

全国水利水电高职教研会 规划推荐教材
中国高职教研会水利行业协作委员会

高职高专土建类专业系列教材

建筑工程测量

(第二版)

主 编 蓝善勇 周小莉
朱 林 周 波



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国水利水电高职教研会
中国高职教研会水利行业协作委员会

规划推荐教材

高职高专土建类专业系列教材

建筑工程测量

(第二版)

主 编 蓝善勇 周小莉
朱 琳 周 波
副主编 曹志勇 王玉振
刘 凯 张 凌
魏垂场



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材共分 15 章,第 1 章至第 4 章主要介绍测量学的基本知识、测量仪器的基本使用方法和测量的基本工作;第 5 章介绍全站仪测量;第 6 章介绍测量误差的基本知识及计算方法;第 7 章介绍小区域平面和高程控制测量的建立、施测和计算方法;第 8 章至第 10 章介绍地形图的基本知识、大比例尺地形图的传统测绘方法与数字测图方法、地籍调查与地籍测量基本方法、纸质地形图应用的基本内容和在工程建设中的应用及数字地形图的应用方法;第 11 章至第 14 章介绍施工测量的基本工作、工业与民用建筑施工测量和工程建筑物的变形观测;第 15 章介绍 GPS 测量的基本原理、操作和 GPS 控制测量的要求、布网的形式及 RTK—GPS 测量方法。

本教材可作为建筑工程、建筑结构、环境工程、土地管理、工程造价、工程管理、给排水工程等专业的工程测量教学用书,也可供城市建设、管理等专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量 / 蓝善勇等主编. -- 2版. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2015.7
高职高专土建类专业系列教材
ISBN 978-7-5170-3281-6

I. ①建… II. ①蓝… III. ①建筑测量—高等职业教
育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第138682号

书 名	高 职 高 专 土 建 类 专 业 系 列 教 材 全 国 水 利 水 电 高 职 教 研 会 规 划 推 荐 教 材 中 国 高 职 教 研 会 水 利 行 业 协 作 委 员 会 建筑工程测量 (第二版)
作 者	主 编 蓝 善 勇 周 小 莉 朱 林 周 波
出 版 发 行	中 国 水 利 水 电 出 版 社 (北 京 市 海 淀 区 玉 渊 潭 南 路 1 号 D 座 100038) 网 址 : www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电 话 : (010) 68367658 (发行部)
经 售	北 京 科 水 图 书 销 售 中 心 (零 售) 电 话 : (010) 88383994、63202643、68545874 全 国 各 地 新 华 书 店 和 相 关 出 版 物 销 售 网 点
排 版	中 国 水 利 水 电 出 版 社 微 机 排 版 中 心
刷 印	北 京 瑞 斯 通 印 务 发 展 有 限 公 司
规 格	184mm×260mm 16 开 本 22 印 张 522 千 字
版 次	2007 年 3 月 第 1 版 2007 年 3 月 第 1 次 印 刷 2015 年 7 月 第 2 版 2015 年 7 月 第 1 次 印 刷
印 数	0001—1000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

第二版前言

本教材是在中国水利水电出版社 2007 年出版的《建筑工程测量》的基础上,对内容进行了修改后编写而成的。

2012 年 7 月,全国水利水电高职教研会建筑工程类专业组会议在成都召开,这次会议对过去几年出版的相关教材,认真地总结了经验与教训。会议认为随着现代科学技术的飞速发展,原来编写的教材有些内容已不再适应时代的要求,本次会议启动了第二轮“土建专业系列规划教材”的编写计划。本教材在编写中力求做到,在内容安排上更多地体现近年来的科学技术新成就、新技术、新工艺、新规范的应用;结合高职、高专学生的培养目标和学生的特点,在教学方法上,通过理论与实际相结合,以实现教、学、做一体化。本教材内容新颖、图文并茂,遵循由浅到深、由易到难、由简单到复杂这样一个循序渐进的普遍规律,用更多具体的案例去阐述理论问题,用具体的任务训练学生的能力,以便于学生学习与教师组织教学,有利于学生掌握测量理论知识和全面提高学生的实践能力。

