

高职高专资源勘查类专业规划教材

工程测量

主编◎张晓东



工 程 测 量

主 编 张晓东
副主编 胡良柏
参 编 王筱君 程星海
主 审 兰小机

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书共分十二章,主要介绍了测量学的基本知识和3S技术的发展,水准仪使用和水准测量方法,经纬仪使用与测角方法,误差理论的相关知识,控制测量原理与方法,地形图的基本知识与地形图应用,建筑工程测量的方法,建筑物变形测量的方法,地质勘探测量的方法,线路工程测量和桥隧施工测量,水利工程测量的方法,房产测量的方法等内容。本书内容翔实,层次清晰,在阐述理论和方法的同时,加入实习实训,具有很强的实用性。

本书是高等职业教育非测绘专业的工程测量教材,可以作为普通高校教材使用,也可作为相关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/张晓东主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2012.5
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0358 - 1

I. ①工… II. ①张… III. ①工程测量 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 100221 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 15.75
字 数 381 千字
版 次 2012 年 5 月第 1 版
印 次 2012 年 5 月第 1 次印刷
定 价 34.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn



测量学是一门历史悠久的学科,随着技术进步、社会发展以及工程建设对测绘数据精度要求越来越精密,其地位和作用显得更加重要。高速铁路建设、大型水电工程、高层建筑施工、城市规划、数字城市等离不开测量技术支撑,由“3S”技术支撑测绘学科的发展,为这门古老学科注入了新的活力。

高等职业院校人才培养的目标可概述为:以应用能力为主线,以本专业技术需求为导向,理论满足专业需求,具有可持续学习与发展能力。

本书是依据人才培养目标,为高职高专院校地质、建筑、房产、交通水电等专业编写的工程测量教材。教材编写中,邀请生产单位的专业技术人员讨论研究,形成了教材编写方案。教材介绍了测绘学基本概念、水准仪测量高差、纬仪测角、全站仪测距等方法;介绍了区域控制测量方法;介绍了地质勘探测量、建筑测量、房地籍测绘、线路测量原理与方法;介绍了GPS应用、数据处理原理方法;介绍了测绘新技术及其应用。本书由易到难,涉及面较广,可根据专业教学实际选择章节教学。

本书由张晓东主编、统稿,共分十二章。甘肃工业职业技术学院张晓东编写(一、二、六章),甘肃工业职业技术学院胡良柏编写(三、四、五、十章),甘肃工业职业技术学院王筱君编写(七、八、九、十二章),甘肃省测绘局工程院高级工程师程星海编写(十一章、实习实训)。

本书由江西理工大学兰小机教授主审,对教材提出修改意见,特此致谢!

本书参考了国内有关教材的内容,在此,向作者表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年1月



第一章 工程测量的基本知识	1
第一节 测量学简介	1
第二节 测绘科学及其分类	2
第三节 测绘科学在社会发展中的作用	3
第四节 3S 技术及其发展	3
第五节 地球形状与坐标系	5
第六节 水准面曲率对观测量的影响	11
第七节 测量上常用的度量单位	13
本章小结	14
习题	14
第二章 水准测量	16
第一节 水准测量	16
第二节 水准测量的仪器和工具	18
第三节 水准仪的使用	22
第四节 水准测量的施测	24
第五节 水准测量的内业计算	30
第六节 水准仪的检验与校正	34
第七节 水准测量的主要误差来源	36
第八节 精密水准仪、自动安平水准仪和电子水准仪	39
本章小结	40
习题	41
第三章 角度测量	42
第一节 角度测量原理	42
第二节 光学经纬仪的结构及读数方法	42
第三节 经纬仪的使用	45
第四节 水平角测量	46
第五节 竖直角测量	48
第六节 经纬仪的检验与校正	49
第七节 角度观测的误差	54
第八节 电子经纬仪简介	56
本章小结	59
习题	59
第四章 测量误差的基本知识	60
第一节 测量误差	60



CONTENTS

第二节 评定精度的指标	62
第三节 误差传播定律	64
第四节 平差计算及其精度评定	64
本章小结	66
习题	66
第五章 控制测量	67
第一节 控制测量概述	67
第二节 平面控制测量的外业工作	69
第三节 直线定向	70
第四节 坐标计算原理	72
第五节 导线测量和导线计算	73
第六节 全站仪测量	87
第七节 边角网布设及交会测量	88
第八节 三角高程测量的应用	91
第九节 GPS 测量原理概述	92
本章小结	94
习题	94
第六章 地形图的基本知识	96
第一节 地图的基本概念	96
第二节 地形图的基本要素	103
第三节 地形图的比例尺	105
第四节 地物及其表示	106
第五节 地貌及其表示	107
第六节 文字数字注记	112
第七节 地形图应用	113
本章小结	118
习题	118
第七章 建筑工程测量	120
第一节 施工放样的基本要求	120
第二节 施工放样的基本工作	120
第三节 点位放样	122
第四节 高程放样	124



