活和生产的需要,人类社会在远古时代就已将测量工作用于实际。早在公元前 21 世纪夏禹治水时,已使用了“准、绳、规、矩”四种测量工具和方法;埃及尼罗河泛滥后,在农田的整治中也应用了原始的测量技术。

在天文测量方面,我国远在颛顼高阳氏(公元前 2513—前 2434 年)便开始观测日、月、五星,来定一年的长短。战国时已首先制出了世界最早的恒星表。秦代(公元前 246—前 206 年)用颛顼历定一年的长短为 365.25 天,与罗马人的儒略历相同,但比其早四五百年。宋代的《统天历》定一年为 365.2425 天,与现代相比,只有 26s 的误差,可见天文测量在古代已有很大发展。

在研究地球形状和大小方面,早在公元前就已有人提出丈量子午线的弧长,以推断地球的大小和形状。我国于唐代(公元 724 年)在一行僧主持下,实量河南白马到上蔡的距离和北极高度角,得出子午线 1 度的弧长为 132.31km,为人类正确认识地球作出了贡献。1849

年,英国的斯托克斯提出利用重力观测资料确定地球形状的理论,之后又提出了用大地水准面代替地球形状,从此确认了大地水准面比椭球面更接近地球的真实形状的观念。

17 世纪以来,望远镜的应用,为测量科学的发展开拓了光明的前景,使测量方法、测量仪器有了重大的改变。三角测量方法的创立,大地测量的广泛开展,对进一步研究地球的形状和大小,以及测绘地形图都起了重要的作用。与此同时,在测量理论方面也有不少创新,如高斯的最小二乘法理论和横圆柱投影理论就是其中的重要例证,至今仍在沿用。地形图是测绘工作的重要成果,是生产和军事活动的重要工具,最早于公元前 20 世纪已被人们所重视。我国最早的记载是夏禹将地图铸于九鼎上,这是地图的雏形。此后历代都编制过多种地图,由此足以说明地图的测绘已有较大发展;但测绘工作仍使用手工业生产方式。1903 年飞机的发明,使摄影测量成为可能,不但使成图工作提高了速度,减轻了劳动强度,而且改变了测绘地形图的工作现状,为由手工业生产方式向自动化方式转化开创了光明的前景。

1.2.2 测量学的发展现状

20 世纪中叶,新的科学技术得到了快速发展,特别是电子学、信息学、电子计算机科学和空间科学等,在其自身发展的同时,给测量科学的发展开拓了广阔的道路,创造了发展的条件,推动着测量技术和仪器的变革和进步。1947 年,光电测距仪问世。20 世纪 60 年代,激光器作为光源用于电磁波测距,彻底改变了大地测量工作中以角换算距离的面貌,因此除用三角测量外,还可用导线测量和三边测量。随着光源和微处理机的问世和应用测距工作向着自动化方向发展。氦氖激光光源的应用使测程达到 60km 以上,精度达到 $\pm(5\text{mm}+5\times 10^{-6}D)$ 。80 年代开始,多波段(多色)载波测距的出现,抵偿、减弱了大气条件的影响,使测距精度大大提高。ME5000 测距仪达到 $\pm(0.2\text{mm}+0.1\times 10^{-6}D)$ 标称精度。与此同时,砷化钾发光管和激光光源的使用,使测距仪的体积大大减小,质量减轻,向着小型化大大迈进了一步。

测角仪器的发展也十分迅速,它与其他仪器一样,随着科学技术的进步而发展,经纬仪从金属度盘发展为光学度盘、电子度盘和电子读数,且能自动显示、自动记录,完成了自动化测角的进程,自动测角的电子经纬仪问世,并得到应用。同时,电子经纬仪和测距仪结合,形成了电子速测仪(全站仪),体积小,质量轻,功能全,自动化程度高,为数字测图开拓了广阔前景。最近又推出了智能全站仪,连瞄准目标也可自动化。