本教材由蓝善勇、周小莉、朱林、周波担任主编,曹志勇、王玉振、刘凯、张凌、魏垂场担任副主编。具体分工是:广西水利电力职业技术学院蓝善勇编写第 2 章;四川水利职业技术学院周小莉编写第 13 章和第 14 章并对全书进行校核;安徽水利水电职业技术学院朱林编写第 9 章;杨凌职业技术学院周波编写第 10 章;河北技术高等专科学校曹志勇编写第 11 章;河南水利与环境职业学院王玉振编写第 12 章;广西水利电力职业技术学院刘凯编写第 6 章;湖南水利水电职业技术学院张凌编写第 15 章;福建水利电力职业技术学院魏垂场编写第 8 章;山西水利职业技术学院张艳华编写第 1 章;杨凌职业技术学院杨旭江编写第 3 章;黄河水利职业技术学院杨峰编写第 7 章;安徽水利水电职业技术学院王丽娟编写第 5 章;广西水利电力职业技术学院蒋喆编写第 4 章。全书由蓝善勇统一审核修改定稿。

全国水利水电高职教研会建筑工程类专业组的张迪教授、王付全教授、满广生教授及中国水利水电出版社教育分社领导对教材的编写给予了具体的指导,全国水利职业院校的

同行专家也提出了许多宝贵的修改意见，在此谨对他们以及教材中参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于科学技术的发展，高职、高专教学改革的不深入，以及编者水平有限，不妥和不足之处在所难免，热忱希望使用本教材的各院校教师和读者提出宝贵意见，对书中的缺点和错误给予批评指正。

编 者

2015 年 6 月

第一版前言

本教材根据 2005 年昆明“全国高职高专水利水电建筑类精品规划教材编审会议”的安排和要求,以及教学大纲编写出教材编写大纲,并在 2006 年长沙会议上各校教师进行充分讨论和交流的基础上进行编写。在编写中注意到高职高专教学的特点,在内容安排上力求理论与实际相结合,避免冗长的公式推导过程,并简要地介绍了电子水准仪、电子全站仪和 GPS 测量新技术。

本教材由广西水利电力职业技术学院蓝善勇担任主编,黄河水利职业技术学院靳祥升和福建水利电力职业技术学院徐启杨担任副主编。山西水利职业技术学院张艳华编写第 1 章和第 9 章;广西水利水电职业技术学院蓝善勇编写第 2 章和第 4 章;杨凌职业技术学院杨旭江编写第 3 章;黄河水利职业技术学院靳祥升编写第 5 章和第 6 章;福建水利电力职业技术学院徐启杨编写第 7 章和第 8 章;四川水利职业技术学院汪中银编写第 10 章和第 13 章;华北水电学院职业学院王郑睿编写第 11 章;安徽水利水电职业技术学院张晓战编写第 12 章和第 14 章;湖南水利水电职业技术学院刘天林编写第 15 章。全书由蓝善勇统稿。

随着高职高专教学改革的不深入,测绘科学技术的迅猛发展,对高职高专学生的培养要求不断提高,编写一本完全适应社会发展要求的高职高专教材,难度较大。由于编者的水平有限,热忱希望使用本教材的教师和读者提出宝贵意见,对书中的缺点和错误给予批评指正。

编 者

2006 年 12 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 测量的基本知识	1
1.1 测量学的研究对象及建筑工程测量的任务	1
1.2 测量工作的基准面和基准线	3
1.3 地面点位置的表示方法	5
1.4 在测量工作中用水平面代替水准面的限度	9
1.5 测量工作概述	12
1.6 测量工作常用计量单位	14
实训与习题	15
第 2 章 水准仪及水准测量	17
2.1 水准测量原理	17
2.2 水准测量的仪器和工具	18
2.3 水准仪的使用方法及注意事项	22
2.4 水准测量的方法	24
2.5 水准测量成果计算	28
2.6 水准仪的检验与校正	34
2.7 水准测量误差及消减方法	38
2.8 自动安平水准仪和电子水准仪简介	39
实训与习题	42
第 3 章 经纬仪及角度测量	45
3.1 角度测量的原理	45
3.2 DJ6 型光学经纬仪	46
3.3 DJ6 型光学经纬仪的使用方法	48
3.4 水平角观测	52
3.5 竖直角观测	57
3.6 经纬仪的检验与校正	61
3.7 角度测量的误差及消减方法	64
3.8 电子经纬仪简介	69
实训与习题	71

