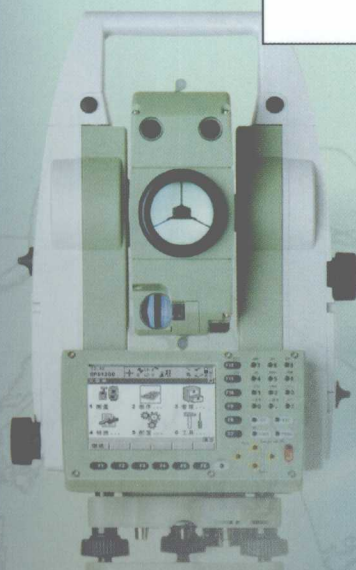


全国高等教育土木工程类精品教材

测绘学基础

CEHUIXUE JICHU

王铁生 袁天奇 主 编



 黄河水利出版社

全国高等教育土木工程类精品教材

测绘学基础

王铁生 袁天奇 主 编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书在对测绘学的基本概念、基本理论、基本知识进行阐述的基础上,结合土木工程各专业对测量学知识和技术的要求,较详细地介绍了基本测量工作的实践技术,着重叙述了地形图的应用与建筑物测设工作的基本方法,并对新型的测绘仪器、先进的现代测绘新技术及其应用作了较全面的介绍。

本书为土木工程各非测绘专业的测量学课程教材,亦可供土建类有关工程技术人员、测绘专业技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

测绘学基础/王铁生,袁天奇主编. —郑州:黄河水利出版社,2008.1

全国高等教育土木工程类精品教材

ISBN 978-7-80734-331-8

I. 测… II. ①王…②袁… III. 测绘学-高等学校-教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 007533 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:20.5

字数:474 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 1 月第 1 版

印次:2008 年 1 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

随着以 3S(GPS、RS、GIS)技术为代表的测绘新技术的出现和发展,测绘学在理论与方法上发生了根本性的变革。面对测绘科学技术发展的新形势,编者根据测量学的教学大纲和深化测量学教学改革的需要,结合目前各工程广泛使用的先进技术及方法,编写了本教材,以满足非测绘专业的学生学习之用。考虑到当前正处于新老测绘技术的转换时期,本教材在教学内容上既增加了测绘新技术在测量学中的应用,又保留了对常规测绘理论、方法和仪器的介绍,从而实现地形测图向数字化、自动化和智能化测图过渡。

在新仪器方面重点介绍了全站仪、自动安平水准仪、数字水准仪和 GPS 等技术;在测绘数据处理方面,介绍了测量误差的基本知识;在地形测绘中引入了大比例尺地形图数字测图技术,同时介绍了水下地形测绘工作、摄影测量与遥感技术及其应用,以适应各专业现代测绘教学的需要;在施工测量章节,详细地介绍了各种工程施工放样技术,包括地质工程测量、拦河坝施工测量、建筑工程施工测量、管道工程测量,以及变形监测的基本工作,以期学习者能够运用所学的测量基本知识、基本方法和技术解决工程的有关测量问题,了解和掌握测绘新技术并为自身专业服务以提升技术水平。

全书共分四大部分,共 16 章。第一部分(第一、二章),主要介绍测绘学的基本概念、基本理论和地形图的基本知识。第二部分(第三至第六章),着重介绍高差、角度(水平角、竖直角)、距离测量三项基本工作和测量误差的基本知识,详细介绍了普通测量仪器的构造、使用、检校方法以及现代测绘技术的新成就、新仪器和新方法。第三部分(第七至第十一章),主要介绍小地区的控制测量及数据处理方法、全球定位系统 GPS、地形图的测绘与应用、摄影测量与遥感技术的基本知识及其在土木工程勘测规划设计中的应用。新增了数字测图技术以及水下地形测量内容。第四部分(第十二至第十六章),主要介绍建筑物测设(或放样)的基本方法及在各类土木工程中的施工测量技术。本部分内容可根据各专业教学大纲要求选讲。

本书是华北水利水电学院多年来测量学课程的教学经验的总结。全书力求做到文字精练、定义准确、概念清楚、重点突出、理论完备。

参加本教材编写工作的有:王铁生(第一、二、八、十五、十六章)、雷斌(第六、十四章)、袁天奇(第三、七、十二章)、张冰(第五、十一、十三章)、周建业(第四、九章)、马开锋(第十章)。本书由王铁生、袁天奇主编,全书由王铁生统稿,杨晓明老师担任主审。在编写的过程中,贾清亮老师对本书提出了宝贵的建议,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,谨请读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月