第五节 建筑施工测量	126
第六节 工业厂房施工测量	131
本章小结	134
思考题	135
第八章 建筑物变形测量	136
第一节 变形观测的基本规定	136
第二节 垂直位移观测	138
第三节 水平位移观测	142
第四节 倾斜观测	146
第五节 建筑物的裂缝观测	149
本章小结	150
思考题	150
第九章 地质勘探工程测量	151
第一节 地质勘探概述	151
第二节 勘探矿区控制测量与地形测量	151
第三节 地质填图测量	152
第四节 地质点探槽钻孔探井测量	154
第五节 勘探线剖面测量	156
第六节 勘探坑道测量	160
第七节 物化探网测设	161
本章小结	163
习题	163
第十章 线路工程测量	164
第一节 公路初测	164
第二节 定线测量	166
第三节 圆曲线的测设	167
第四节 综合曲线的测设	172
第五节 竖曲线的测设	179
第六节 桥梁控制测量	181
第七节 桥梁墩、台测量	183
第八节 桥梁的施工测量	190
第九节 隧道贯通测量	193



CONTENTS

第十节 地下管线工程测量	194
第十一节 架空送电线路测量	199
本章小结	202
习题	202
第十一章 水利工程测量	204
第一节 水利工程测量概述	204
第二节 渠道选线	204
第三节 中线测量	205
第四节 纵断面测量	206
第五节 横断面测量	208
第六节 路基土方量的计算	212
本章小结	214
习题	214
第十二章 房地产测量	215
第一节 房地产测量概述	215
第二节 房产要素测量	217
第三节 房屋建筑面积测量	219
第四节 房屋共有建筑面积的分摊	221
第五节 变更测量	223
第六节 成果资料的检查验收	224
本章小结	228
思考题	228
附录 实习实训	229
实验一 水准仪的认识与使用	229
实验二 水准测量	230
实验三 经纬仪的认识与使用	233
实验四 角度测量	234
实验五 全站仪的认识与使用	235
实验六 点位放样	236
实验七 高程放样	237
实验八 房产测量	238
实验九 断面测量	240
参考文献	244



第一章 工程测量的基本知识

第一节 测量学简介

在人类发展的历史长河中,人类的活动中产生了确定点的位置及其相互关系的需要。如远在公元前1400多年古埃及尼罗河畔的农田在每次河水泛滥后的地界恢复需要测量。公元前3世纪前,中国人的祖先已经认识并利用天然磁石的磁性,并制成了“司南”磁罗盘用于方向的确定。而在公元前2世纪,大禹治水就已经制造了“准绳、规矩”等测量工具,并成功地用于治水工程中。

随着人类对世界认识视野的拓宽,测绘科学也逐步完善形成。公元前6世纪,古希腊的毕达哥拉斯提出地球体的概念,两百多年后,亚里士多德进行了进一步的论证,又过了一百年,埃老突斯尼测算了地球子午圈的长度,并推算了地球的半径。现代全球测绘数据显示,地球的扁率(长短半径差与长半径之比)约为298.3分之一,已经是比较准确的描述了。公元8世纪,南宫说在今河南境内进行了子午圈实地弧度测量。到17世纪末,牛顿和惠更斯提出了地扁说,并在18世纪中叶由法国科学院测量证实了地扁说,使人类对地球的认识从球体认识推进到了椭球体。19世纪初,法国的拉普拉斯和德国的高斯都提出了地球更精确的描述,非椭球性,地球总体应该为梨状。1873年利斯廷创造了“大地水准面”一词,以此面封闭形成的球体——大地体来描述地球。1945年,前苏联的莫洛坚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理论,由此,人类对地球的认识,由天圆地方的认识,经过圆形、椭球形、梨状的一个越来越准确的认识过程。

作为测绘主要成果形式的地图,在表现形式和制作方式上也发生了重大的进步。公元前3世纪前,人类只是在一些陶片上记录一些地形的示意略图,公元前2世纪,中国人已经能在锦帛上绘制有比例和方位的地图,有了一定的精度。公元2世纪,古希腊的脱勒密在《地理学指南》中已经收集、整理了当时关于地球的一般知识,阐述了编制地图的方法,并提出了地区曲面在地图制图中的投影问题。中国西晋初年,裴秀编绘的《禹贡地域图》是世界最早的历史图集。他汇编的《地形方丈图》是中国全国大地图。他还以“制图六体”奠定了制图的理论基础。16世纪,测量仪器在技术上有了一个大进步,以荷兰墨卡托的《世界地图集》和中国罗洪先《广舆图》为代表,达到了新的水平,已经可以利用仪器直接测绘图件,再缩绘为不同比例的图。清初康熙年间我国已经首次用仪器测绘完成全国范围的《皇舆全览图》。