第4章 距离测量和直线定向	74
4.1 钢尺量距	74
4.2 视距测量	82
4.3 直线定向	85
4.4 坐标方位角的推算	87
4.5 距离、方位角与地面点直角坐标的关系	89
4.6 用罗盘仪测定直线磁方位角	91
实训与习题	92
第5章 全站仪测量	94
5.1 概述	94
5.2 全站仪结构	95
5.3 全站仪按键功能	98
5.4 全站仪测量模式	99
5.5 全站仪使用方法	101
实训与习题	135
第6章 测量误差的基本知识	137
6.1 测量误差概述	137
6.2 算术平均值原理及计算	139
6.3 衡量测量精度的标准	141
6.4 观测值的中误差计算	143
实训与习题	149
第7章 小区域控制测量	151
7.1 平面控制测量	151
7.2 高程控制测量	163
实训与习题	170
第8章 地形图的基本知识	173
8.1 地形图概述	173
8.2 地形图的比例尺	174
8.3 地形图的图式	175
8.4 地形图的图廓外注记	180
8.5 地形图的分幅与编号	182
实训与习题	184
第9章 大比例尺地形图的测绘	185
9.1 地理信息与地理空间数据	185
9.2 传统测图方法简介	185
9.3 数字化测图方法	191

9.4	数字化测图的组成	192
9.5	数字化测图的特点	192
9.6	控制测量	193
9.7	地面数字测图	193
9.8	地籍测量简介	206
	实训与习题	209
第 10 章	地形图的应用	210
10.1	地形图的基本应用	210
10.2	面积量算	212
10.3	地形图在工程建设中的应用	214
10.4	地形图在平整土地中的应用	216
10.5	数字地形图的应用	219
	实训与习题	231
第 11 章	施工测量的基本工作	234
11.1	施工测量概述	234
11.2	施工测量的基本工作	235
11.3	测设地面点平面位置的基本方法	239
11.4	测设已知坡度线	243
11.5	圆曲线的测设方法	245
	实训与习题	252
第 12 章	工业与民用建筑施工测量	253
12.1	建筑场地施工控制测量	253
12.2	民用建筑施工测量	259
12.3	工业厂房施工测量	271
12.4	烟囱施工测量	277
	实训与习题	279
第 13 章	管道工程测量	280
13.1	概述	280
13.2	中线测设	280
13.3	纵、横断面测量	282
13.4	管道施工测量	284
	实训与习题	288
第 14 章	建筑物的变形观测和竣工测量	289
14.1	概述	289
14.2	建筑物的沉降观测	292
14.3	建筑物的水平位移观测	299

14.4	建筑物裂缝观测	303
14.5	建筑物的倾斜观测	304
14.6	工程竣工测量	308
	实训与习题	312
第 15 章	GPS 测量原理与应用	313
15.1	概述	313
15.2	卫星运动及卫星信号	316
15.3	GPS 的坐标系统及时间系统	318
15.4	GPS 定位原理	322
15.5	GPS 测量的误差来源及其影响	326
15.6	GPS 控制测量	329
15.7	华测 X 系列 GNSS 接收机 RTK 操作说明	332
	实训与习题	340
	参考文献	341

第1章 测量的基本知识

学习目标:

通过本章的学习,了解测量学的研究对象及建筑工程测量的任务、用水平面代替水准面的限度;理解测量工作的基准面与基准线、测量的基本工作与测量工作必须遵守的原则;熟悉常见计量单位及其换算关系;掌握地面点位的表示方法、坐标系统和高程系统。

1.1 测量学的研究对象及建筑工程测量的任务

1.1.1 测量学研究对象

测量学是研究整个地球的形状及大小和确定地球表面点位关系的一门学科。其研究的对象主要是地球和地球表面上的各种物体,包括它们的几何形状及其空间位置关系,目的是为人们的日常生活服务,并为人们认识自然和改造自然提供有效的工具。

