



高等教育“十二五”规划教材

工程测量

Gongcheng Celiang

主 编 汤伏全 姚顽强
副主编 胡荣明

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

工 程 测 量

主 编 汤伏全 姚顽强
副主编 胡荣明

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了工程测量的基本理论、技术与方法。全书内容共 16 章,其中第 1 章至第 8 章是测量学基础部分,为各个专业学生的必学内容;第 9 章至第 16 章为工程应用部分,供不同专业的学生根据需要选学。基础部分主要介绍了测量的基本知识、距离测量、直线定向、水准测量、角度测量、测量误差理论、小区域控制测量、地形图测绘与应用等普通测量学的基本内容;应用部分主要介绍了施工放样方法、建筑工程测量、线路工程测量、地质勘探测量、矿山测量、矿山开采沉降监测与矿图绘制等各种工程测量相关内容。同时,在有关章节中介绍了全站仪、电子水准仪、陀螺仪、GPS 等测绘新仪器和新技术的应用。

本书可作为高等学校非测绘类本科专业学生学习测量学及工程测量课程的通用教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 汤伏全,姚顽强主编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2012.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1603 - 8

I. ①工… II. ①汤… ②姚… III. ①工程测量—高等学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 198191 号

书 名 工程测量
主 编 汤伏全 姚顽强
责任编辑 潘俊成
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 487 千字
版次印次 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷
定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

工程测量课程是高等学校土木、采矿、建筑、地质和路桥工程等本(专)科专业必修的专业基础课,其教材建设是高等学校教学改革的重要环节之一。本教材针对当前我国高等学校非测绘类专业的测量课程教学实际情况而编写,具有以下特点:

1. 将传统的测绘技术与最新测绘技术相结合,在介绍测绘新技术的同时,注意精选保留传统测绘技术的基本内容,使教材内容精练,将先进性、实用性、通用性三者相统一,能满足培养宽口径、复合型人才的需求。

2. 增加了有关地质勘探测量和矿山测量及矿山开采沉陷的基本内容,使本教材的专业覆盖面更广,并可更好地满足地质、采矿和地下工程等专业学生学习测量课程的教学要求。

3. 着眼于培养学生的学习能力和实际技能,突出基础理论和基本概念,加强理论联系实际,在每章后有思考练习题,并增加了较多的课间实习内容。

本书共分为 16 章,其中第 1 章、第 7 章、第 8 章及第 12 章~第 16 章由西安科技大学汤伏全编写;第 2 章~第 5 章由西安科技大学姚顽强编写;第 6 章及第 9 章~第 11 章由西安科技大学胡荣明编写。全书由汤伏全统稿。

由于编者水平所限,书中疏漏与不妥之处难免,恳请使用本教材的教师和广大读者提出宝贵意见。对于本书中参考的有关文献资料的原作者表示诚挚的谢意!

编 者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 地面点位置的确定	5
1.3 测量工作的基本内容和原则	9
思考练习题	10
第 2 章 直线距离与方位角测量	11
2.1 钢尺量距.....	11
2.2 电磁波测距.....	15
2.3 直线定向.....	17
2.4 方位角的测量.....	19
思考练习题	27
实验 1 钢尺量距与罗盘仪的使用	28
第 3 章 经纬仪及其角度测量	29
3.1 角度测量原理.....	29
3.2 光学经纬仪及其构造.....	30
3.3 水平角测量.....	33
3.4 竖直角测量.....	36
3.5 经纬仪的检验校正与维护.....	40
3.6 电子经纬仪简介.....	44
思考练习题	45
实验 2 DJ6 光学经纬仪测回法水平角测量	46
实验 3 竖直角与视距测量	46
第 4 章 水准测量	48
4.1 水准测量原理.....	48
4.2 水准测量仪器及其使用.....	50
4.3 水准测量的外业.....	55
4.4 水准测量的内业计算.....	58
4.5 微倾式水准仪的检验与校正.....	60
4.6 自动安平水准仪和数字水准仪简介.....	63