1930年我国首次与德国汉莎航空公司合作,进行了航空摄影测量。1933年同济大学设立测量系开始培养专业技术人才。1954年建立了54北京坐标系,1956年建立了黄海高程系。1958年颁布了我国1:10 000,1:25 000,1:50 000,1:100 000比例尺地形图测绘基本原则(草案)。1988年1月1日,我国正式启用“1985国家高程基准”,并在我国西安泾阳县永乐镇建立了新的大地坐标原点,并用IUGG(国际大地测量与地球物理学联合会)75参考椭球,建立了我国独立的参心坐标系,称为西安1980坐标系。20世纪90年代以来,以全球卫星定位系统为主的现代空间定位技术快速发展,导致获得位置的测量技术和方法迅速变革。空间技术的迅速发展与广泛应用,迫切要求国家提供高精度、地心、动态、实用、统一的大地



坐标系,作为各项社会经济活动的基础性保障。

2008年7月1日起,启用2000国家大地坐标系(简称“2000坐标系”)。2000坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。为测绘事业与国际接轨奠定了良好的基础。

第二节 测绘科学及其分类

测绘科学就其研究的内容,是一门研究对地球整体及其表面形态、地理分布、外层空间物体的有关信息的采集、处理、分析、描述、管理和利用的科学与技术。测量学按照研究的重点内容和应用范围来分类,包括以下多个学科。

1. 大地测量学

大地测量学是研究地球的形状、大小、重力场及其变化,通过建立区域和全球的三维控制网、重力网及利用卫星测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。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。

2. 摄影测量与遥感学

摄影测量与遥感学是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。由于获得相片的方法不同,摄影测量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。遥感分为航空遥感、航天遥感等。

3. 工程测量学

工程测量学研究在工程建设和自然资源开发的规划、设计、施工、竣工验收和运营中测量的理论和方法。工程测量学包括工程控制测量、地形测绘、变形监测及建立相应的信息系统等内容。

4. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋和陆地水域为研究对象,研究海洋水下地形测量、航道及相关的港口、码头的建设等工程相关的测量的理论和方法。

5. 地图制图学

地图制图学是研究各种地图的制作理论、原理、工艺技术和应用的一门学科。研究内容主要包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。现代地图制图学向着制图自动化、电子地图制作及与计算机信息科学的结合,以及建立地理信息系统方向发展。

6. 地球空间信息学

测绘学科的理论、技术、方法及其学科内涵在不断地发生变化。当代由于空间技术、计算机技术、通信技术和地理信息技术的发展,致使测绘学的理论基础、工程技术体系、研究领域和科学目标正在适应新形势的需要而发生深刻的变化。由3S技术(GPS,RS,GIS)支撑的测绘科学技术在信息采集、数据处理和成果应用等方面也在进入数字化、网络化、智能化、实时化和可视化的新阶段。测绘学已经成为研究对地球和其他实体与空间分布有关的信息进行采集、量测、分析、显示、管理和利用的一门科学技术。它的服务对象远远超出传统测绘学比较狭窄的应用领域,已扩大到国民经济和国防建设等与地理空间信息有关的各个领域,成为当代兴起的一门新型学科——地球空间信息学。



第三节 测绘科学在社会发展中的作用

测绘科学是人类认识和研究我们赖以生存的地球的不可缺少的手段。伴随人类文明的不断进步,人类对自己的唯一家园——地球给予了越来越多的关注。人类需要保护地球,推进可持续发展。要关注和探索大区域、或全球性的问题,必须由测绘提供基础数据的支持。地球的形状和大小、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)也需要观测,这些观测将对人类进一步认识地球发挥着不可缺少的作用,要实现这些观测需要测绘技术的支持。

在国家建设中,从发展规划,资源调查、开发与利用,环境保护,城市、交通、水利、能源、通信等任何建设工程,大到正负电子对撞机、核电站的建设,小到新农村的建设,建设工程的全部过程都需要测绘提供保障。