实际上,随着测量工具及数据处理方法的改进,测量的研究范围已远远超过地球表面这一范畴,20世纪60年代人类已经对太阳系的行星及其所属卫星的形状、大小进行了制图方面的研究。测量学的服务范围也从单纯的工程建设扩大到地壳的变化、高大建筑物的监测、交通事故的分析、大型粒子加速器的安装等。

1.1.2 测量学的学科分类

测量学是一门综合性的学科,根据其研究对象和工作任务的不同可以分为大地测量学、地形测量学、摄影测量学与遥感、工程测量学以及制图学等学科分支。

研究对象若是较大范围的区域,甚至整个地球,就需要考虑地球曲率。这种以广大地区为研究对象的学科称为大地测量学。大地测量学的主要任务是研究地球及外层星体的形状、大小、重力场及其随时间变化的理论和方法,与地球科学和天文学有紧密的联系。

地形测量的研究对象是小范围的区域,由于地球半径很大,就可以把球面当成平面而不考虑地球曲率。地形测量的主要任务是研究较小区域的测绘技术、理论方法、成图与应用等。

摄影测量学与遥感是利用摄影或遥感技术来研究地表的形状和大小的一门学科。其主要任务是测制各种比例尺的地形图,建立地形数据库并为各种地理信息系统和土地信息系统提供基础数据。

工程测量学是研究各种工程在规划设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科。其主要任务包括这三个阶段所进行的各种测量工作。

制图学是利用测量所得的资料,研究如何编绘成图以及地图制作的理论、方法和应用等方面的科学。

测量学各门分支学科之间相互渗透、相互补充、相辅相成。本课程主要讲述地形测量学与工程测量学的部分内容。主要介绍工业与民用建筑工程中常用的测量仪器的构造与使



用方法,小区域大比例尺地形图的测绘及应用,建筑物和管道工程的施工测量、高大建筑物变形监测,以及测量新技术的介绍。

1.1.3 测量学的发展概况

我国是世界文明古国,由于生活和生产的需要,测量工作开始得很早。春秋战国时编制了四分历,一年为 365.25 日,与罗马人采用的儒略历相同,但比其早四五百年。南北朝时祖冲之所测的朔望月为 29.530588 日,与现今采用的数值只差 0.3s。宋代杨忠辅编制的《统天历》,一年为 365.2425 日,与现代值相比,只有 26s 误差。之所以能取得这样的准确数据,在于公元前 4 世纪就已创制了浑天仪,用它来测定天体的坐标入宿度和去极度。汉代张衡改进了浑天仪,并著有《浑天仪图注》。元代郭守敬改进浑天仪为简仪。用于天文观测的仪器还有圭、表和复矩。用以计时的仪器有漏壶和日晷等。在地图测绘方面,由于行军作战的需要,历代统治者都很重视。目前见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。周代地图使用很普遍,管理地图的官员分工很细。现在能见到的最早的古地图是长沙马王堆三号墓出土的公元前 168 年陪葬的古长沙国地图和驻军图,图上有山脉、河流、居民地、道路和军事要素。西晋时裴秀编制了《禹贡地域图》和《方丈图》,并创立了地图编制理论——《制图六体》。此后历代都编制过多种地图,其中比较著名的有:南北朝时谢庄创制的《木方丈图》;唐代贾耽编制的《关中陇右及山南九州等图》及《海内华夷图》;北宋时的《淳化天下图》;南宋时石刻的《华夷图》和《禹迹图》(现保存在西安碑林);元代朱思本绘制的《舆地图》;明代罗洪先绘制的《广舆图》;明代郑和下西洋绘制的《郑和航海图》;清代康熙年间绘制的《皇舆全览图》;1934 年,上海申报馆出版的《中华民国新地图》等。我国历代能绘制出较高水平的地图,是与测量技术的发展有关联的。我国古代测量长度的工具有丈杆、测绳(常见的有地钯、云钯和均高)、步车和记里鼓车;测量高程的仪器工具有矩和水平(水准仪);测量方向的仪器有望筒和指南针(战国时期利用天然磁石制成指南工具——司南,宋代出现人工磁铁制成的指南针)。测量技术的发展与数理知识紧密关联。公元前问世的《周髀算经》和《九章算术》都有利用相似三角形进行测量的记载。三国时魏人刘徽所著的《海岛算经》,介绍利用丈杆进行两次、三次甚至四次测量(称重差术),求解山高、河宽的实例,大大促进了测量技术的发展。我国古代的测绘成就,除编制历法和测绘地图外,还有唐代在僧一行的主持下,实量了从河南白马,经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度,得出子午线一度的弧长为 132.31km,为人类正确认识地球作出了贡献。北宋时沈括在《梦溪笔谈》中记载了磁偏角的发现。元代郭守敬在测绘黄河流域地形图时,“以海面较京师至汴梁地形高下之差”,是历史上最早使用“海拔”观念的人。清代为统一尺度,规定二百里合地球上经线 1° 的弧长,即每尺合经线上百分之一秒,一尺等于 0.317m。