思考练习题	64
实验 4 水准测量实习	65
第 5 章 全站仪及其使用	66
5.1 全站仪简介	66
5.2 全站仪的操作与使用举例	69
5.3 全站仪与计算机的数据通信	75
5.4 全站仪的使用维护与检验	76
思考练习题	77
实验 5 全站仪测量实习	78
第 6 章 测量误差的基本理论	79
6.1 测量误差概述	79
6.2 测量精度的评定指标	82
6.3 误差传播定律及其应用	83
6.4 算术平均值及其中误差	87
6.5 广义算术平均值及其精度评定	90
思考练习题	92
第 7 章 工程控制测量基础	93
7.1 概述	93
7.2 导线测量	96
7.3 交会法测量	104
7.4 高程控制测量	106
7.5 GPS 测量原理及其应用	111
思考练习题	119
实验 6 导线测量实习	120
第 8 章 大比例尺地形图的测绘与应用	122
8.1 地形图的基本知识	122
8.2 视距测量	131
8.3 常规大比例尺地形图的测绘方法	134
8.4 全站仪数字化测图方法	144
8.5 地形图的识读与应用	149
思考练习题	155
实验 7 大比例尺地形图测绘实习	155
第 9 章 施工测量的基本工作	158
9.1 概述	158

9.2 放样的基本工作	159
9.3 平面点位的放样	164
思考练习题	166
实验 8 点位和高程放样实习	167
第 10 章 建筑施工测量	168
10.1 建筑施工控制测量	168
10.2 民用建筑的施工测量	172
10.3 工业建筑的施工测量	178
10.4 建筑物的变形观测	182
10.5 竣工测量	186
思考练习题	187
实验 9 建筑物角点与主轴线的测设	188
第 11 章 线路工程测量	190
11.1 概述	190
11.2 中线测量	190
11.3 线路纵横断面测量	200
11.4 道路施工测量	204
11.5 桥梁施工测量	209
11.6 管线工程测量	211
思考练习题	212
第 12 章 地质勘探测量	213
12.1 勘探工程测量	213
12.2 地质剖面测量	215
12.3 地质填图测量	217
思考练习题	218
实验 10 地质勘探网的测设	219
第 13 章 矿井测量	220
13.1 概述	220
13.2 立井几何定向	221
13.3 陀螺经纬仪定向	230
13.4 矿井高程联系测量	233
13.5 井下平面控制测量	235
13.6 井下高程测量	238
13.7 采区测量	240
思考练习题	241

实验 11 矿井联系测量方案设计	242
第 14 章 井巷施工测量	243
14.1 立井井筒中心与十字中线的标定	243
14.2 立井井筒施工测量	245
14.3 巷道中线的标定	248
14.4 巷道腰线的标定	251
14.5 贯通测量	253
14.6 激光指向仪在井巷施工测量中的应用	255
思考练习题	256
实验 12 巷道中线和腰线的标定	256
第 15 章 矿山开采沉陷监测	257
15.1 概述	257
15.2 地表移动观测站的设计	261
15.3 地表移动观测	265
15.4 地表移动观测成果的整理	267
15.5 测绘新技术在开采沉陷研究中的应用	272
15.6 岩层内部移动观测	279
思考练习题	282
第 16 章 矿图的基本知识	283
16.1 概述	283
16.2 基本矿图的内容及其作用	284
16.3 矿图的绘制	287
16.4 矿图的辨识与应用	297
思考练习题	301
参考文献	302

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 测绘学的任务与作用

测绘学是研究地球形状和大小以及确定地面点位的科学。测绘学的任务从宏观方面讲,就是建立国家控制网,以提供地形测绘和大型工程测量所需要的基本控制;为空间科技和国防建设提供精确的地理空间数据;为研究地球形状、大小、地壳形变及预报地震等提供技术服务。从微观方面讲,就是按照工程需求测绘各种比例尺的地形图;为各个工程建设提供定位和定向服务,包括土地管理、工程控制测量、施工放样、设备安装测量、建筑物变形监测和工程竣工测量等。

测绘科学是人类认识和研究地球不可缺少的手段。伴随人类文明的不断进步,人们更加关注地球,重视解决大范围区域或全球性问题。例如,观测地球本身的变化如地壳板块的运动、地震预测、重力场的时空变化、地球的潮汐、自转的变化等。要实现这些观测离不开测绘技术的支持。

在面向社会公众服务方面,测量可提供实时、高效的定位服务。例如,采用GPS实时定位技术对公交车、急救车和消防车辆的调度管理等;在物流管理中,将地理空间信息数据和相关自动识别技术相结合,可构建零库存和最低物流成本的现代物流管理系统;而在应对突发灾害事件的过程中,尤其要利用测绘技术获取相关的地理空间信息,以便将社会经济损失减至最小。

在国防建设和国家安全保障中,测绘提供了准确及时的空间定位和相关技术保障。例如,在人造地球卫星、航天器、远程导弹的发射等方面,需要利用测绘技术随时观测、跟踪、校正飞行轨道,以保证它们精确入轨飞行;而在现代化战争中,制定精确打击方案,评估战场态势及作战指挥等,都要利用测绘获得的地理空间信息来建立作战指挥系统。