目 录

前 言

第一章 测绘学的基本知识	(1)
第一节 测绘学的研究对象及其在工程建设中的作用	(1)
第二节 测绘学发展及应用概况	(2)
第三节 地面点位的确定	(4)
第四节 水准面曲率对水平距离和高差的影响	(8)
第五节 测量工作的原则	(9)
思考题与习题	(11)
第二章 地形图的基本知识	(12)
第一节 高斯投影的基本概念	(12)
第二节 地形图的分幅与编号	(14)
第三节 直线定向及方位角测定	(20)
第四节 坐标方位角的传递	(22)
第五节 平面直角坐标的正、反算问题	(23)
第六节 地图的分类及图比例尺	(25)
第七节 地物和地貌在地形图上的表示方法	(27)
思考题与习题	(34)
第三章 水准仪及水准测量	(36)
第一节 水准测量原理	(36)
第二节 DS_3 型微倾式水准仪及其使用	(37)
第三节 DZS_3-1 型自动安平水准仪	(41)
第四节 普通水准测量	(43)
第五节 水准仪的检验与校正	(48)
第六节 水准测量误差的来源及其消减方法	(53)
第七节 精密水准仪(简介)	(56)
第八节 激光水准仪(简介)	(57)
第九节 电子水准仪(简介)	(59)
思考题与习题	(61)
第四章 经纬仪及角度测量	(63)
第一节 水平角测量原理	(63)
第二节 DJ_6 型光学经纬仪及其使用	(63)
第三节 DJ_2 型光学经纬仪简介	(69)

第四节	激光经纬仪与电子经纬仪简介	(70)
第五节	水平角测量	(71)
第六节	竖直角测量	(75)
第七节	DJ ₆ 型光学经纬仪的检验与校正	(79)
第八节	水平角测量误差及其消减措施	(82)
思考题与习题		(83)
第五章	距离测量	(85)
第一节	钢尺量距	(85)
第二节	钢尺量距误差及注意事项	(90)
第三节	视距测量	(92)
第四节	电磁波测距	(96)
第五节	全站仪及测量机器人	(100)
思考题与习题		(105)
第六章	测量误差的基本知识	(106)
第一节	测量误差概述	(106)
第二节	偶然误差的特性	(108)
第三节	评定精度的标准	(110)
第四节	误差传播定律	(112)
第五节	等精度观测直接平差	(115)
第六节	非等精度观测直接平差	(118)
第七节	测量精度分析举例	(121)
思考题与习题		(123)
第七章	小地区控制测量	(124)
第一节	控制测量概述	(124)
第二节	导线测量	(128)
第三节	小三角测量	(137)
第四节	交会定点测量	(143)
第五节	三、四等水准测量	(148)
第六节	三角高程测量	(151)
第七节	电磁波测距三角高程测量	(153)
思考题及习题		(154)
第八章	全球定位系统(GPS)简介	(156)
第一节	概 述	(156)
第二节	全球定位系统(GPS)的组成	(157)
第三节	GPS 坐标系	(159)
第四节	GPS 定位的基本原理	(160)
第五节	SA 政策及其他卫星导航定位系统	(161)
第六节	GPS 定位的方法	(163)

第七节 GPS 测量的实施	(169)
思考题	(172)
第九章 大比例尺地形图测绘	(173)
第一节 大比例尺地形图传统测图法	(173)
第二节 数字化测图	(182)
第三节 水下地形测量	(189)
第四节 地籍测量简介	(193)
思考题与习题	(195)
第十章 摄影测量与遥感技术的基本知识	(198)
第一节 摄影测量与遥感技术的概念	(198)
第二节 航空摄影与航摄像片	(199)
第三节 像对立体观察	(201)
第四节 航测成图的方法	(202)
第五节 航测资料在工程规划中的应用(简介)	(205)
第六节 卫星遥感图像及其在水利方面的应用(简介)	(206)
第七节 地理信息系统及其应用(简介)	(207)
思考题	(211)
第十一章 地形图的应用	(212)
第一节 地形图的识读	(212)
第二节 地形图应用的基本内容	(214)
第三节 按设计线路绘制纵断面图	(217)
第四节 在地形图上按限制坡度选线	(217)
第五节 确定汇水面积	(218)
第六节 地形图在平整场地中的应用	(218)
第七节 在地形图上量算图形面积	(222)
思考题与习题	(226)
第十二章 测设(放样)的基本工作	(229)
第一节 概 述	(229)
第二节 施工控制网的布设	(230)
第三节 测设(放样)的基本工作	(232)
第四节 测设点的平面位置	(235)
第五节 已知坡度直线的测设	(236)
第六节 圆曲线测设	(237)
思考题与习题	(240)
第十三章 地质工程测量	(241)
第一节 物(化)探工程测量	(241)
第二节 地质勘探工程测量	(248)
思考题	(255)