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统和高程系统;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;完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;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等工程的精确放样和设备安装测量。出版发行了地图 1600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造



方面,从无到有,现在不仅能生产系列的光学测量仪器,还研制成功了各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。测绘人才培养方面,已培养出各类测绘技术人员数万名,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,例如由我国自主研发、独立运行的北斗卫星导航系统,现已全面提供连续导航定位与授时服务;地理信息系统方面,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室建成并投入使用。这说明我国目前的测绘科技水平,虽与国际先进水平相比,还有一定的差距,但只要发愤图强、励精图治,是能迅速赶上和超过国际测绘科技水平的。

1.1.4 建筑工程各阶段的测量任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它是研究建筑工程在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的理论、技术和方法的学科。

1. 测绘大比例尺地形图

民用建筑、工业厂房及各种市政工程在勘测设计、施工和运营管理各阶段都需要用到地形图和其他测量工作。例如在居民住宅小区勘测设计阶段,首先测绘该地区大比例尺地形图,然后设计人员在大比例尺现状图上进行拟建建筑物、道路、管线等的初步设计与详细设计。

2. 施工放样与竣工测量

施工放样的任务是将图纸上设计的建筑物、构筑物的平面位置与高程按设计要求,以一定的精度在实地标定出来,作为施工的依据。对于相当多的工程,施工规范中没有具体的测量精度的规定,必须根据建筑物、构筑物的施工允许误差的大小来确定测量精度。工程完工后,还需要进行大比例尺规划验收竣工测量。竣工测量主要是实测建设工程的现状地形图,建筑物的长度、宽度、高度、建筑面积,在现状地形图上标注建筑物与规划控制条件地物的距离,标注建筑物与道路红线、规划红线、用地界线等关系。

3. 建筑物的变形监测

在工程的运营管理阶段,主要的测量工作是对工程建筑物或构筑物进行变形观测,了解建筑物或构筑物的安全和运营情况,验证设计理论的正确性,需要定期地对工程建筑物进行位移、沉降、倾斜、裂缝、挠度等方面的变形监测。反过来,变形监测的数据也可以指导进行下一个相似工程的设计。

可见测量工作贯穿于工程建设的整个过程,测量工作的质量直接关系到工程建设的速度和质量。所以,每一位从事工程建设的人员,都必须掌握必要的测量知识和技能,而且要有高度的责任心。

1.2 测量工作的基准面和基准线

1.2.1 地球的形状和大小

人们对地球的形状有一个漫长的认识过程。古代东西方人由于受到生产力水平的限制,视野比较狭窄,所以认为天是圆的地是方的,即所谓的“天圆地方”。

公元前古希腊时期,有人提出地球是一个圆球。公元1522年,麦哲伦及其伙伴完成

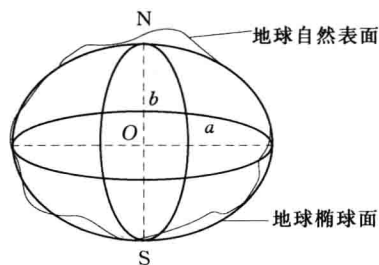


图 1.2.1 地球椭球体

绕地球一周以后,才确立了地球为球体的认识。17世纪末,牛顿研究了地球自转对地球形态的影响,从理论上推测地球不是一个很圆的球形,而是一个赤道处略为隆起、两极略为扁平的椭球体,如图 1.2.1 所示。