在信息化建设不断推进的今天,国家经济建设的各方面对测绘保障提出了越来越高的要求。要求测绘提供精确、实时的数据资料,并要求提供的地理空间信息数据和专业数据结合,以此推进信息化进程。面向社会公众服务的相关公司和政府部门,也可以通过基于地理空间位置信息的指挥运作系统,来实现及时的服务和最大效率的发挥,如出租车公司的车辆管理,急救、消防的调度管理等。如在物流管理中,地理空间信息数据和相关自动识别技术等结合,以构建零库存和最低物流成本的现代物流管理系统。基于地理空间信息建立的各种专业信息系统,进行信息共享平台的建设,来构建数字城市、数字区域和数字国家。

在国防建设和公众安全保障中,测绘提供准确、及时的定位和相关保障,其作用也在不断地发挥。现代化战争中的精确打击,需要高质量的测绘保障,需要实时的、足够精度的定位数据。战前作战方案的优化制定,作战过程中的战场态势评估及作战指挥,战后评估都需要在测绘获得的地理空间信息的基础上,建立作战指挥系统。人造地球卫星、航天器、远程导弹等,都要随时观测、跟踪、校正飞行轨道,以保证它们精确入轨飞行。在国界勘测中,通过测绘提供的国界线地理空间信息数据则是关系到国家主权和利益的国家重要数据,并且在国际交往和合作中发挥重要作用。在保障公众安全中,借助测绘提供的地理空间信息,可以使警力得到合理的安排,发挥最大的作用。

社会公众出于对个人财产或监控物的动态监控,其财产定位及必要的跟踪需求也开始出现,并且不断增长;个人出游中也需要定位和指向。

在经济社会发展中,特别是在全世界强调人与自然和谐、经济社会可持续发展的今天,政府部门及相关机构越来越需要及时掌握自然与社会经济要素的分布状况及其变化特征,来制定和调整相关的政策,以实现对社会经济发展的最大推动的期望。它们也希望在某种自然、社会危机或者风险事件出现的情况下,能够最及时地获得地理空间信息数据,迅速形成相关的决策和指挥系统,以便提高全社会在防灾减灾方面的效率,将损失降低到最小。

由此,社会政治、经济的发展,使很多的部门和社会组成的各个层面都需要测绘的支持,测绘工作也将发挥越来越重要的作用。

第四节 3S 技术及其发展

近十几年来,随着空间科学技术、计算机技术和信息科学的发展,全球定位系统(GPS)、

遥感(RS)和地理信息系统(GIS)、图形的显示形式等方面都发生了革命性的变化。测绘科学正从模拟走向数字化、信息化,从静态走向动态、三维走向四维,地形图从单一的平面图纸走向动态的3D显示,使之更加直观,从仅向专业部门和单位服务,拓展到逐步向公众服务,测绘成果的价值更加显现。测绘工作效率革命性的提高,使测绘为公众服务成为可能。

全球卫星定位系统 GPS 的英文全称是 Navigation Satellite Timing And Ranging Global Position System,简称 GPS,也被称作 NAVSTAR GPS。其意为“导航卫星测时与测距全球定位系统”,或简称全球定位系统。全球定位系统(GPS)是以卫星为基础的无线电导航定位系统,具有全能性(陆地、海洋、航空和航天)、全球性、全天候、连续性和实时性的导航、定位和定时的功能。能为各类用户提供精密的三维坐标、速度和时间。GPS 是 20 世纪 70 年代美国军方组织开发的原主要用于军事的导航和定位系统,20 世纪 80 年代初开始用于大地测量,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,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和接收机与卫星时差四个未知数。

图 1-1 是全球卫星定位系统 GPS 的基本构架。全球卫星定位系统 GPS 由三部分组成,即空间卫星、地面用户接收机部分和地面控制部分(1 个主控站、3 个注入站、5 个监控测站)。由于 GPS 作业不受气候影响,而且解决了传统测量一些困难和问题,因此被广泛地用于测量工作中。根据其定位误差的特点,利用现代通信技术,已经在技术上有了很大的突破而被广泛应用。