第十四章 拦河坝施工测量	(256)
第一节 概 述	(256)
第二节 土(石)坝的施工控制测量	(256)
第三节 土(石)坝清基开挖与坝体填筑的施工测量	(259)
第四节 混凝土坝的施工控制测量	(261)
第五节 混凝土重力坝坝体的立模放样	(264)
第六节 大坝安全监测(简介)	(269)
思考题	(272)
第十五章 建筑工程施工测量	(273)
第一节 概 述	(273)
第二节 施工控制测量	(275)
第三节 民用建筑施工测量	(277)
第四节 工业建筑施工测量	(280)
第五节 高层建筑施工测量	(284)
第六节 烟囱(水塔)施工测量	(287)
第七节 建筑物的安全监测	(288)
第八节 竣工测量	(293)
思考题与习题	(293)
第十六章 管道工程测量	(295)
第一节 管道工程测量概述	(295)
第二节 管道中线测量	(295)
第三节 管道纵横断面图测绘	(298)
第四节 管道施工测量	(305)
第五节 顶管施工测量	(308)
第六节 管道竣工测量	(310)
思考题与习题	(312)
附录一 测量规范简介	(314)
附录二 水准仪与经纬仪系列技术参数	(315)
附录三 测量中常用的度量单位	(316)
附录四 数值的近似计算与规则	(318)
参考文献	(320)

第一章 测绘学的基本知识

本章要点

本章主要介绍测绘学的部分基本知识,在学习中应重点掌握一些基本概念(如铅垂线、水准面、大地水准面等)、测量坐标系与表示地面点位的方法、测图原理、测量工作的基本原则及三项基本工作。

第一节 测绘学的研究对象及其在工程建设中的作用

测绘学是一门古老的学科,传统的测绘学的概念为:研究地球的形状和大小以及确定地面(包含空中、地下和海底)点位的科学,并简称为测量学。随着空间技术、计算机技术、信息技术以及通信技术的发展,形成了以现代测绘新技术为支撑的测绘学新含义,测绘学的现代概念就是研究与地球有关的基础空间信息的采集、处理、显示、管理、利用的科学与技术。测绘学是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围和对象及采用的技术手段的不同,产生了许多分支学科。例如,研究地球的形状、大小和重力场,测定地面点几何位置和地球整体与局部运动的理论及技术的学科,称为大地测量学;现代,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(空间大地测量学)。测量小范围地球表面形状时,不考虑地球曲率的影响,把地球局部表面看做平面所进行的测量工作,属于地形测量学。研究利用摄影或遥感的手段获取目标物的影像数据,从中提取几何的或物理的信息,并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科,称为摄影测量学;由于获得像片的方式不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、航天摄影测量学和水下摄影测量学等。以海洋水体和海底为对象所进行的测量和海图编制理论与方法的学科,称为海洋测绘学;内容包括海洋大地测量、海底地形测量、海道测量和海图的编制。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与技术称为工程测量学;它是测绘学在国民经济和国防建设中的直接应用,可分为普通工程测量和精密工程测量。利用测量所得的成果资料,研究模拟地图和数字地图的基础理论、设计、编绘和复制的技术方法及其应用的学科称为地图制图学;随着计算机制图技术和地图数据库的发展,地图制图学现已发展成为研究空间地理环境信息和建立相应的空间信息系统的科学。

本教材主要讲述地形测量学及部分工程测量学的内容。概括而言,它的内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或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。它的主要任务如下:

(1) 为各项工程的勘测、规划、设计提供所需的测绘资料;勘测、规划时需提供中、小比例尺地形图及有关信息,建筑物设计时需要测绘大比例尺地形图。

(2) 施工阶段要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于实地,以便据此施工,此工作称为测设(或“放样”)。

(3) 在施工过程中及工程建成后的运行管理阶段,需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测,以确保工程安全运行,此项工作称为安全监测(即变形观测)。

由此可见,测量工作贯穿于工程建设的始终,作为一个工程建设、管理者,必须掌握必要的测绘科学知识和技能,才能担负起工程勘测、规划设计、施工及管理任务。

本课程在介绍测绘学基本知识的基础上,对小区域大比例尺地形图测绘、地形图的识读与选用、土建工程的施工放样和建筑物安全监测等主要内容将分别进行介绍。土木类专业(本科)的学生,学完本课程之后应达到如下要求:

- (1) 掌握测绘学的基本理论、基本知识和测绘工作的基本技能。
- (2) 掌握普通水准仪、普通经纬仪的操作使用方法。
- (3) 了解大比例尺地形图的成图原理和方法,并能熟练地阅读和正确使用地形图。
- (4) 具有运用所学测绘学基本知识解决工程建设与管理中有关测量问题的能力,并能从工程设计、施工和工程管理的角度,对测绘工作提出合理的要求。
- (5) 了解当前国内外测绘工程的新成就和发展方向。

综合上述要求,本教材在反映测绘新技术的基础上,力求精选教学内容,突出教学重点,压缩传统教材中的测图篇幅,重点讲解测绘学的基本理论、基本知识和基本技能,加强读图和用图的训练,为学生今后在从事土木工程勘测、设计、施工和管理工作中正确运用测绘资料打下基础。

第二节 测绘学发展及应用概况

测绘学有着悠久的历史。测绘技术起源于社会的生产需求,并随着社会的进步而发展。在我国,早在公元前 21 世纪夏禹治水就利用简单的工具进行了测量。春秋战国时期发明的指南针,至今仍在广泛地使用。东汉张衡创造了世界上第一架地震仪——候风地动仪,他所创造的天球仪正确地表示了天象,在天文测量史上留下了光辉的一页。唐代南宫说在张遂(一行)的指导下,于公元 724 年,丈量了河南滑县到上蔡 300km 的子午线弧长,是世界上第一次实地子午线弧长测量。宋代沈括使用水平尺、罗盘进行了地形测量。元代郭守敬拟定了全国纬度测量计划,并测定了 27 点的纬度。清代康熙年间进行了全国测绘工作。总之,几千年来我国劳动人民对世界测绘科学的发展做出了卓越的贡献。

测绘学获取观测数据的工具是测绘仪器,测绘学的形成与发展在很大程度上依赖于测绘方法和测绘仪器的创造及变革。17 世纪初,望远镜的发明和应用使测绘方法及测绘仪器有了重大的改变,使人类能够利用光学仪器进行测量,这是测绘科学发展史上一次较大的变革。1617 年荷兰的斯涅尔首创三角测量法。1683 年法国进行了弧度测量,证明地球是两极略扁的椭球体。1794 年德国高斯提出最小二乘法理论,以后又提出横轴椭圆柱

正形投影学说,对测绘科学理论的发展做出了宝贵的贡献。1903 年飞机的发明,促进了航空摄影测量技术的发展,使地形图测绘由野外向室内转移、由手工作业方式向自动化方式转移,又一次使测绘科学产生了巨大的变革。

自 20 世纪 50 年代起,新的科学技术尤其是电子学、信息学、电子计算机和空间科学技术等的迅速发展,使测绘仪器朝着电子化和自动化的方向发展。1947 年电磁波测距仪的问世,使测距工作开始发生了根本性变化,发展了精密导线测量和三边测量。20 世纪 40 年代自动安平水准仪的问世,标志着水准测量自动化的开端。1990 年电子水准仪的诞生,实现了水准测量的自动记录、自动传输、存储和数据处理。1968 年生产出电子经纬仪,此后,电子速测仪(全站仪)、自动全站仪(测量机器人)的问世,实现了观测、记录的自动化,以及测绘内外业的一体化。

1957 年第一颗人造卫星上天,1966 年开始进行人卫大地测量。20 世纪 80 年代,全球定位系统(GPS)问世。GPS 定位具有全球性、全天候、快速实时、高精度、自动化程度高和无需建立高标等优点。该技术的应用,使经典的测绘技术发生了重大变革,GPS 定位技术正逐步取代常规的控制测量方法而成为控制测量的主要手段。

20 世纪 50 年代末,摄影测量由模拟法向解析法过渡,现在已进入数字摄影测量阶段。由于现代航天技术和计算机技术的发展,在摄影测量中引入了卫星遥感技术,形成了航天测绘(遥感测绘)。

中华人民共和国成立后,我国测绘事业有了很大的发展。建立和统一了全国坐标系及高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网和基本重力网;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;建立了“1980 年国家大地坐标系”和“1985 年国家高程基准”;1997 年完成了中国国家 A 级和 B 级共约 830 个点的 GPS 大地控制网的布测。2003 年完成了包含 2 581 个 GPS 网点、相对精度为 10^{-7} 的 2 000 国家 GPS 网的计算;完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置及高程的测量;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、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机、长江三峡水利枢纽、黄河小浪底水利枢纽等大型工程的精确放样和设备安装测量;出版发行了地图 1 600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面,从无到有,现在不仅能生产系列的光学测量仪器,还能生产电磁波测距仪、卫星激光测距仪、全站仪、数字摄影测量系统等先进仪器设备。测绘人才培养方面,已培养出众多的各类测绘技术人员,大大提高了我国测绘科技水平。特别是近年来,我国测绘科技发展更快。自 2000 年以来,我国开始建设拥有自主知识产权的全球卫星导航系统——北斗卫星导航系统。目前,我国已成功发射了 3 颗北斗导航试验卫星,建成了北斗导航试验系统。该系统可在服务区域内任何时间、任何地点,为用户确定其所在的地理经纬度信息,并提供双向短报文通信和精密授时服务,该系统已在测绘、电信、水利、公路交通、铁路运输、渔业生产、勘探、森林防火和国家安全等诸多领域逐步发挥重要作用。地理信息系统(GIS)方面,我国第一套实用电子地图系统(全称为国务院国情地理信息系统),已在国务院常务会议建成并投入使用。各部门也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。这说明我国目前的测绘科技水平已接近国际先进水平。

值得注意的是,随着空间科学、信息科学的飞速发展,以全球定位系统(GPS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术为代表的“3S”数字化测绘高新技术已成为当前测绘工作的核心技术。测绘工作和测绘行业正在向着信息采集、数据处理和成果应用的数字化、智能化、网络化、实时化和可视化的方向发展。测绘学科的应用范围和服务对象从控制到测图的任务扩大到国民经济及国防建设中与地理空间数据有关的各个领域。测绘学已由传统测绘过渡到数字测绘,现在正在向信息化测绘——地球空间信息科学(Geomatics)跨越和融合。

第三节 地面点位的确定

一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面进行的,而地球自然表面很不规则,有高山、丘陵、平原和海洋。其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面达 $8\,844.43\text{m} \pm 0.21\text{m}$ (我国 2005 年 10 月公布),最低的马里亚纳海沟低于海水面达 $11\,022\text{m}$ 。但是这样的高低起伏,相对于地球平均半径 $6\,371\text{km}$ 来说还是很小的,再考虑到海洋约占整个地球表面的 71%,因此人们把海水面所包围的地球形体看做地球的形状。

由于地球的自转运动,地球上任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(见图 1-1)。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,由大地水准面所包围的地球形体,称为大地体。

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,致使大地水准面成为一个复杂的曲面(见图 1-1),无法在这个曲面上进行测量数据处理。为了使用方便,通常用一个非常接近于大地水准面,并可用数学公式表示的几何形体(即地球椭球体)来代替地球的形状(见图 1-2)作为测量计算工作的基准面。地球椭球体是一个椭圆绕其短轴(b)旋转而成的形体,故地球椭球体又称为旋转椭球体(见图 1-2),旋转椭球体的大小及形状由长半径 a (或短半径 b) 和扁率 α 所决定。我国目前采用的旋转椭球体元素值为:

$$\text{长半径} \quad a = 6\,378\,140\text{m}$$

$$\text{扁率} \quad \alpha = 1:298.257 \quad (\text{式中 } \alpha = (a - b)/a)$$

同时,选择陕西省西安市以北 60km 处的泾阳县永乐镇某点为大地原点(该点的大地经纬度与天文经纬度一致),进行参考椭球的定位,依此建立起来全国统一的大地坐标系,这就是现在使用的“1980 年国家大地坐标系”(亦称 1980 西安坐标系)。以前我国采用的是 1954 北京坐标系,其大地原点位于苏联列宁格勒天文台中央。它是采用克拉索夫斯基椭球($a = 6\,378\,245\text{m}$, $\alpha = 1:298.3$),并与苏联 1942 年普尔科沃坐标系进行联测,经我国东

北推算过来的坐标系。

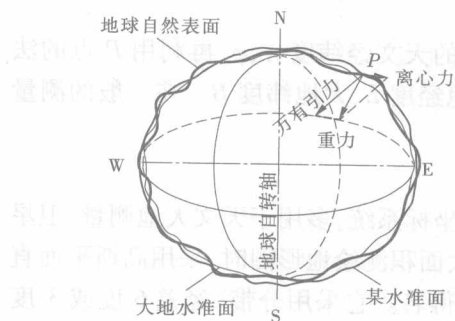


图 1-1 铅垂线、大地水准面示意图

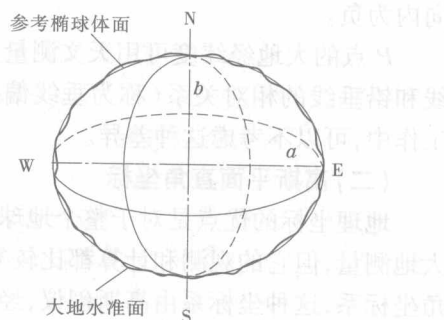


图 1-2 旋转椭球体示意图

由于地球椭球体的扁率很小,因此当测区范围不大时,可近似地把椭球体作为圆球看待,其半径取值为 6 371km。

二、测量坐标系与地面点位置的表示方法

一个点在空间的位置,需要三个量来表示。在传统的测量工作中,常将地面点的空间位置用它在投影面上的位置(如经纬度或高斯平面直角坐标)和高程表示。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。

(一) 地理坐标

以经度和纬度为参数表示地面点的位置,称为地理坐标。按坐标依据的基准线和基准面的不同以及求坐标方法的不同,地理坐标可分为大地坐标和天文坐标两种。

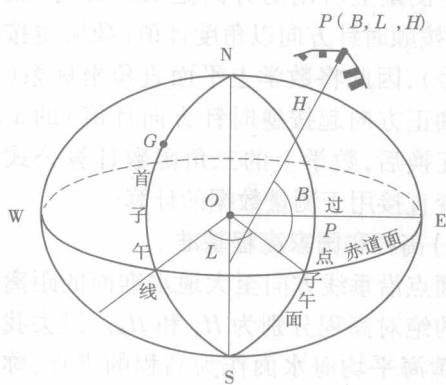


图 1-3 地理坐标示意图

如图 1-3 所示,N 和 S 分别为地球北极和南极。NS 为地球的自转轴。过地面点 P 和地球自转轴所构成的平面称为 P 点的子午面,子午面与椭球面或水准面的交线称为子午线,又称经线。按照国际天文学会规定,通过英国格林尼治天文台的子午面称为起始子午面,以它作为计算经度的起点,向东从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。过 P 点的子午面与起始子午面之间的夹角为 P 点的经度;过 P 点的法线或铅垂线与赤道平面之间的夹角为 P 点的纬度。赤道以北从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬,赤道以南从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。

以法线为依据,以参考椭球面为基准面的地理坐标称为大地坐标,分别用大地经度 L 、大地纬度 B 表示。以铅垂线为依据,以大地水准面为基准面的地理坐标称为天文坐标,分别用天文经度 λ 、天文纬度 φ 表示。如北京地区的概略天文地理坐标为东经 $116^\circ 28'$ 、北纬 $39^\circ 54'$ 。

P 点沿椭球面法线方向到椭球面的距离 H , 称为大地高。从椭球面起算, 向外为正, 向内为负。

P 点的大地经纬度可用天文测量方法测得 P 点的天文经纬度 λ, φ , 再利用 P 点的法线和铅垂线的相对关系 (称为垂线偏差) 改算为大地经度 L 、大地纬度 B 。在一般的测量工作中, 可以不考虑这种差异。

(二) 高斯平面直角坐标

地理坐标的优点是对于整个地球有一个统一的坐标系统, 多用于天文大地测量、卫星大地测量, 但它的观测和计算都比较复杂。在我国大面积测绘地形图时, 采用高斯平面直角坐标系, 这种坐标系由高斯创议, 经克吕格改进而得名。它采用分带 (经差 6 度或 3 度划分为一带) 投影的方法。每一投影带展开成平面, 以中央子午线的投影为纵轴 x , 赤道的投影为横轴 y , 建立全国统一的平面直角坐标系统。解决了地面点向椭球面投影而后展绘于平面上的投影变换问题, 满足了全国范围内地形图测绘的要求。其有关概念及基本知识将在第二章中介绍。

(三) 平面直角坐标

当测图的范围较小时 (半径不大于 10km 的区域内), 把该部分的球面视为水平面。将地面点直接沿铅垂线方向投影于水平面上。如图 1-4 所示, 以相互垂直的纵横轴建立平面直角坐标系: 纵轴为 x 轴, 与南北方向一致, 以向北为正, 向南为负; 横轴为 y 轴, 与东西方向一致, 向东为正, 向西为负。这样任一点平面位置可用其纵横坐标 x, y 表示, 如果坐标原点 O 是任意假定的, 则为独立的平面直角坐标系。

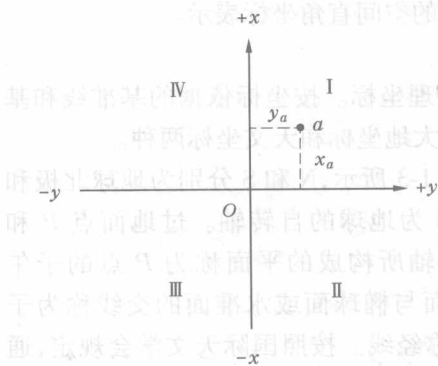


图 1-4 平面直角坐标示意图

由于测量上所用的方向是从北方向 (纵轴方向) 起按顺时针方向以角度计值 (象限也按顺时针编号), 因此将数学上平面直角坐标系 (角值从横轴正方向起按逆时针方向计值) 的 x 轴和 y 轴互换后, 数学上的三角函数计算公式可不加改变直接用于测量数据的计算。

(四) 高程和国家高程基准

地面点沿垂线方向至大地水准面的距离称为绝对高程或海拔。在图 1-5 中, 地面点 A 和 B 的绝对高程分别为 H_A 和 H_B 。过去我国采用青岛验潮站 1950 ~ 1956 年观测成果求得的黄海平均海水面作为高程的零点, 称为“1956 年黄海高程系” (水准原点高程为 72.289m)。后经复查, 发现该高程系的验潮资料时间过短, 准确性较差, 改用青岛验潮站 1950 ~ 1979 年的观测资料重新推算, 并命名为“1985 年国家高程基准” (水准原点高程为 72.260m)。国家水准原点设于青岛市观象山附近, 作为我国高程测量的依据。它的高程值 (72.260m) 是以“1985 年国家高程基准”所确定的平均海水面为零点测算而得。在使用旧的高程测量成果时, 应注意高程基准的统一与换算。

在局部地区, 如果引测绝对高程存在困难, 或为了施工的方便, 也可以假定一个水准

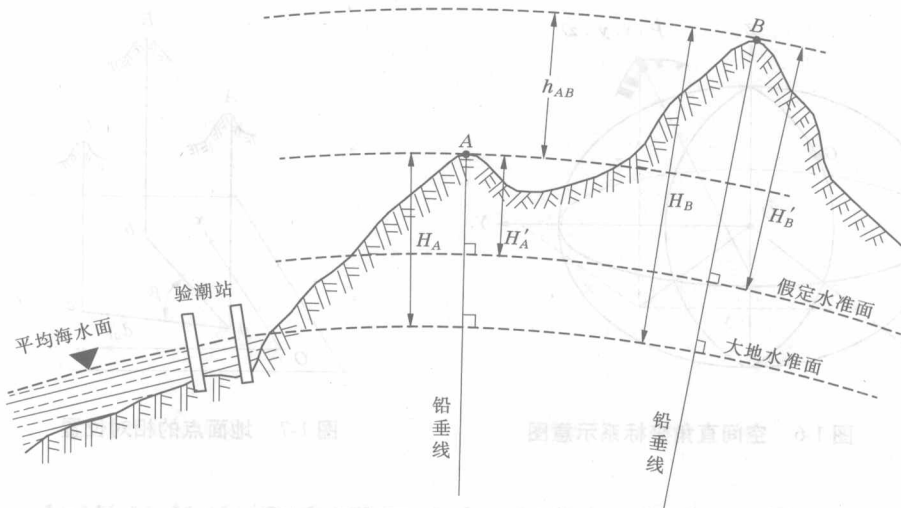


图 1-5 绝对高程和相对高程示意图

面作为高程起算面,地面点沿铅垂线方向至任意假定的水准面的距离称为该点的相对高程,亦称假定高程。在图 1-5 中,地面点 A 和 B 的相对高程分别为 H'_A 和 H'_B 。

地面上任意两点的高程(绝对高程或相对高程)之差称为高差。如图 1-5 中, A、B 两点的高差:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

上式中,当 $H_B (H'_B) > H_A (H'_A)$ 时, h_{AB} 为正;当 $H_B (H'_B) < H_A (H'_A)$ 时, h_{AB} 为负。

(五) 空间直角坐标

以椭球中心 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,构成右手规则直角坐标系 O-XYZ。在该坐标系中, P 点的点位用 OP 在这三个坐标轴上的投影 x, y, z 表示(见图 1-6)。

三、确定地面点相互位置的几何要素与测量的基本工作

如图 1-7 所示,高低不一的地面点,是沿铅垂线方向投影到水平面上,而后缩绘到图纸上的。因此,研究地面点位置的相互关系,可分别研究点与点之间平面位置的相互关系和高程位置的相互关系。设 A、B、C 为地面上的三点(见图 1-7),投影到水平面 P 上的位置分别为 a, b, c 。如果 A、B 点的位置已知,要确定 C 点的位置,除 A 点到 C 点投影到水平面上的水平距离 d_{ac} 必须知道外,还要知道 AC 方向与 AB 方向的夹角($\angle bac$, 常称为水平角,一般用 β 表示)。由 d_{ac} 和 β 两个几何元素即可确定 C 点的平面位置;可用几何水准测量方法求得 C 点相对于 A 点的高差,然后根据 A 点高程计算出 C 点高程,则 C 点相对于投影面 P 的空间位置(高程)即可确定。