测量工作是在地球表面进行的,然而这个表面是起伏不平的,有 20000m 的高度悬殊。其中我国西藏与尼泊尔交界处的珠穆朗玛峰高达 8844.43m,而在太平洋西部的马里亚纳海沟深达 11022m。尽管有这样大的

高低起伏,但相对于庞大的球体来说有些情况下仍可以忽略不计。

1.2.2 基准面和基准线

经过长期的考察和测量,了解到地球的 71% 被海洋所覆盖,因此人们把地球形状看成是被海水包围的球体。可以把球面设想成一个静止的海水面向陆地延伸而形成的一个封闭的曲面。这个处于静止状态的海水面就叫做水准面。由于海水有潮汐,所以取其平均的海水面作为地球的形状和大小的标准。在测量上把这个平均海水面称为大地水准面,即测量工作的基准面,测量工作就是在这个面上进行的。大地水准面所包围的形体叫做地体。

静止的水准面要受到重力的作用,所以水准面的特性就是处处与铅垂线正交。由于地球内部不同密度物质的分布不均匀,铅垂线的方向是不规则的,因此,大地水准面也是不规则的曲面。测量工作获得铅垂线方向通常是用悬挂垂球的方法,而这条垂线方向即为测量工作的基准线。大地水准面是个不规则的曲面,在这个面上是不便于建立坐标系和进行计算的,所以要寻求一个规则的曲面来代替大地水准面。经过长期的测量实践证明,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相似,而旋转椭球是可以用来表达的。这个旋转椭球可作为地球的参考形状和大小,故称为参考椭球体。

我国目前所采用的参考椭球体坐标原点在陕西省泾阳县永乐镇,称为国家大地原点。其基本元素是:

长半轴 $a=6378140\text{m}$, 短半轴 $b=6356755\text{m}$, 扁率 $\alpha=(a-b)/a=1/298.257$ 。

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 1.2.1 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 年国家大地坐标系采用的是 1975 国际椭球。

表 1.2.1

几个常用椭球参数

椭球名称	长半轴 a /m	短半轴 b /m	扁率 α	计算年代和国家	备 注
贝塞尔	6377397	6356079	1 : 299.152	1841 年, 德国	
海福特	6378388	6356912	1 : 297.0	1910 年, 美国	1942 年国际第一个推荐值
克拉索夫斯基	6378245	6356863	1 : 298.3	1940 年, 前苏联	中国 1954 年北京坐标系采用
1975 国际椭球	6378140	6356755	1 : 298.257	1975 年, 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 年, 国际第四个推荐值	美国 GPS 采用



由于参考椭球的扁率很小，在小区域的普通测量中可将地（椭）球看作圆球，其半径 $R=6371\text{km}$ 。

1.3 地面点位置的表示方法

1.3.1 地面点的坐标

坐标系的种类有很多，下面介绍几种工程测量中常用的坐标系。

1.3.1.1 地面点的地理坐标

在图 1.3.1 中，NS 为椭球的旋转轴，N 表示北极，S 表示南极。通过椭球旋转轴的平面称为子午面，而其中通过格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午圈。通过椭球中心且与椭球旋转轴正交的平面称为赤道。其他平面与椭球旋转轴正交，但不通过球心，这些平面与椭球面相截所得的曲线称为纬圈。

在测量工作中，点在椭球面上的位置用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。所谓大地经度，就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角；大地纬度是指过某点的法线与赤道面的交角。以大地经度 L 和大地纬度 B 表示某点位置的坐标系称为大地坐标系。

比如北京的地理坐标可表示为东经 $116^{\circ}28'$ 、北纬 $39^{\circ}54'$ 。

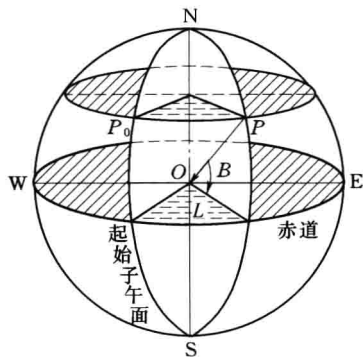


图 1.3.1 大地坐标系

1.3.1.2 地面点的平面直角坐标

1. 地面点的高斯平面直角坐标

当测区范围较大时，不能把球面的投影面看成平面，必须采用投影的方法来解决这个问题。投影的方法有很多种，测量工作中常采用的是高斯投影。它是假想一个圆柱横套在地球椭球体上，使其与某一条经线相切，用解析法将椭球面上的经纬线投影到圆柱面上，然后将圆柱展开成平面，即获得投影后的图形，其中的经纬线互相垂直。