在土木工程建设中,测量工作有着广泛的作用。在工程规划设计阶段,都要提供各种比例尺的地形图;在施工建设阶段,要建立工程测量控制网,将设计的建(构)筑物的平面位置和高程标定到实地,作为施工的依据,并进行建筑物变形监测;在工程竣工后,要进行竣工验收测量,绘制各种竣工图纸;在设备安装时,要进行安装测量,等等。

在地质普查中,要提供地形图及各种测绘资料作为地质填图的依据;在地质勘探中,要标定勘探线、网及钻孔的位置,并测绘地质剖面等。

在采矿工程中,测量工作伴随着矿产资源开发的整个过程。在矿井建设阶段,要进行地面施工测量、设备安装测量、井上下联系测量、贯通测量;在矿井生产阶段,要进行井下控制测量、采区测量、矿图绘制、矿体几何与储量管理、矿区开采沉陷监测及其地面保护等工作。

在当今信息化时代,国家建设的各个方面对测绘技术保障提出了更高的要求。因此,土木、建筑、地质、采矿等专业学生都必须学好测绘学,以便在工程建设中运用测量知识解决实际问题。

1.1.2 测绘学科的分支

从研究内容和应用范围来说,测绘科学包括以下几个分支:

普通测量学(Topography)——研究地球表面较小区域内测绘工作的理论、技术和方法,它是测绘学的基础。

大地测量学(Geodesy)——研究地球的形状、大小、重力场及其变化测量理论与方法。其基本任务是建立地面控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测量提供控制基础,为各类工程建设施工测量提供依据,为研究地球形状大小、重力场及其变化、地壳变形及地震预报提供信息。

摄影测量与遥感学(Photogrammetry and remote sensing)——研究利用摄影和遥感技术获取被测物体的信息,以确定物体的形状、大小和空间位置的理论和方法。根据获得相片方法的不同,又分为航空摄影测量(简称航测)、陆地摄影测量(简称陆摄)、水下摄影测量和航空航天遥感等。

工程测量学(Engineering surveying)——研究在工程建设和自然资源开发过程中,在规划、设计、施工、竣工验收和营运等阶段测量工作的理论和方法。它包括工程控制测量、地形测绘、施工放样和变形监测等内容。其中,地形测绘是指用测量仪器对地球表面上的点进行测量,根据测得的数据将地球表面的地形缩绘成地形图;施工放样是指将图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置通过测量在地面上标定出来,以便于施工。

海洋测量学(Marine)——以海洋和陆地水域为研究对象,研究水下地形测量以及航道、港口、码头建设等工程测量的理论和方法。

地图制图学(Cartography)——研究各种地图的制作原理、工艺技术和应用途径的理论与方法。它包括地图编制、地图投影、计算机绘图、计算机图形图像技术等内容。

本书作为普通测量学教材,主要讲授小区域控制测量、地形测量和工程施工测量的基本理论与方法。

1.1.3 测绘科学的发展简介

测绘学科的产生和发展伴随着人类文明的历史进程。早在公元前 1400 多年,古埃及人在尼罗河河水泛滥后恢复农田地界时就进行了简单的土地测量;在公元前 3 世纪以前,我国古代人已经认识并利用天然磁石的磁性,制成了“司南”(磁罗盘)用于确定方向;在公元前 2 世纪,相传大禹治水时就已经制造出“准绳,规矩”等测量工具,用于治水工程测量中。

在地形图测绘方面,早在公元前 2 世纪,我国古人已经能在锦帛上绘制有比例和方位的地图;我国西晋初年裴秀编绘的《禹贡地域图》被认为是世界上出现最早的地图集;在 16 世纪,随着制造技术的发展,已经开始利用仪器直接测绘图件,再缩绘为不同比例的地图。例如,我国清初康熙年间,首次用仪器测绘完成了《皇舆全览图》。

人类对地球的认识也是一个逐步完善的过程。早在公元前 6 世纪,古希腊的毕达哥拉斯就提出了地球体的概念;200 多年后,亚里士多德进一步论证了地球体的形状;在公元 8 世纪,我国的南宫说在今河南境内进行了子午圈实地弧度的测量;到 17 世纪末,牛顿和惠更斯提出了地扁说,在 18 世纪中期得到法国科学院的测量证实,使人类认识到地球为一椭圆

体;1873年利斯廷提出了大地水准面的概念,以大地水准面形成的封闭球体来描述地球形状;1945年,苏联的莫洛斯基创立了用地面重力测量数据直接研究真实地球表面形状的重力测量理论。由此,人类对地球的认识,经历了由初浅到越来越精确的过程。