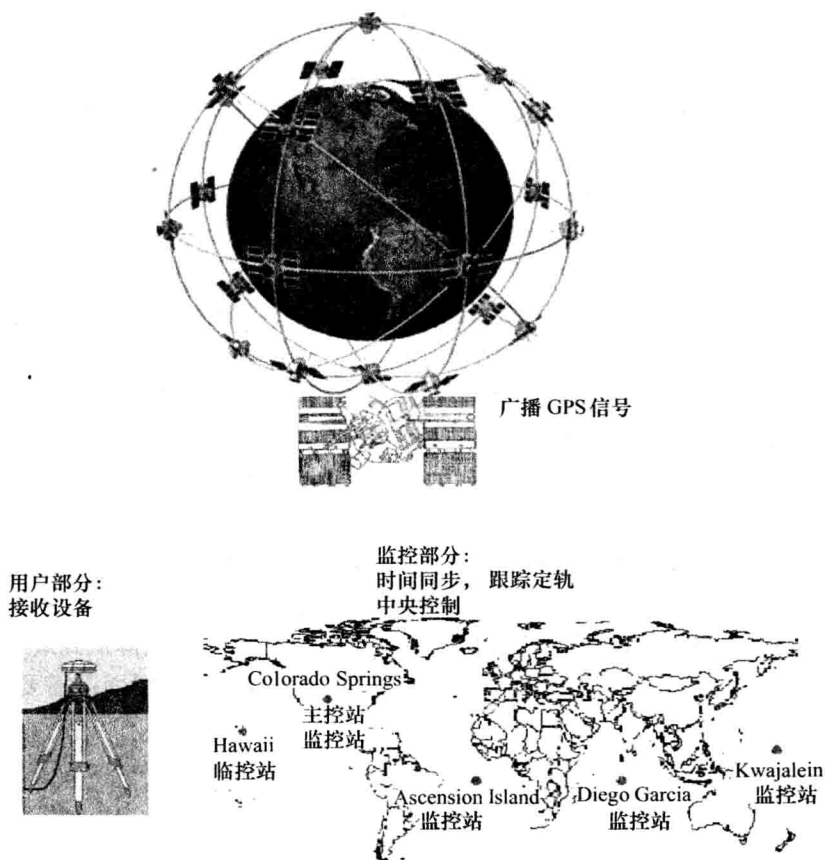


图 1-1 GPS 卫星及卫星系统

广义的 GPS,包括美国 GPS、欧洲伽利略、俄罗斯 GLONASS、中国北斗等全球卫星定位系统,也称全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)。

遥感(RS)就是在一定的平台上,利用电磁波对观察对象的信息进行非接触的感知、采集、分析、识别、揭示其几何空间位置形状、物理性质的特征及相互联系,并用定期的遥感获得所采集的信息的变化规律。由于遥感设备都采用飞机、卫星等高速运转的运载工具,在高空进行,视场大,可在大范围观察采集信息,效率非常高,可以说为全面和及时地动态观察地球提供了技术手段。近年来由于技术的进步,遥感的分辨率不断提高,民用的遥感图片几何分辨率已经到米—分米级,因此应用范围在不断的扩大。

地理信息系统(GIS)是在计算机技术支持下,把采集的各种地理空间信息按照空间分布及属性,进行输入、存储、检索、更新、显示、制图,并提供和其他相关专业的专家系统、咨询系统相结合,以便综合应用的技术系统。通过 GIS 系统,利用互联网可将采集的地理信息数据实现共享,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。从而使采集的地理信息数据得到最大限度的应用。

3S 技术集成是利用 GPS 实时高精度定位,RS 大面积进行遥感,进行处理后产生并提供地理空间信息服务产品,用 GIS 构建地理空间信息服务规范体系,利用 3S 技术集成,利用互联网全面提供地理空间信息服务,推进信息化建设进程中地理空间信息基础数据平台的建设。作为支撑信息化的支柱之一,3S 技术集成是当前国内外的发展趋势,将使测绘工作从地理空间信息数据采集到提供服务的整个流程都发生革命性的变化,使全球性大面积、从静态到动态、快速高效的地理空间信息数据采集、处理、分发和服务得以实现。同时也将使测绘在社会经济发展中的地位得以提高,作用得以发挥,并向地球空间信息科学跨越和融合。

第五节 地球形状与坐标系

一、地球的形状和大小

地球是一个南北稍扁、赤道略鼓(南北略扁于东西)、平均半径约为 6 371 km 的椭球体。测量工作是在地球表面进行的,而地球的自然表面有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。由于地球的自转,其表面的质点除受万有引力的作用外,还受到离心力的影响。地球表面质点所受的万有引力与离心力的合力称为重力,重力的方向称为铅垂线方向,地球的重力方向线即为铅垂线。测量工作取得重力方向的一般方法是,用细线悬挂一个垂球 G ,沿细线向下的方向即为悬挂点 O 的重力方向,通常称它为垂线或铅垂线方向。

如图 1-2 所示,假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围整个地球,形成一个封闭曲面,这个封闭曲面称为水准面。水准面是受地球重力影响形成的,是重力等位面,物体沿该面运动时,重力不做功(如水在这个面上不会流动),其特点是曲面上任意一点的铅垂线垂直于该点的曲面。根据这个特点,水准面也可定义为:处处与铅垂线垂直的连续封闭曲面。由于水准面的高度可