(1) 高斯投影的分带。高斯投影将地球分成很多带，然后将每一带投影到平面上，目的是为了限制变形。带的宽度一般分为 6° 、 3° 和 1.5° 等几种，简称 6° 带、 3° 带、 1.5° 带，如图 1.3.2 所示。

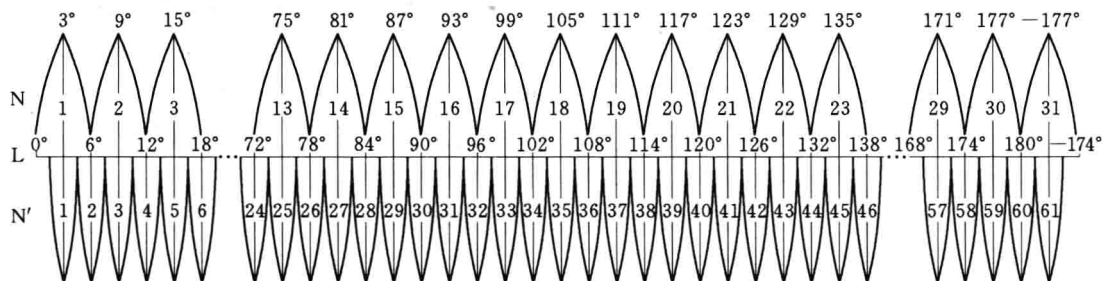


图 1.3.2 高斯平面分带示意图



6°带投影是从零度子午线起,由西向东,每6°为一带,全球共分60带,分别用阿拉伯数字1、2、3、…、60编号表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。每带的中央子午线的经度与带号有如下关系:

$$L = 6^\circ N - 3 \quad (1.3.1)$$

式中 N ——带号;

L ——6°带中央子午线的经度。

因高斯投影的最大变形在赤道上,并随经度的增大而增大,6°带的投影只能满足1:2.5万比例尺的地图,要得到更大比例尺的地图,必须限制投影带的经度范围。

3°带投影是从1°30'子午线起,由西向东,每3°为一带,全球共分120带,分别用阿拉伯数字1、2、3、…、120编号表示。3°带的中央子午线的经度与带号有如下关系:

$$L' = 3^\circ N' \quad (1.3.2)$$

式中 N' ——带号;

L' ——3°带中央子午线的经度。

另外,根据某点的经度也可以计算其所在的6°带和3°带的带号,公式为

$$N = [L/6] + 1 \quad (1.3.3)$$

$$N' = [L/3 + 0.5] \quad (1.3.4)$$

式中 N 、 N' ——6°和3°带的带号;

L ——某点的经度, (°);

[]——取整。

【例 1.3.1】 我国某点 A 地理坐标为东经 118.6°、北纬 56.5°, 求该点分别在 6°和 3°带中的带号和中央子午线的经度。

解: 1. 计算 6°带带号及中央子午线经度:

$$N = [L/6] + 1 = [118.6/6] + 1 = 20 (\text{带})$$

$$L = 6^\circ N - 3 = 6^\circ \times 21 - 3 = 117^\circ$$

2. 计算 3°带带号及中央子午线经度:

$$N' = [L'/3 + 0.5] = 40 (\text{带})$$

$$L' = 3^\circ N' = 120^\circ$$

即 A 点所在 6°带号为 20, 其中央子午线经度为 117°; 所在 3°带的带号为 40, 中央子午线的经度是 120°。

(2) 高斯平面直角坐标系的建立。假想将一个横椭圆柱体套在椭球外, 使横椭圆柱的轴心通过椭球中心, 并与椭球面上某投影带的中央子午线相切, 将中央子午线附近椭球面上的点投影到横椭圆柱面上, 然后顺着过南北极母线将椭圆柱面展开为平面, 这个平面称为高斯投影平面。在高斯投影平面上, 中央子午线投影后为 X 轴, 赤道投影为 Y 轴, 两轴交点为坐标原点, 构成分带的独立的高斯平面直角坐标系, 如图 1.3.3 所示。