近代测绘学是随着经纬仪和水准仪等测量仪器的出现而由西方国家率先建立和发展起来的。在新中国成立以前,我国的测绘技术曾长期处于落后状态。直到1933年,同济大学在国内设立了测量系,以培养测绘专门人才。新中国成立后,测绘科学技术得到了快速的发展。1954年,我国建立了北京54坐标系,1956年建立了黄海高程系统;1958年,我国颁布了1:1万,1:2.5万,1:5万,1:10万比例尺地形图测绘基本原则(草案);自1988年起,我国采用了新的国家高程基准,并在青岛建立了国家水准原点(图1-1)。同时,在陕西泾阳县永乐镇建立了新的大地坐标原点(图1-2),采用IUGG75参考椭球,建立了我国独立的参心坐标系(称为1980西安坐标系),为建立全国测绘控制网奠定了基础。

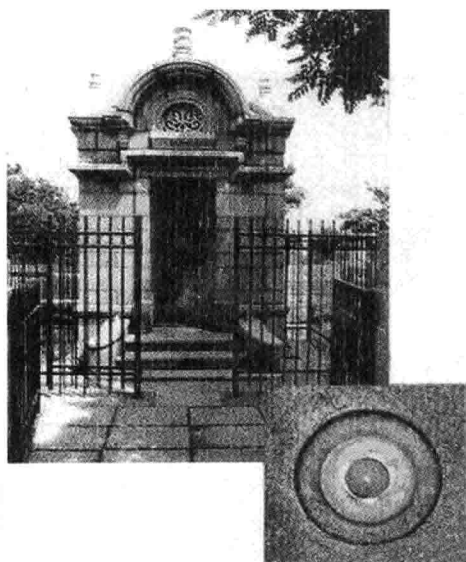


图 1-1 国家水准原点

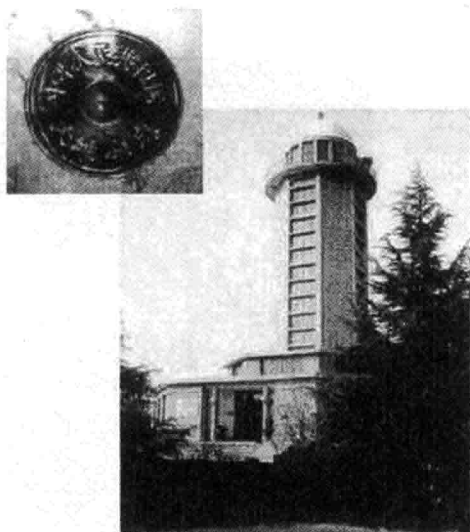


图 1-2 国家大地坐标原点

20世纪70年代以来,随着电磁波测距技术、激光技术和航空摄影技术的发展,以光电测距仪、电子经纬仪、激光指向仪、陀螺定向仪、全站仪、立体摄影量测仪等为代表的现代测绘仪器的出现,使测绘技术和手段取得了突破性进展,极大地提高了测绘工作的精度和作业效率。进入90年代后,随着空间科学技术、计算机技术和信息科学的迅速发展,以全球定位系统(GPS)、遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术为代表的“3S”高新技术,推动现代测绘科学进入飞速发展阶段,当代测绘学无论从数据采集、处理、储存、图形显示等各个方面都发生了根本性的变革,测绘科技的服务领域已从专业部门和单位服务,开始拓展到面向公众服务。下面简单介绍“3S”测绘新技术及其应用。

全球卫星定位系统(GPS)是20世纪70年代美国军方组织开发的军事导航和定位系统,80年代初开始用于大地测量。其基本原理是电磁波数码测距定位,即利用分布在6个轨道上的24颗GPS卫星(图1-3),将其在参照系中的位置及时间数据电文向地球播报,地

面接收机如果能同时接收四颗卫星的数据,就可以解算出地面接收机的三维位置及接收机与卫星时差四个未知数。由于其作业不受气候影响,定位精度高且非常可靠,已被广泛地用于测绘领域。

遥感(RS)是利用电磁波对观察对象进行非接触的感知,获取其几何空间位置、形状、物理特征等信息。由于遥感设备大多安置在飞机和卫星等高速运转的运载工具上,可在大范围内采集地球上的相关信息,为全面和高效地观察地球提供了新的技术手段。近年来随着遥感图像分辨率的不断提高,民用遥感图像的几何分辨率已经到分米级,显示出遥感技术在测绘领域的巨大应用前景。图 1-4 为北京奥体中心的遥感图像。