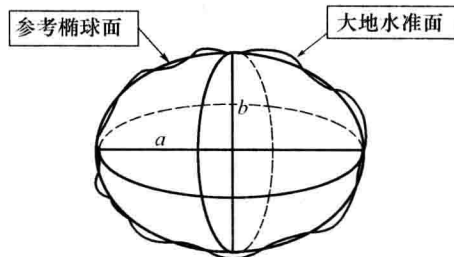


图 1-2 参考椭球体与大地水准面

变,因此,水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面,大地水准面是唯一的。大地水准面围成的空间形体称为大地体。它可以近似地代表地球的形状。

由于地球内部质量分布不均匀以及地球的自转和公转,使得重力受其影响,致使大地水准面成为一个不规则的、复杂的曲面,因此大地体成为一个无法用数学公式描述的物理体。如果将地球表面上的点位投影到大地水准面上,由于它不是数学体面,在计算上是无法实现的。经过长期测量实践数据表明,大地体很近似于一个以赤道半径为长半轴,以地轴为短轴的椭圆,并用短轴为旋转轴,旋转形成的椭球,所以测绘工作取大小与大地体很接近的旋转椭球作为地球的参考形状和大小,如图1-3所示。旋转椭球又称为参考椭球,其表面称为参考椭球面。

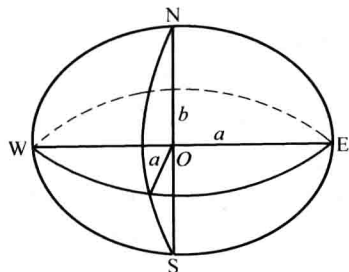


图1-3 参考椭球

我国目前采用的旋转椭球体的参数值为

长半径 $a = 6\,378\,140 \pm 5 \text{ m}$

短半径 $b = 6\,356\,755.288 \text{ m}$

扁率 $\alpha = (a - b)/a = 1/298.257$

由于旋转椭球的扁率很小,测区面积不大时,可以近似地把旋转椭球当作圆球,其平均半径 R 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,其平均半径 R 近似值取 $6\,371 \text{ km}$ 。

若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较为近似的数学式。这样从严格意义上讲,测绘工作是取参考椭球面为测量的基准面,但在实际工作中,以大地水准面作为测量工作的基准面。当对测量成果的要求不十分严格时,则不必改正到参考椭球面上。另一方面,实际工作中又十分容易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为简化了操作和计算工作。因而大地水准面和铅垂线便成为实际测绘工作的基准面和基准线。

二、测量坐标系与地面点位的确定

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置,需要用三个量来确定。在测量工作中,这三个量通常用该点在基准面上的投影位置和该点沿投影方向到基准面的距离来表示。测量工作中,通常用下面几种坐标系来确定地面点位。

1. 地理坐标系

按坐标系所依据的基准线和基准面不同以及求坐标的方法不同,地理坐标系又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

如图1-4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

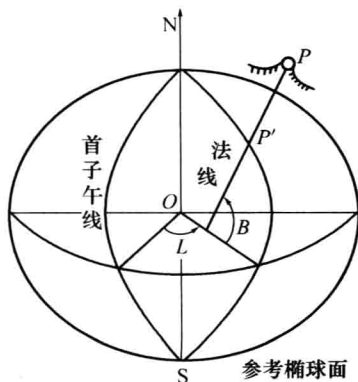


图1-4 大地地理坐标系



地球表面的交线称为子午线。通过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。

如图 1-4 所示,曲面上某一点 P 的法线指的是经过这一点并且与该点切平面垂直的那条直线 PP' (即向量)。以通过地面点位的法线为依据,以参考椭球面为基准面的球面坐标系称为大地地理坐标系,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。某点 P 的大地经度为过 P 点的子午面与首子午面的夹角 L ;某点 P 的大地纬度为通过 P 点的法线与赤道平面的夹角 B 。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。我国于 20 世纪

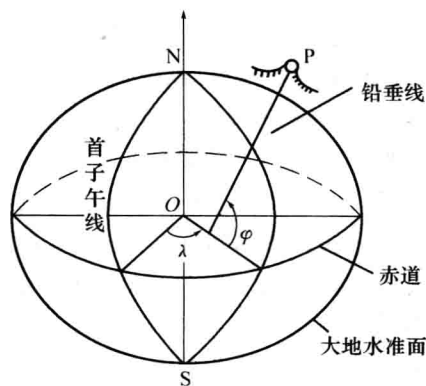


图 1-5 天文地理坐标系

50 年代和 80 年代分别建立了 1954 年北京坐标系 (简称“54 坐标系”) 和 1980 西安坐标系 (简称“80 坐标系”)。限于当时的技术条件,我国大地坐标系基本上是依赖于传统技术手段实现的。54 坐标系采用的是前苏联克拉索夫斯基椭球体,该椭球在计算和定位的过程中,没有采用中国的数据,参考椭球面在我国境内与大地水准面相差较大,最大为 67 m,该系统在我国范围内符合得不好,不能满足高精度定位以及地球科学、空间科学和战略武器发展的需要。20 世纪 80 年代,我国大地测量工作者经过二十多年的艰苦工作,完成了全国一、二等天文大地网的布测。经过整体平差,采用 1975 年 IUGG (国际大地测量和地球物理学联合会) 第十六届大会推荐的参考椭球参数,建立了我国 80 坐标系。54 坐标系和 80 坐标系在我国经济建设、国防建设和科学研究中发挥了巨大作用。但其成果受技术条件制约,精度偏低,无法满足现代技术发展的要求。经国务院批准,根据《中华人民共和国测绘法》,我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系 (简称“2000 坐标系”)。2000 坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现,其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。2000 坐标系采用的地球椭球参数如下:

长半轴 $a = 6\,378\,137\text{ m}$

扁率 $f = 1/298.257\,222\,101$

地心引力常数 $GM = 3.986\,004\,418 \times 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$

自转角速度 $\omega = 7.292\,115 \times 10^{-5}\text{ rad/s}$

如图 1-5 所示,以通过地面点位的铅垂线为依据,以大地水准面为基准面的球面坐标系称天文地理坐标系。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。某点 P 的天文经度为过 P 点的子午面与首子午面的夹角 λ ;某点 P 的纬度为通过 P 点的铅垂线与赤道平面的夹角 φ 。

大地坐标和天文坐标,自首子午线起,向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。自赤道起,向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。例如,北京某点的大地地理坐标为东经 $L = 116^\circ 28'$,北纬 $B = 39^\circ 54'$ 。

2. 高斯投影及平面直角坐标系

高斯投影又称横轴椭圆柱等角投影,它是德国数学家高斯于 1825—1830 年首先提出

的。实际上,直到1912年,由德国的另一位测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式后,这种投影才得到推广,所以该投影又称为高斯-克吕格投影。如图1-6所示,假想有一个椭圆圆柱面横套在地球椭球体外面,并与某一条子午线(此子午线称为中央子午线或轴子午线)相切,椭圆柱的中心轴通过椭球体中心,然后用一定投影方法,将中央子午线两侧一定经差范围内的地区投影到椭圆圆柱面上,再将此柱面展开即成为投影面,如图1-6所示,此投影为高斯投影,高斯投影是正形投影的一种。

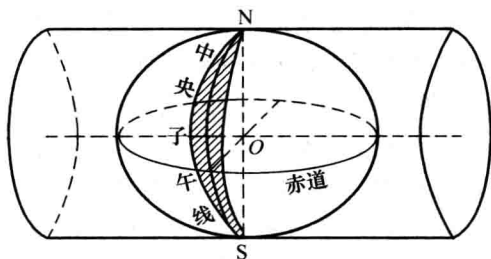


图1-6 横轴椭圆柱等角投影

投影后建立的坐标系如图1-7所示,纵轴为 x 轴,横轴为 y 轴,纵横轴交点 O 为坐标原点, x 轴两侧的弧线为边缘子午线。投影后中央子午线无变形,角度无变形,图形保持相似;投影后离中央子午线越远,投影变形越大。

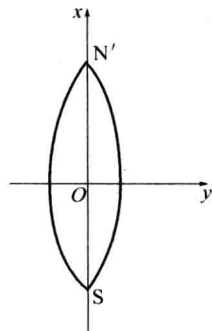


图1-7 高斯投影

当测区范围较小,把地球表面的一部分当作平面看待时,所测得地面点的位置或一系列点所构成的图形,可直接用相似而缩小的方法描绘到平面上去。如果测区范围较大,就不能把地球很大一块地表面当作平面看待,必须采用适当的投影方法来解决这个问题。我国采用的是高斯投影法,并由高斯投影来建立平面直角坐标系。

(1) 高斯投影 6° 分带

如图1-8所示,投影带是从首子午线起,每隔经度 6° 划分一带,称为6带,将整个地球划分成60个带。带号从首子午线起自西向东编,0~6为第1号带,6~12为第2号带……位于各带中央的子午线,称为中央子午线,第1号带中央子午线的经度为 3° ,任意号带中央子午线的经度 λ_0 ,可按式(1-2)计算。

$$\lambda_0 = 6N - 3 \quad (1-2)$$

式中 N —— 6° 带的带号。

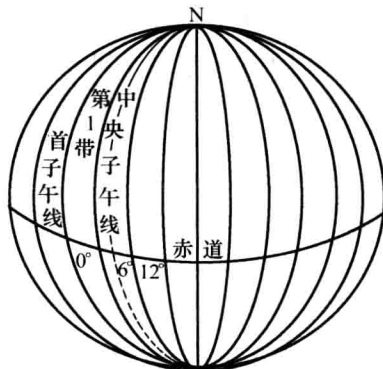


图1-8 6° 分带

我国 6° 带中央子午线的经度,由东经 75° 起,每隔 6° 至 135° ,共计11带即从13带到23带。

(2) 高斯投影 3° 分带

当要求投影变形更小时,可采用 3° 带投影或 1.5° 带投影法。也可采用任意分带法。

如图1-9所示, 3° 带是从经度为 1.5° 的子午线起,以经差每 3° 划分一带,自西向东,将全球分为120个投影带,并依次以1,2,3,...,120标记带号,以 N_3 表示,我国 3° 带共计22带(24~45带)。各投影带的中央子午线经度以 L_3 表示。中央子午线经度 L_3 与其带号 N_3 有下列关系,即

$$L_3 = N_3 \times 3^\circ \quad (1-3)$$

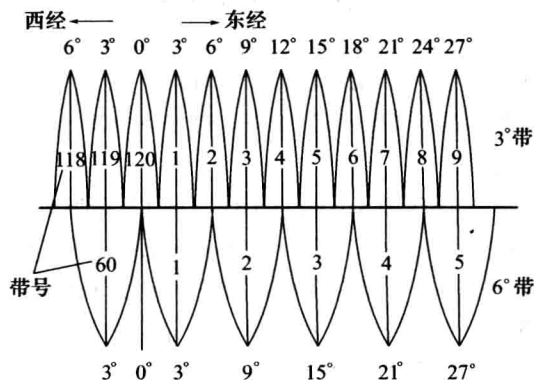


图 1-9 6°带投影与 3°带投影的关系

(3) 高斯平面直角坐标系

如图 1-10 所示,中央子午线和赤道的投影都是直线,并且以中央子午线和赤道的交点 O 作为坐标原点,以中央子午线的投影为纵坐标 x 轴,向北为正,以赤道的投影为横坐标 y 轴,向东为正,四个象限按顺时针顺序 I, II, III, IV 排列。

如图 1-11 所示,我国地理位置在北半球, x 坐标都是正的, y 坐标则有正有负,为了避免 y 坐标出现负值,规定将 x 坐标轴向西平移 500 km,即所有点的 y 坐标均加上 500 km。此外,由于每个投影带都有这样一个坐标相同的点,为说明点所在的投影带,在 y 坐标前再冠之以投影带的带号,这种在 y 坐标值上加了 500 km 和带号后的横坐标称为通用坐标,亦即国家统一坐标。例如,有一点通用坐标 $y = 19\ 123\ 456.789$ m,该点位于 19 带内,其相对于中央子午线而言的横坐标则是:首先去掉带号,再减去 500 000 m,最后得自然坐标 $y = -376\ 543.211$ m。

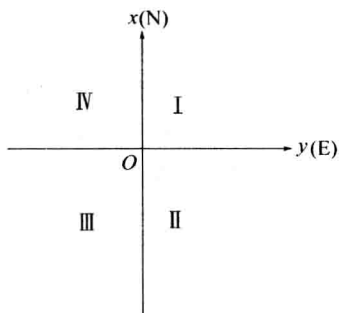


图 1-10 高斯平面直角坐标

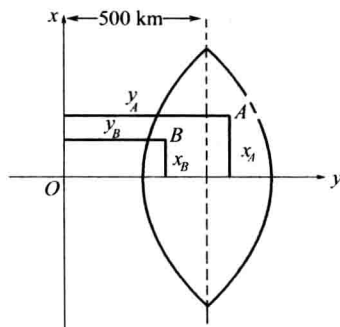


图 1-11 坐标原点西移后的高斯平面直角坐标

例 1-1 某点在中央子午线的经度为 117° 的 6° 投影带内,且位于中央子午线以西 1 006.45 m,求该点横坐标的自然值和通用值。

解 ①该 6° 带的中央子午线的经度为 117° ,则该带的带号为

$$N = (117 + 3) \div 6 = 20 (\text{带})$$

②该点位于中央子午线以西 1 006.45 m,所以该点横坐标的自然值为 $-1\ 006.45$ m。

③依据通用值 = [带号] + 500 km + 自然值,该点的横坐标通用值为 20 498 993.55。

例 1-2 已知某点的坐标为 (3 325 748.046, 37 581 245.498)。求:该点是在几度投影