20 世纪 40 年代,自动安平水准仪的问世是水准测量自动化开端的标志。之后,激光水准仪、激光扫平仪的发展,为提高水准测量的精度和用途创造了条件。近年来,数字水准仪的诞生,也使水准测量中的自动记录、自动传输、存储和处理数据成为现实。

20 世纪 80 年代,全球定位系统(GPS)问世,采用卫星直接进行空间点的三维定位,引起了测绘工作的重大变革。由于卫星定位具有全球性、全天候、快速、高精度和无需建立高标等优点,被广泛用在大地测量、工程测量、地形测量及军事的导航定位上。世界上很多国家为了使用全球定位系统的信号,迅速进行了接收机的研制。现已生产出第五代产品,它体积小,功能全,质量轻。

除了美国研制 GPS 定位系统外,前苏联研制了 GLONASS 定位系统,还有欧洲空间局的全球卫星导航系统(NAVSATD)、中国的北斗卫星导航系统等都开展了工作。另外,全球定位系统(GPS)的应用研究进展很快,取得了很大的成果。

由于测量仪器的飞速发展和计算机技术的广泛应用,地面的测图系统,由过去的传统测绘方式发展为数字测图。所以地形图是由数字表示的,用计算机进行绘制和管理既便捷又迅速,精度可靠。

1.2.3 我国测量事业的发展

我国测绘科学的发展从中华人民共和国成立后才进入了一个崭新的阶段。1956 年成立了国家测绘总局,建立了测绘研究机构,组建了专门培养测绘人才的院校。各业务部门也纷纷成立测绘机构,党和国家对测绘工作给予了很大的关怀和重视。

在测绘工作方面,建立和统一了全国坐标系统和高程系统,建立了全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网,完成了大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本地形图的测绘工作;进行了珠峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;同时各种工程建设的测绘工作也取得显著成绩,如长江大桥、三峡大坝水电站、宝山钢铁厂、正负电子对撞机和同步辐射加速器、核电站等大型和特殊工程的测绘工作等。出版发行有地图 1600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面从无到有,发展迅速,已生产了多种不同等级、不同型号的电磁波测距仪。我国全站仪已经批量生产,国产 GPS 接收机已广泛使用,传统的测绘仪器产品已经配套下线。已建成全国 GPS 大地控制网。各部门对地理信息系统(GIS)的建立和应用十分重视,已经着手建立各行业的 GIS 系统。测绘工作已经为建立这一系统提供了大量的基础数据。

综上所述,我国在测绘事业上已经做出了大量的工作,为国民经济建设和国防建设做出了不可磨灭的贡献,但是与国际先进水平相比还有一定差距。我们要发愤图强,迅速赶上国际先进水平,为祖国的测绘事业作出更大的贡献。

1.3 测量学的基础知识

1.3.1 地球的形状和大小

测绘工作大多是在地球表面上进行的,测量基准的确定,测量成果的计算及处理都与地球的形状和大小有关。

在科学技术高速发展的今天,人类对自己居住的地球面貌已愈来愈清楚明白。但是,人们对地球到底是什么样子的认识,是经历了相当漫长的过程的。

在古代,由于科学技术不发达,对地球样子的描述曾流传过许多传说和神话,人类只能通过简单的观察和想象来认识地球。例如,中国的古人观察到“天似穹隆”,就提出了“天圆地方”的说法。西方的古人按照自己所居住的陆地为大海所包围,就认为“地如盘状,浮于无垠海洋之上”。大约从公元前 8 世纪开始,希腊学者们试图通过自然哲学来认识地球。到公元前 6 世纪后半叶,毕达哥拉斯提出了地为圆球的说法。又过了两个世纪之后,亚里士多德根据月食等自然现象也认识到大地是球形,并接受其老师柏拉图的观点,发表了“地球”的概念,但都没有得到可靠的证明。

直到公元前 3 世纪,亚历山大学者埃拉托色尼首创子午圈弧度测量法,实际测量纬度差来估测地圆半径,最早证实了“地圆说”。稍后,我国东汉时期的天文学家张衡在《浑仪图注》

中对“浑天说”作了完整的阐述,也认识到大地是一个球体,但在其天文著作《灵宪》中又说天圆地平。这些都说明当时人们对地球形状的认识还是很不明晰的。

从公元 6 世纪开始,西方在宗教桎梏之下,人们不但没有继续沿着认识物质世界的道路迈步前进,反而倒退了。相反,中国的科学技术在这时却在迅速发展。公元 8 世纪 20 年代,唐朝高僧一行派太史监南宫说在河南平原进行了弧度测量,其距离和纬差都是实地测量的,这在世界尚属首次。并由此得出地球子午线 1 度弧长为 132.3km,比现代精确值大 21km。之后,阿拉伯也于 9 世纪进行了富有成果的弧度测量,由此确认大地是球形的。但由于那时人类的活动范围很有限,其真实形状都没有得到实践检验。直到 400 多年前的 1522 年,航海家麦哲伦率领船队从西班牙出发,一直向西航行,经过大西洋、太平洋和印度洋,最后又回到了西班牙,才得以事实证明,地球确实是一个球体。

但是,人类对地球的认识并未就此结束。随着科学技术的发展和大地测量学科的形成与丰富,人们观测和认识地球形状的方法和手段越来越多。三角测量、重力测量、天文测量等都是重要手段。近代科学家牛顿曾仔细研究了地球的自转,得出地球是赤道凸起,两极扁平的椭球体,形状像个橘子。到 20 世纪 50 年代末期,人造地球卫星发射成功,通过卫星观测发现,南北两个半球是不对称的。南极离地心的距离比北极短 40m。以上对地球的认识,仍是根据局部资料和间接手段得来的。1969 年 7 月 20 日,美国登月宇宙飞船“阿波罗”11 号的宇航员登上月球的时候,就看到了带蓝色的浑圆的地球,有如在地球上观月亮一样。科学家们根据以往资料和宇航员拍下的相片,认为最好把地球看作是一个不规则的球体。

通过长期的测绘工作和科学调查,了解到地球表面上海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。世界第一高峰珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟低于海平面达 11022m。尽管有这样大的高低起伏,但相对于地球半径 6371km 来说仍可忽略不计。因此,测量中把地球总体形状看作是由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

由于地球的自转运动,地球上任意一点都要受到离心力和地球引力的双重作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面,水准面是受地球重力影响而形成的,是一个处处与重力方向垂直的连续曲面,并且是一个重力场的等位面。与水准面相切的平面称为水平面。水准面可高可低,因此,符合上述特点的水准面有无数多个,其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面包围的地球形体,称为大地体。

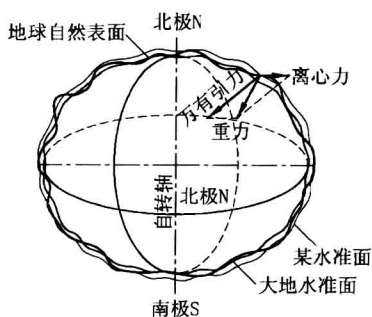


图 1-1 地球自然表面

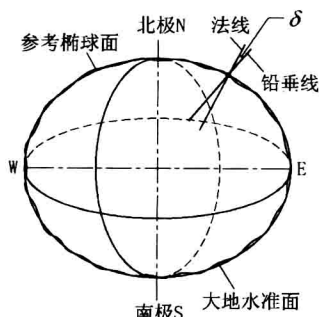


图 1-2 参考椭球面

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面基准线。用大地体表示地球形体是恰

当的,但由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面是一个复杂的曲面,无法在这曲面上进行测量数据处理,如图 1-1 所示。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学式表示的几何形体来代替地球的形状,作为测量计算工作的基准面,称为参考椭球面,如图 1-2 所示。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称为旋转椭球体,如图 1-3 所示。

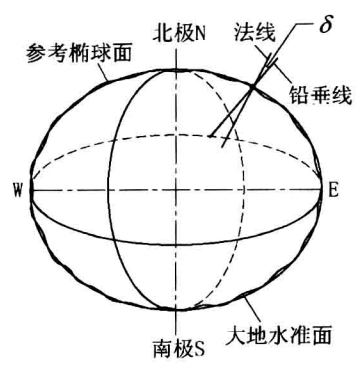


图 1-3 旋转椭球体

旋转椭球体的形状和大小是由其基本元素长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 f 来表示。

$$f = \frac{a-b}{a} \tag{1-1}$$

几个世纪以来,许多学者分别测算出了许多椭球体元素值,表 1-1 列出了几个著名的椭球体。我国的 1954 年北京坐标系采用的是克拉索夫斯基椭球,1980 国家大地坐标系采用的是 1975 年国际椭球,而全球定位系统(GPS)采用的是 WGS-84 椭球。

表 1-1 地球椭球体的几何参数

椭球名称	长半轴 a (m)	短半轴 b (m)	扁 率	计算年代和国家	备 注
贝塞尔	6377397	6356079	1 : 299.152	1841 德国	
海福特	6378388	6356912	1 : 297.0	1910 美国	1942 年国际 第一个推荐值
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3	1940 苏联	中国 1954 年 北京坐标系采用
1975 国际椭球	6378140	6356755	1 : 298.257	1975 国际 第三个推荐值	中国 1980 年国家 大地坐标系采用
WGS-84	6378137	6356752	1 : 298.257	1979 国际 第四个推荐值	美国 GPS 采用

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球,该椭球的基本元素是:

$$\begin{aligned} a &= 6378140\text{m} \\ b &= 6356755\text{m} \\ f &= 1/298.257 \end{aligned}$$

1.3.2 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置,需要建立测量坐标系。一个点在空间的位置,需要三个量来表示。在一般测量工作中,常将地面点的空间位置用经度、纬度(或高斯平面直角坐标)和高程表示,它们分别从属于地理坐标系(或高斯平面直角坐标系)和指定的高程系统,即使用一个二维坐标系(椭球面或平面)与一个一维坐标系的组合来表示。由于卫星大地测量的迅速发展,地面点的空间位置也可采用三维的空间直角坐标表示。

1. 地理坐标系

地理坐标系又可分为天文地理坐标系和大地地理坐标系两种。

(1) 天文地理坐标系

天文地理坐标又称天文坐标,表示地面点在大地水准面上的位置,它的基准线是铅垂线,基准面是大地水准面,它用天文经度 λ 和天文纬度 φ 两个参数来表示地面点在球面上的位置。如图 1-4 所示,NS 为地球旋转轴,N 表示北极,S 表示南极。过地面上任一点 A 的铅垂线与地球旋转轴 NS 所组成的平面称为该点的天文子午面,天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线,也称经线。称过英国格林尼治天文台 G 的天文子午面为首子午面。过 A 点的天文子午面与首子午面的二面角称为 A 的天文经度。在首子午面以东为东经,以西为西经,取值范围为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 。同一子午线上各点的经度相同。

过 A 点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为 A 点的纬线,过球心 O 的纬线称为赤道。过 A 点的铅垂线与赤道平面的夹角称为 A 点的天文纬度。在赤道以北为北纬,在赤道以南为南纬,取值范围为 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。

(2) 大地地理坐标系

大地地理坐标又称大地坐标,是表示地面点在参考椭球面上的位置,它的基准是法线和参考椭球面,它用大地经度和大地纬度表示。如图 1-4 所示,过 A 点的大地子午面和首子午面所夹的两面角称为 A 点大地经度,用 L 表示,规定从起始子午面起算,向东为正,由 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 称为东经;向西为负,由 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 为西经。过 A 点的法线与赤道面的夹角称为 A 点大地纬度,用 B 表示,规定从赤道面起算,由赤道面向北为正,从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为北纬;由赤道面向南为负,从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为南纬。

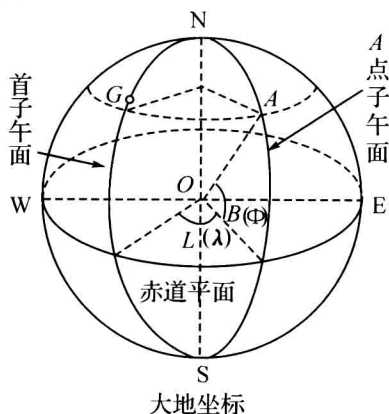


图 1-4 地理坐标系

大地经、纬度是根据起始大地点(又称大地原点,该点的大地经纬度与天文经纬度一致)

的大地坐标,按大地测量所得的数据推算而得的。由于天文坐标和大地坐标选用的基准线和基准面不同,所以同一点的天文坐标与大地坐标不一样,不过这种差异很小,在普通测量工作中可以忽略。

我国以陕西省泾阳县永乐镇大地原点为起算点,由此建立的大地坐标系,称为“1980 西安坐标系”。通过与苏联 1942 年普尔科沃坐标系联测,经我国东北传算过来的坐标系称“1954 北京坐标系”,其大地原点位于前苏联列宁格勒天文台中央。

2. 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点,起始子午面与赤道面交线为 X 轴,赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴,椭球体的旋转轴为 Z 轴,指向符合右手规则。在该坐标系中, A 点的点位用 OA 在这个坐标轴上的投影 X, Y, Z , 表示如图 1-5 所示。

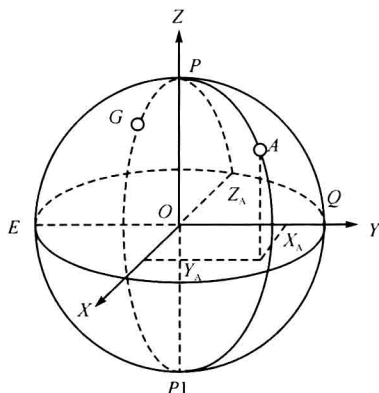


图 1-5 空间直角坐标系

3. 独立平面直角坐标系

在小区域范围内进行测量工作采用大地坐标来表示地面点位置是不方便的,通常采用平面直角坐标系。大地坐标表示的位置,是该点在球面上的投影,但当测区范围较小时,常把球面投影面看作平面,这样地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标来确定。测量工作中采用的平面直角坐标系如图 1-6 所示,南北方向为纵轴 X 轴,向北为正;东西方向为横轴 Y 轴,向东为正。为实用方便,坐标原点有时是假设的,假设原点的位置应使测区内点的 X, Y 值为正。

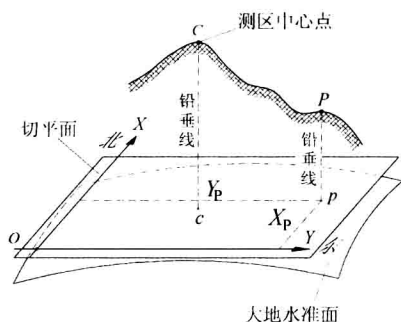
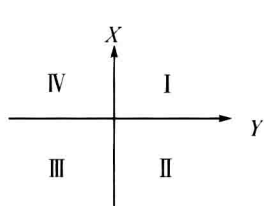
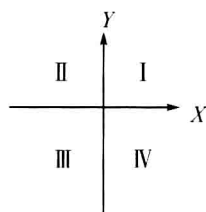


图 1-6 独立平面直角坐标系



测量平面直角坐标系



数学平面直角坐标系

图 1-7 两种平面直角坐标系

测量工作中所采用的平面直角坐标系与解析几何中采用的平面直角坐标系有所不同,测量平面直角坐标系以坐标纵轴为 X 轴,表示南北方向,向北为正;横轴为 Y 轴,表示东西方向,向东为正。象限顺序依顺时针方向排列,见图 1-7 所示。这是由于测绘工作中以极坐标表示点位时其角度值是以北方向为准按顺时针方向计算,而解析几何中则从横轴起按逆时针方向计算的缘故。当 X 轴和 Y 轴如此互换后,三角函数计算公式均可用于测绘计算中。

4. 高斯平面直角坐标系

(1) 高斯投影

高斯平面直角坐标系采用高斯投影方法建立。高斯投影是由德国测量学家高斯于 1825 年至 1830 年首先提出,到 1912 年由德国测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式,所以