图 1-3 GPS 卫星系统示意图

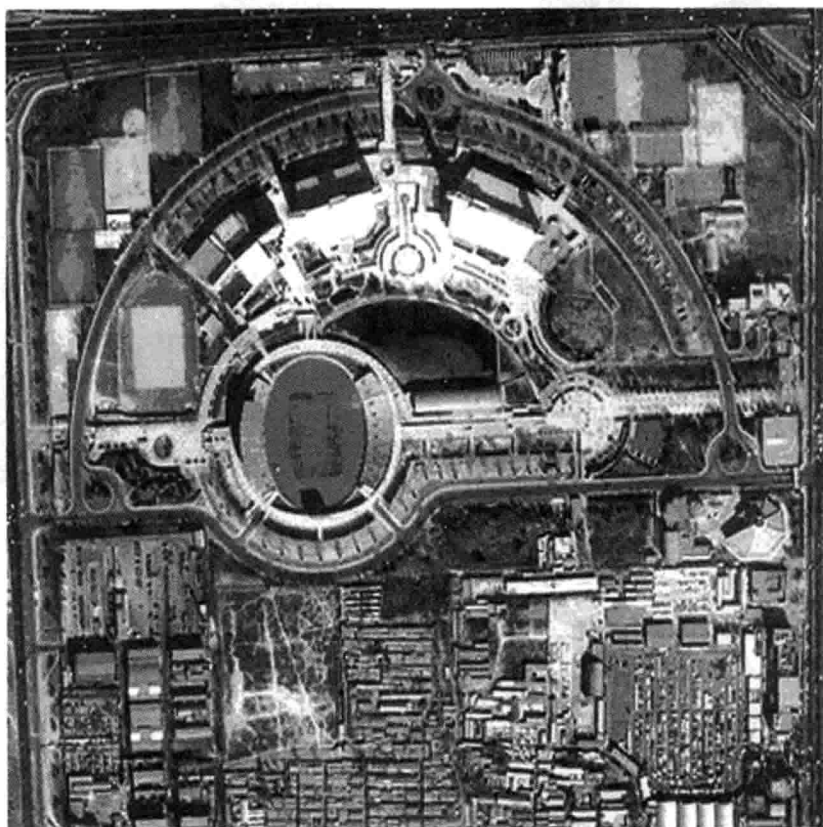


图 1-4 北京奥体中心遥感图

地理信息系统(GIS)是在计算机技术支持下,将各种地理空间信息进行输入、存储、检索、更新、显示、制图,并与其他相关专业系统和咨询系统相结合建立的综合应用系统。通过GIS,利用互联网可实现地理信息数据共享,为政府、各种社会经济组织乃至个人的地理信

息需求提供服务。图 1-5 为一种提供定位导航服务的车载 GPS 示意图。

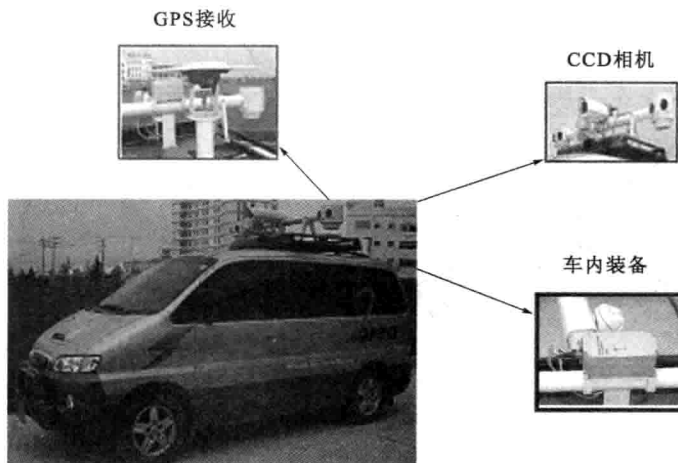


图 1-5 车载 GPS 示意图

所谓 3S 技术集成,是利用 GPS 实时高精度定位,RS 获取大面积的遥感图像,构成实时动态地理空间信息,采用 GIS 技术构建地理空间信息综合系统,通过互联网提供实时高效的地理空间信息服务。因此,3S 技术集成是国内外测绘学科发展的趋势,将推动测绘科技在社会经济发展中的作用和地位得到空前的提升,并最终发展成为完善的地球空间信息科学。

1.2 地面点位置的确定

1.2.1 地球的形状和大小

地面点位置的确定,需要建立全球性的参照系。要确定全球参照系,就要研究地球的形状和大小。地球表面分布着高山、丘陵、平原、海洋等复杂的地形地貌。地球上最高的珠穆朗玛峰,高出平均海平面 8 844.43 m(2005 年 10 月公布),最低的马利亚纳海沟,大部分低于平均海水面 8 000 m。然而,这种起伏程度与地球半径(平均为 6 371 km)相比,几乎可以忽略不计。地球表面大部分为海洋所覆盖,海洋面积约占地球表面积的 71%,陆地面积仅占 29%。因此,地球可以视为是被海水面所包围的球体。

假设一个自由静止的海水面延伸,包围整个地球,形成一个闭合曲面,我们称之为水准面;而过水准面上任意点且与水准面相切的平面,我们称为过该点的水平面;地球上任意点受到地球引力和离心力的合力,我们称之为重力,重力的方向线称为铅垂线,任意点的铅垂线均与水准面正交,且与过该点的水平面相垂直。因此,重力方向线(铅垂线)是测量工作的基准线。由于水面的高低是可变化的,因而水准面有无数个,其中与平均海洋水面重合并向陆地延伸所形成的封闭曲面,称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面所围成的地球形体称为大地体。它可以近似地代表地球的形状,如图 1-6 所示,图中 P_1P 为地球自转轴。

由于地球内部质量的不均匀分布和地球运动的影响,使得铅垂线的方向产生不规则的

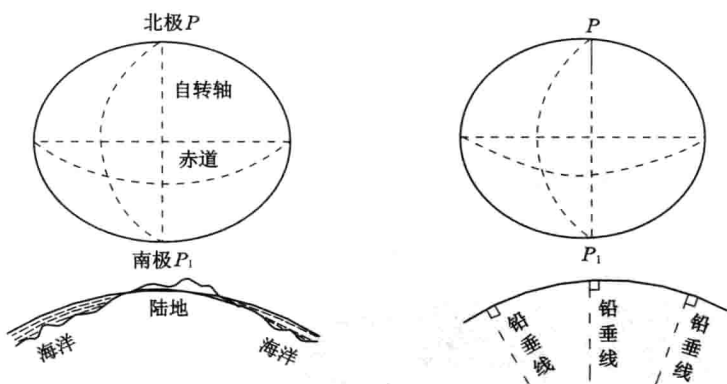


图 1-6 大地水准面示意图

变化,使大地水准面成为一个不规则的、复杂的曲面。因此,大地体是一个无法用数学公式精确描述的物体。为了测量计算和绘图的方便,可选择一个非常接近大地水准面并可用数学方法表示的规则几何曲面来描述大地体的形状,我们将这个曲面称为地球椭球体面,或称为旋转椭球体面或参考椭球体面。地球椭球体的形状(图 1-7)由长半径 a 和短半径 b 确定,也可用长半径 a 和扁率 $\alpha[\alpha=(a-b)/a]$ 来确定。

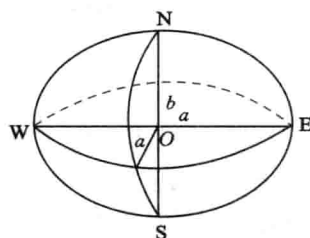


图 1-7 地球椭球体

世界许多国家都有本国的地球椭球体参数。目前,我国“1980 年国家大地坐标系”采用的地球椭球体参数为:

长半径 $a=6\,378\,140\text{ m}$

短半径 $b=6\,356\,755\text{ m}$

扁率 $\alpha=1/298.257$

由于地球椭球体的扁率很小,在测区面积不大时,可近似地将地球视作圆球,其平均半径可按下式计算:

$$R = \frac{1}{3}(2a + b) \quad (1-1)$$

在测量精度要求不高时,其近似值为 $6\,371\text{ km}$ 。

1.2.2 测量坐标系

在测量工作中,通常用下面几种坐标系作为参照系来确定地面点的平面位置。

1.2.2.1 地理坐标系

地理坐标系又分为大地地理坐标系和天文地理坐标系。如图 1-8 和图 1-9 所示, N、S 分别是地球的北极和南极, NS 称为自转轴。包含自转轴的平面称为子午面。子午面与地球表面的交线称为子午线。通过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面。通过地心垂直于地球自转轴的平面称为赤道面,赤道面与椭球面的交线称为赤道。

大地地理坐标系是以通过地面点作椭球面的法线为依据,以地球椭球面为基准面的球面坐标系。地面点的大地地理坐标用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示。地面点 P 的大地经度为过 P 点的子午面与首子午面的夹角 L ;其大地纬度为 P 点处椭球面的法线与赤道平

面的夹角 B , 如图 1-8 所示。

天文地理坐标系是以通过地面点的铅垂线为依据, 以大地水准面为基准面的球面坐标系。地面点的天文地理坐标用天文经度 λ 和天文纬度 φ 来表示。地面点 P 的天文经度为过 P 点的子午面与首子午面的夹角 λ ; 其天文纬度为 P 点处的铅垂线与赤道平面的夹角 φ , 如图 1-9 所示。

经度是从首子午线起, 向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经, 向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。纬度是从赤道起, 向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬, 向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。例如, 北京市某点的大地地理坐标为东经 $L = 116^\circ 28'$, 北纬 $B = 39^\circ 54'$ 。

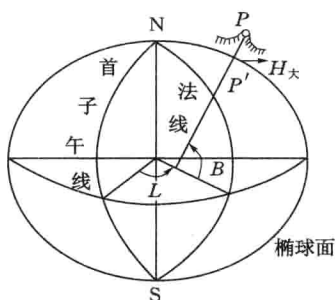


图 1-8 大地地理坐标系

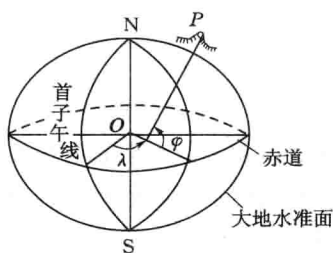


图 1-9 天文地理坐标系

1.2.2.2 高斯平面直角坐标系

地理坐标是球面坐标, 因而不便于直接进行角度和距离等各种计算。由于工程设计与计算大多范围不大, 且是在平面上进行的, 地形图也是平面图纸, 因此, 需要将地面点位和地面形状表示在平面上, 也就是将球面上的图形展绘到平面上, 这需要采用适当的投影方法。测量上采用高斯投影法来建立平面直角坐标系。

高斯投影方法先将地球椭球体用经线按照 3° 或 6° 的经差划分成带, 称为投影带; 每一投影带中央的子午线称为中央子午线。例如, 3° 带中第一带的中央子午线经度为 1.5° 。所谓高斯投影, 就是假设用一个空心圆柱与地球椭球上某带的中央子午线相切 (图 1-10), 在球面图形与柱面图形保持等角的条件下, 将球面上的图形投影到柱面上, 然后将圆柱沿着通过南、北极点的母线切开并展开成平面。在这个平面上, 中央子午线与赤道线成为相互垂直的直线, 而且中央子午线的长度在投影后未发生变化, 其他子午线和纬线成为曲线。取中央子午线为坐标纵轴 X , 赤道为坐标横轴 Y , 两轴的交点 O 为坐标原点, 组成高斯平面直角坐标系, 并规定 X 轴向北为正, Y 轴向东为正。我国位于北半球, X 坐标均为正值; Y 坐标则有正有负, 位于任一投影带中央子午线以东的点 Y 坐标为正, 以西的点 Y 坐标为负, 但为了避免坐标为负, 通常将每个投影带的坐标原点向西移 500 km , 即所有点的 Y 坐标均加上 500 km , 并在 Y 坐标前冠之以投影带的带号, 以此确定该点在地球椭球体上的投影带位置。例如, $Y = 36\ 465\ 280\text{ m}$ 表示该点位于 3° 带的第 36 带上, 距该带中央子午线以西的距离为 $(500.000 - 465.280) = 34.720\text{ km}$ 。

在高斯投影中, 离中央子午线近的部分投影变形较小。离中央子午线愈远, 其投影变形愈大。

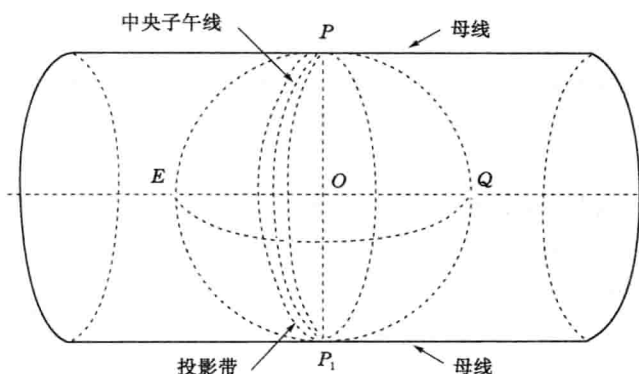


图 1-10 高斯投影示意图

1.2.2.3 任意平面直角坐标系

地球椭球体和大地水准面虽然都是曲面,但当测量范围较小(例如半径小于 10 km 的范围)时,可将大地水准面近似地看成平面,在该平面上可建立任意平面直角坐标系。通常将任意直角坐标系的原点选在测区的西南角,轴选在测区南北方向,指向北为正;轴选在东西方向,指向东为正。

1.2.3 高程系统

地面点的绝对高程(或海拔)是指地面点至大地水准面的铅垂距离,我国的高程起算面是以青岛验潮站历年观测得到的黄海平均海水面为大地水准面的基准,据此测定出青岛国家水准原点的高程为 72.260 m,这一系统称为“1985 年国家高程基准”。

地面点的绝对高程用 H 表示。如图 1-11 所示, H_A 、 H_B 分别为 A 和 B 点的绝对高程。

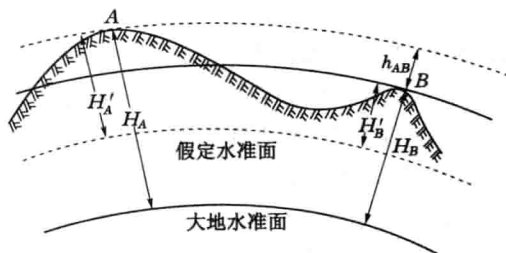


图 1-11 高程系统示意图

在局部地区有时可以假定一个水准面作为高程起算面(通过指定某个固定点并假设其高程值来确定假定水准面),地面点到假定水准面的铅垂距离称为该点的相对高程。图 1-11 中 H'_A 、 H'_B 分别表示点 A 和 B 点的相对高程。

地面两点之间的高程差称为高差,用 h 来表示。 A 、 B 两点间的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-2)$$

上式表明,地面两点间的高差与高程系统无关。

1.3 测量工作的基本内容和原则

1.3.1 测量工作的基本内容

地球表面高低起伏并分布着各种地物、地貌。测量工作的基本任务是用测绘技术确定地面点的位置,即地面点定位,它包括测量和测设两方面的工作,前者主要指测定实地的地物和地貌位置,并绘制到图纸上形成地形图;后者则是将设计图上的地物按设计坐标在实地标定其位置。在实际测量中,一般不能直接测出地面点的坐标和高程,而是通过测量待定点与已有坐标和高程的已知点之间的几何关系,来推算出待定点的坐标和高程。例如,在图1-12中,设 M 、 N 点坐标为已知, P 点为待定点。在 $\triangle NMP$ 中,通过测量角度值 α_i 和边长 D_i ,即可解算出 P 点的位置。在图1-13中,设 A 为已知高程点, B 为待定点,通过测量 A 、 B 点间的高差 h ,即可推算出 B 点的高程。

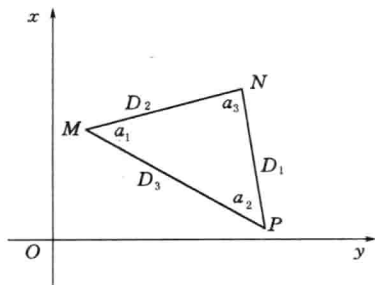


图 1-12 地面点平面位置的定位元素

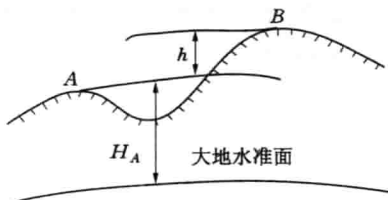


图 1-13 地面点高程的定位元素

因此,测量工作的基本内容是角度测量、距离测量和高差测量。角度、距离和高差是确定地面点相对关系的基本元素。

1.3.2 测量工作的基本原则

地表形态和地面物体的形状是由许多特征点确定的。在进行地形测量时,就需要测定这些特征点(也称碎部点)的平面位置和高程,再绘制成图。如果从一个已知点出发逐点施测,虽然可得到这些特征点的位置坐标,但由于测量工作不可避免地存在误差,导致前一点的测量误差传递到下一点,使误差积累起来,最后可能使点位误差达到不可容许的程度。因此,测量工作必须按照一定的原则进行。在实际测量中,应遵循以下三个原则:

(1) 整体原则

即“从整体到局部”的原则。任何测量工作都必须先总体布置,然后分期、分区、分项实施,任何局部的测量过程必须服从全局的定位要求。

(2) 控制原则

即“先控制后碎部”的原则。先在测区内布设一些起控制作用的点,称为控制点。将它们的平面位置和高程精确地测定出来,然后再根据这些控制点测定出低级的控制点和碎部点的位置。这种测量方法可以减少误差的积累,并可同时在多个控制点上同时进行碎部测量,加快工作进度。

(3) 检核原则