由此可知,水平距离、水平角及高程是确定地面点相对位置的三个基本几何要素。所以,距离测量、角度测量和高程测量是测量的三项基本工作。

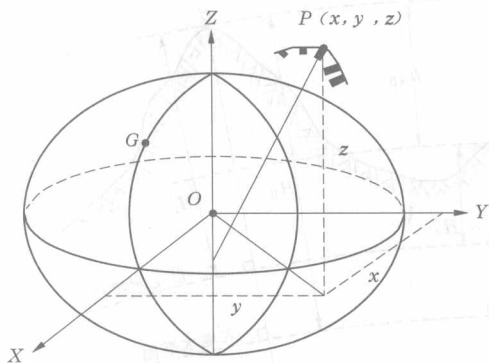


图 1-6 空间直角坐标系示意图

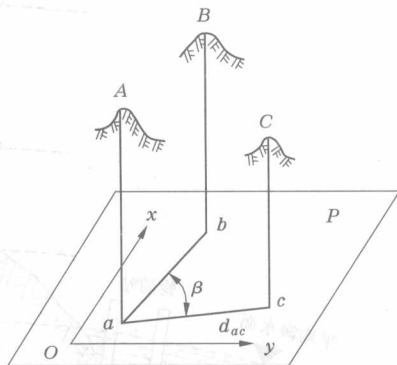


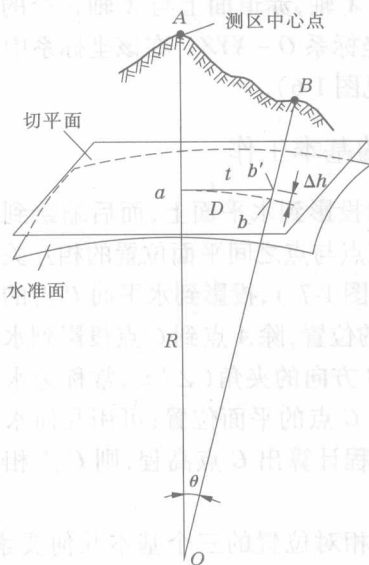
图 1-7 地面点的相对位置

第四节 水准面曲率对水平距离和高差的影响

在实际测量工作中,当测区面积不大时,往往用水平面来代替水准面,使计算和绘图工作大为简化。现讨论地球曲率对水平距离和高差的影响。

一、水准面曲率对水平距离的影响

在图 1-8 中,设地面点 A 为测区中心点, B 为测区内任一点,两点沿铅垂线投影到水准面上的点为 a 和 b,弧长为 D,所对圆心角为 θ (以弧度为单位)。另自 a 点作水准面的切平面, B 点在切平面上的投影为 b', 设 ab' 长度为 t。若将切于 a 点的水平面代替水准面,则在距离上将产生误差 ΔD :



$$\Delta D = ab' - \widehat{ab} = t - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-2)$$

式中: R 为地球平均半径。

将 $\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots$ 代入式(1-2), 得

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2}, \quad \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-3)$$

取 $R = 6\,371\text{ km}$, ΔD 之值见表 1-1。由该表可知, 当 $D = 10\text{ km}$ 时, $\Delta D/D = 1:121$ 万, 小于目前高精度的距离测量误差; 即使在 $D = 20\text{ km}$ 时, $\Delta D/D = 1:30$ 万。从表 1-1 的数值分析, 若在半径为 20 km 范围内进行测图时将水准面当做水平面(即沿圆弧弧量的距离当水平距离), 其距离误差可忽略不计。

二、水准面曲率对高差的影响

图 1-8 曲率对平距和高差的影响

由图 1-8 可知, a、b 两点在同一水准面上, 高程

相等,若以水平面代替水准面,则 b 点到 b' 点的高差误差为 Δh 。由图 1-8 可知:

则 $(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$
$$\Delta h = t^2 / (2R + \Delta h) \tag{1-4}$$

由于 D 与 t 相差很小,故可用 D 代替 t ,同时略去分母中的 Δh ,则上式可写为:

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-5}$$

表 1-1 水准面曲率对平距和高差的影响数值表

$D(\text{km})$	0.1	0.2	0.5	1.0	3.0	5.0	10.0	20.0	30.0
$\Delta D(\text{cm})$				0.001	0.022	0.103	0.821	6.57	22.2
$\Delta D/D$					1/1 363 万	1/485 万	1/121 万	1/30 万	1/13 万
$\Delta h(\text{cm})$	0.08	0.31	1.96	7.85	70.63	196.2	784.8		

从表 1-1 中可以看出,水准面曲率对高差的影响是很大的,距离为 200m 时就有 3mm 的高程误差,这是不允许的。因此,在高程测量中,即使距离很短也应考虑由水平面代替水准面所引起的地球曲率影响。

第五节 测量工作的原则

进行测量工作,无论是测绘地形图或施工放样,要在某一点上测绘该地区所有的地物和地貌或测设建筑物的全部细部是不可能的。例如图 1-9(a) 所示,在 A 点只能测绘附近的房屋、道路等的平面位置和高程,对于山的另一面或较远的地物就观测不到。所以测量工作必须按照一定的原则进行,这就是在布局上“由整体到局部”;在工作步骤上“先控制后碎部”,即先进行控制测量,然后进行碎部测量;在精度上“由高级到低级”。

控制测量包括平面控制测量和高程控制测量,如图 1-9 所示,先在测区内布设 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 等控制点连成控制网(图中为闭合多边形),用较精密的方法测定这些点的平面位置和高程,以控制整个测区,并依一定比例尺将它们缩绘到图纸上。然后以控制点为依据进行碎部测量,即在各控制点上测量附近地物(房屋、道路等)及地貌的特征点(山脊线、山谷线及坡度变化点等),对照实地情况,按一定符号,描绘成地形图。

对于建筑物的测设(放样),也必须遵循“由整体到局部”、“先控制后碎部”的原则。先在施工地区布设施工控制网,控制整个建筑物的施工放样。然后利用设计图纸上的数据,计算出建筑物(如图 1-9 中虚线所示的 P 、 Q 、 R)的轮廓点(或细部点)到控制点的水平距离、水平角及高差(即放样数据),再到实地将建筑物的轮廓点和细部点的位置标定出,据此施工。