我国位于北半球, X 坐标值全为正值, 而 Y 坐标值有正有负。为避免计算中因负值而出现错误, 规定纵坐标轴向西平移 500km, 这样全部横坐标值均为正值。此时中央子午线的 Y 值不是 0 而是 500km。

例如, 第 17 投影带中的某点, 横坐标为 -148478.6m。横坐标轴向西平移 500km



后, 则 Y 值为 $-148478.6 + 500000 = 351521.4(\text{m})$ 。实际上则写为 17351521.4, 最前面的 17 代表带号, 就能区别它位于哪个带内。

我国国土范围在东西方向上大致分布在东经 70° 到东经 135° 间, 因此, 6° 带在 12~23 带内, 3° 带在 24~45 带内。

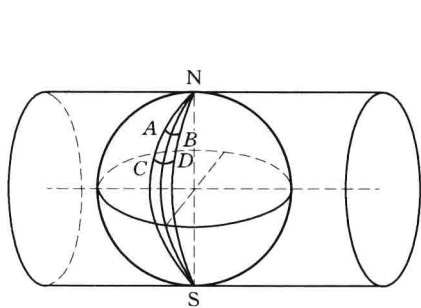


图 1.3.3 高斯平面直角坐标系

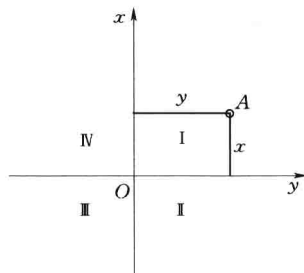
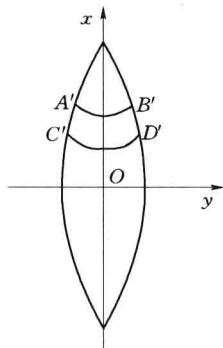


图 1.3.4 平面直角坐标系

2. 地面点的独立平面直角坐标

在小区域内进行测量工作若采用地理坐标来表示地面点的位置是不方便的, 通常采用平面直角坐标 (图 1.3.4)。

当研究小范围地面形状和大小, 可把球面的投影面看成平面。测量工作中所用的平面直角坐标与解析几何中所介绍的基本相同, 只是测量工作以 X 轴为纵轴, 用来表示南北方向。这是由于在测量工作中表示方向时以北方向为标准按顺时针方向计算角度。此外, 为使平面三角函数公式都同样能在测量计算中应用, 象限是按顺时针方向编号的。

为使用方便, 测量上的坐标原点有时是假设的, 通常坐标原点选在测区的西南角, 使各点坐标为正值。

1.3.1.3 CGCS2000

新中国成立以来, 我国于 20 世纪 50 年代和 80 年代分别建立了 1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系, 测制了各种比例尺地形图, 在国民经济、社会发展和科学研究中发挥了重要作用。这两个坐标系都是根据与局部大地水准面最为拟合的参考椭球定位的参心大地坐标系。限于当时的技术条件, 中国大地坐标系基本上是依赖于传统技术手段实现的, 精度还偏低, 无法满足当前与今后空间技术的发展要求。近年来, 伴随全球卫星定位系统等现代空间大地测量技术的迅猛发展, 国际上定位技术与方法的迅速变革, 地心坐标系及其框架正逐渐取代非地心大地坐系统及其框架。2008 年 7 月, 我国正式启动了 2000 国家大地坐标系, 即 CGCS2000 坐标系, 它标志着我国大地基准迈入了现代大地坐标系行列。

CGCS2000 坐标系的原点在地心, 是包括海洋和大气的整个地球的质量中心, 初始定向由 1984.0 时国际时间局定向给定, Z 轴为国际地球旋转局 (IERS) 参考极方向, X 轴为 IERS 的参考子午面与垂直于 Z 轴的赤道面的交线, Y 轴与 Z 轴和 X 轴构成右手正交坐标系。

参考椭球采用 2000 参考椭球, 其定义常数如下: