

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 ●

主 编 蓝善勇

副主编 靳祥升 徐启杨



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

主 编 蓝善勇

副主编 靳祥升 徐启杨



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是全国高职高专土建类专业统编教材,共15章。第1章至第4章主要介绍测量学的基本知识、测量仪器的使用和测量的基本工作;第5章介绍测量误差的基本知识及计算方法;第6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7章至第9章介绍地形图的基本知识、大比例尺地形图的测绘、地形图应用的基本内容和在工程建设中的应用及土地面积计算;第10章至第13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14章介绍全站仪测量;第15章介绍GPS测量的基本原理。

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材,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/蓝善勇主编. —北京:中国水利水电出版社, 2007

(高职高专土建类专业系列教材)

ISBN 978-7-5084-4389-8

I. 建… II. 蓝… III. 建筑测量—高等学校:技术学校—教材 IV. TU198

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第020279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
作 者	主 编 蓝 善 勇 副 主 编 靳 祥 升 徐 启 扬
出版 发行	中 国 水 利 水 电 出 版 社 (北 京 市 三 里 河 路 6 号 100044) 网 址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电 话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北 京 科 水 图 书 销 售 中 心 (零 售) 电 话: (010) 88383994、63202643 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
印 刷	北 京 市 兴 怀 印 刷 厂
规 格	787mm×1092mm 16 开 本 18.5 印 张 439 千 字
版 次	2007 年 3 月 第 1 版 2007 年 3 月 第 1 次 印 刷
印 数	0001—4000 册
定 价	31.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

高职高专土建类专业系列教材

编 审 委 员 会

主 任 孙五继

副主任 罗同颖 史康立 刘永庆 张 健 赵文军 陈送财

编 委 (按姓氏笔画排序)

马建锋	王 安	王付全	王庆河	王启亮	王建伟
王培风	邓启述	包永刚	田万涛	刘华平	汤能见
佟 颖	吴伟民	吴韵侠	张 迪	张小林	张建华
张思梅	张春娟	张晓战	张漂清	李 柯	汪文萍
周海滨	林 辉	侯才水	侯根然	南水仙	胡 凯
赵 喆	赵炳峰	钟汉华	凌卫宁	徐凤永	徐启杨
常红星	黄文彬	黄伟军	董 平	董千里	满广生
蓝善勇	靳祥升	颜志敏			

秘书长 张 迪 韩月平

前言

本教材是全国高职高专土建类专业统编教材，是根据 2005 年昆明“全国高职高专建筑工程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；广西水利电力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仁银编写第 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也就越来越高，要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

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的研究对象及建筑工程测量学的任务	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	8
1.5 测量工作概述	10
习题	11
第 2 章 水准仪及水准测量	12
2.1 水准测量原理	12
2.2 水准测量的仪器和工具	13
2.3 水准仪的使用方法及注意事项	17
2.4 水准测量的方法及注意事项	19
2.5 水准测量成果的计算	23
2.6 水准仪的检验与校正	29
2.7 水准测量误差的来源及消减方法	32
2.8 自动安平水准仪和精密水准仪简介	34
习题	38
第 3 章 经纬仪及角度测量	40
3.1 角度测量的原理	40
3.2 DJ6 型光学经纬仪	41
3.3 DJ6 型光学经纬仪的基本使用方法	43
3.4 水平角的观测	47
3.5 竖直角观测	52
3.6 经纬仪的检验与校正	56
3.7 角度测量的误差分析	59
3.8 其他经纬仪简介	64
习题	71
第 4 章 距离测量和直线定向	74
4.1 距离测量	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	88
4.5 距离、方向与地面点直角坐标的关系	89
4.6 罗盘仪及其使用	91
习题	92
第5章 测量误差的基本知识	94
5.1 测量误差概述	94
5.2 偶然误差的特性	96
5.3 衡量测量精度的标准	98
5.4 误差传播定律	99
习题	105
第6章 小区域控制测量	108
6.1 平面控制测量	108
6.2 高程控制测量	121
习题	127
第7章 地形图的基本知识	129
7.1 地形图概述	129
7.2 地形图的比例尺	130
7.3 地形图的图式	131
7.4 地形图的图廓外注记	136
7.5 地形图的分幅与编号	138
习题	140
第8章 大比例尺地形图的测绘	142
8.1 测图前的准备工作	142
8.2 经纬仪测图法	144
8.3 地形图的拼接、整饰和检查	149
8.4 全站仪数字化测图概述	150
习题	156
第9章 地形图的应用	158
9.1 地形图的基本应用	158
9.2 面积量算	160
9.3 地形图在工程建设中的应用	164
9.4 地形图在平整土地中的应用及土石方估算	167
9.5 电子地图的应用简介	170
习题	172

第 10 章 施工放样的基本工作	173
10.1 施工测量概述	173
10.2 施工测量基本工作	174
10.3 测设地面点平面位置的基本方法	178
10.4 圆曲线的测设	180
习题	184
第 11 章 工业与民用建筑测量	185
11.1 建筑场地施工控制测量	185
11.2 建筑施工测量	191
11.3 工业厂房施工测量	204
11.4 烟囱施工测量	210
习题	212
第 12 章 管道工程施工测量	214
12.1 概述	214
12.2 管道施工测量	214
习题	220
第 13 章 工程建筑物的外部变形观测	221
13.1 概述	221
13.2 建筑物的沉降观测	224
13.3 建筑物的水平位移观测	229
13.4 裂缝及伸缩缝观测	237
13.5 倾斜观测	239
13.6 观测资料的整编	242
习题	243
第 14 章 全站仪测量简介	245
14.1 概述	245
14.2 全站仪结构	246
14.3 按键功能及测量模式	248
14.4 全站仪安置及初始设置	252
14.5 全站仪测量	258
习题	280
第 15 章 GPS 测量简介	281
15.1 GPS 定位系统	281
15.2 GPS 的定位原理	283
习题	284
参考文献	285

第 1 章 绪 论

学习目标:

通过本章的学习,了解测量学的研究对象及其任务;理解测量工作的基准面与基准线;掌握地面点位的表示方法、平面直角坐标系统和高程系统;了解测量的基本工作与工作原则。

1.1 测量学的研究对象及建筑工程测量学的任务

1.1.1 测量学的概念与研究对象

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。之所以能取得这样准确数据, 在公元前 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 年陪葬的占长沙国地图和驻军团, 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固》及《海内华夷图》; 北宋时的《淳化天下固》; 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》(相当于现代分幅绘制的地图集); 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相关联的。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, “以海面较京师至汀梁地形高下之差”, 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 GPS 全球定位系统已得到广泛应用,全国 GPS 大地网即将完成;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。但我国目前的测绘科技水平,与国际先进水平相比,还有一定的差距,我国的测绘科技工作者,正在奋发图强、励精图治,不久的将来,定会赶上和超过国际测绘科技先进水平。

1.1.4 建筑工程各阶段的测量任务

测量学的任务包括测定和测设两部分。测定是指得到一系列测量数据,或将地球表面的地物和地貌缩绘成各种比例尺的地形图。测设是指将设计图纸上规划设计好的建筑物位置,在实地标定出来,作为施工的依据。

建筑工程测量学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。

要进行勘测设计,必须要有设计底图。而该阶段测量工作的任务就是为勘测设计提供地形图。例如铁路在设计阶段要收集一切相关的地形资料,以及地质、经济、水文等情况,选择有价值的几条线路,然后测量人员测定所选线路上的带状地形图,最后设计人员根据测得的现状地形图选择最佳路线以及在图上进行初步的设计。

在工程施工建设之前,测量人员要根据设计和施工技术的要求把建筑物的空间位置关系在施工现场标定出来,作为施工建设的依据,这一步即为测设工作,也就是施工放样。施工放样是联系设计和施工的重要桥梁,一般来讲,精度要求也相当高。

工程在运营管理阶段的测量工作主要指的是工程建筑物的变形观测。为了监测建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、沉陷、倾斜等方面的监测,通常以年为单位。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”。

古希腊时期,有人提出地球是一个圆球。1522年,麦哲伦及其伙伴完成绕地球一周以后,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(见图1.2.1)。

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2万m的高度悬殊。

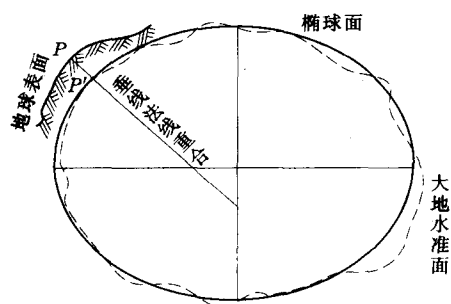


图 1.2.1 地球椭球体

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称为水准面，它所包围的形体

称为大地体。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。

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，而这个垂线方向即测量工作的基准线。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，而旋转椭球是可以公式来表达的。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为 1980 年国家大地测量坐标系，其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 $c=(a-b)/a=1/298.257$ 。

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体，1980 年国家大地坐标系采用的是 1975 年国际椭球体，而全球定位系统 (GPS) 采用的是 WGS—84 椭球体。

表 1.2.1

椭球体名称	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 年国际	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

由于参考椭球体的扁率很小，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

测量学研究对象是地球，实质上是确定地面点的位置，通常由点到投影到地球椭球面的坐标和该点到大地水准面的铅垂距来确定。

1.3.1 地面点的坐标

坐标系的种类有很多，但与测量相关的有地理坐标系和平面直角坐标系。

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。其他与椭球旋转轴正交，但不通过球心的平面与椭球面相截所得的曲线称为纬圈。

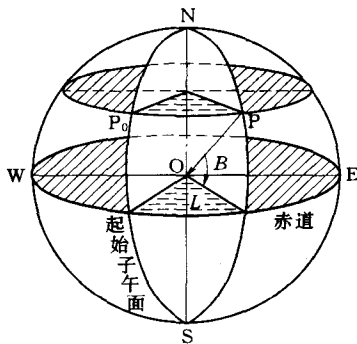


图 1.3.1 大地坐标系

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。大地经度是指通过该点的子午面与起始子午面间的夹角；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 $39^{\circ}54'$ 。

1.3.1.2 地面点的平面直角坐标

1. 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大地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（见图 1.3.2）。

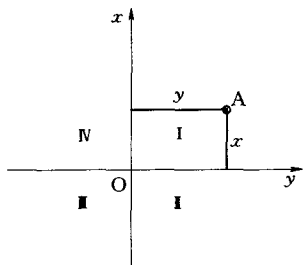


图 1.3.2 平面直角坐标

当研究小范围地面形状和小时，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是以北方向为标准按顺时针方向计算的角度。此外，为了平面三角学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。

为实用方便，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。

2. 高斯投影法

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。它是假想一个椭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椭圆柱面上，然后将椭圆柱展开成平面，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° 带和 1.5° 带，如图 1.3.3 所示为 6° 带和 3° 带示意图。

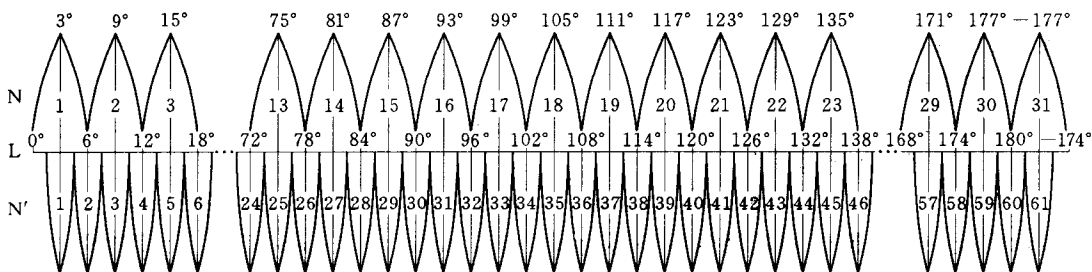


图 1.3.3 高斯平面分带示意图

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

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

式中： N 为带号； L 为 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 $1^\circ 30'$ 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

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

式中： L' 为 3° 带中央子午线的经度， N' 为带号。

(2) 高斯平面直角坐标系的建立。

中央子午线投影到椭圆柱上是一条直线，把这条直线作为平面直角坐标系的纵坐标轴，即 x 轴，表示南北方向。赤道投影后是与中央子午线正交的一条直线，作为横轴，即 y 轴，表示东西方向。这两条相交的直线相当于平面直角坐标系的坐标轴，构成高斯平面直角坐标系（见图 1.3.4）。

我国位于北半球， x 值全为正值，而 y 坐标有正有负。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 $-148478.6 + 500000 = 351521.4$ 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。

3. 地心坐标系

卫星大地测量是利用空中卫星的位置来确定地面点的位置。由于卫星围绕地球质心运动，所以卫星大地测量中需采用地心坐标系。该系统一般有两种表达方式，如图 1.3.5

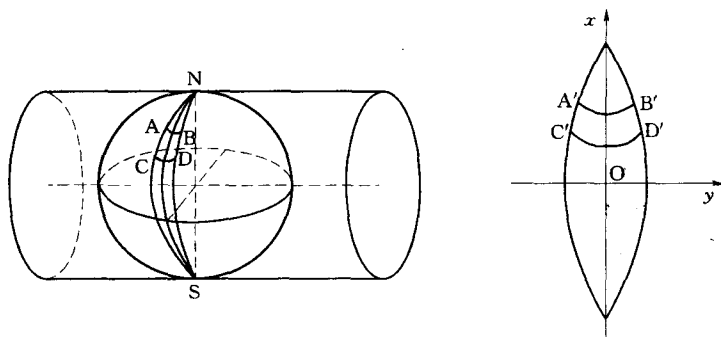


图 1.3.4 高斯平面直角坐标

所示。

(1) 地心空间直角坐标系。坐标系原点 O 与地球质心重合, z 轴指向地球北极, x 轴指向格林尼治平子午面与地球赤道的交点 E , y 轴垂直于 xOz 平面构成右手坐标系。

(2) 地心大地坐标系。椭球体中心与地球质心重合, 椭球短轴与地球自转轴相合, 大地经度 L 为过地面点的椭球子午面与格林尼治平子午面的夹角, 大地纬度 B 为过地面点的法线与椭球赤道面的夹角, 大地高 H 为地面点沿法线至椭球面的距离。

于是, 任一地面点 P 在地心坐标系中的坐标, 可表示为 (x, y, z) 或 (L, B, H) 。两者之间有一定的换算关系。美国的全球定位系统 (GPS) 用的 WGS—84 坐标就属这类坐标。

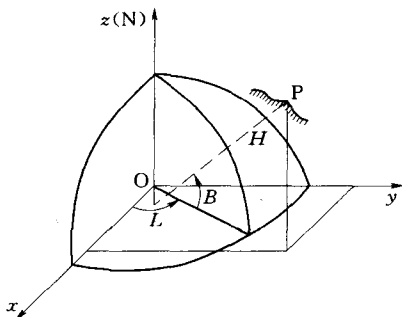


图 1.3.5 空间直角坐标系

1.3.2 地面点的高程

1.3.2.1 地面点的绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距称为绝对高程, 简称高程, 亦称为正常高, 通常用 H 表示。例如 A 点的高程通常表示为 H_A 。

1949 年之前, 我国没有统一的高程起算基准面, 平均海水面有很多种标准, 致使高程不统一, 相互使用困难。中华人民共和国成立后, 测绘事业蓬勃发展, 1954 年继建立北京坐标系后, 又建立了国家统一的高程系统起算点, 即水准原点。我国的绝对高程是由黄海平均海水面起算的, 该面上各点的高程为零。水准原点建立在青岛市观象山上。根据青岛验潮站连续 7 年的观测, 即 1950~1956 年的水位观测资料, 确定了我国大地水准面的位置, 并由此推算大地水准原点高程为 72.289m, 以此为基准建立的高程系统称为“1956 黄海高程系”。

然而, 验潮站的工作并没有结束, 后来根据验潮站 1952~1979 年的水位观测资料, 重新确定了黄海平均海水面的位置, 由此推算到大地水准原点的高程为 72.260m。此高程基准称为 1985 年国家高程基准。



1.3.2.2 地面点的相对高程

在全国范围内利用水准测量的方法布设一些高程控制点称为水准点,以保证尽可能多的地方高程能得到统一。尽管如此,仍有某些建设工程远离已知高程的国家控制点。这时可以以假定水准面为准,在测区范围内指定一固定点并假设其高程。像这种点的高程是地面点到假定水准面的铅垂距称为相对高程。例如 A 点的相对高程通常用 H'_A 来表示。

1.3.2.3 地面点间的高差

高差是指地面两点之间高程或相对高程的差值,用 h 来表示。例如 AB 两点间的高差通常表示为 h_{AB} 。

从图 1.3.6 可知,

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.3.3)$$

可见,地面两点之间的高差与高程的起算面无关,只与两点的位置有关。

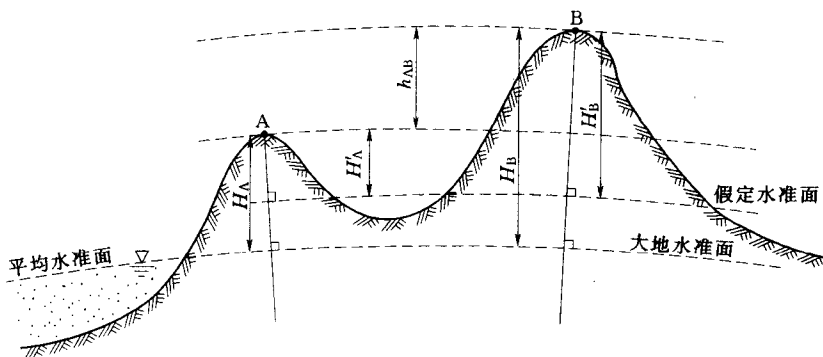


图 1.3.6 高程和高差

1.4 在测量工作中用水平面代替水准面的限度

根据 1.3 内容可知,在普通测量工作中是将大地水准面近似地当成圆球看待的。一般测绘产品通常是以平面图纸为介质的。因此就需要先把地面点投影到圆球面上,然后再投影到平面图纸上,需要进行两次投影。在实际测量时,若测区范围面积不大,往往以水平面直接代替水准面,就是把球面上的点直接投影到平面上,不考虑地球曲率。但是到底多大面积范围内容许以平面投影代替球面,本节主要讨论这个问题。

1.4.1 对水平距离的影响

如图 1.4.1 所示,地面两点 A、B,投影到水平面上分别为 a、b,在大地水准面上的投影为 a'、b',则 D 、 D' 分别为地面点在大地水准面上与水平面上的距离(见图 1.4.1)。研究水平面代替水准面对距离的影响,即为用 D' 代替 D 所产生的误差 ΔS 。

由图可知

$$\Delta S = D' - D$$

因

$$D = R \times \theta$$



在 $\triangle aOb$ 中, $D' = R \tan \theta$, 则 $\Delta S = D' - D = R \tan \theta - R\theta = R(\tan \theta - \theta)$

将 $\tan \theta$ 按级数展开为

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \quad (1.4.1)$$

因为面积不大, 所以 D' 不会太长, θ 角很小, 故略去 θ 五次方以上各项, 并代入式 (1.4.1) 得

$$\Delta S = \frac{1}{3}R\theta^3 \quad (1.4.2)$$

因为 $\theta = \frac{D}{R}$, 代入式 (1.4.2) 得

$$\Delta S = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.4.3)$$

以 $R = 6371\text{km}$ 和不同的 D 值代入式 (1.4.3), 算得相应的 ΔS 及 $\Delta S/S$ 值见表 1.4.1。

表 1.4.1 地球曲率对水平距离和高程的影响

距离 D	距离误差 ΔS (mm)	距离相对误差 $\Delta S/S$	高程误差 Δh (mm)	距离 D	距离误差 ΔS (mm)	距离相对误差 $\Delta S/S$	高程误差 Δh (mm)
100m	0.000008	1/1250000 万	0.8	10km	8.2	1/122 万	7850.0
1km	0.008	1/12500 万	78.5	25km	128.3	1/19.5 万	49050.0

从表 1.4.1 中可以看出, 当地面距离为 10km 时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差仅为 0.82cm, 其相对误差为 1/122 万。而实际测量距离时, 大地测量中使用的精密电磁波测距仪的测距精度为 1/100 万 (相对误差), 地形测量中普通钢尺的量距精度约为 1/2000。所以, 只有在大范围内进行精密测距时, 才考虑地球曲率的影响。而在一般地形测量中测量距离时, 可不考虑这种误差的影响。

1.4.2 对高程的影响

我们知道, 高程的起算面是大地水准面。如果以水平面代替水准面进行高程测量, 则所测得的高程必然含有因地球弯曲而产生的高程误差的影响。如图 1.4.1 中, a 点和 b' 点是在同一水准面上, 其高程应当是相等的, 当以水平面代替水准面时, b 点升到 b' 点, bb' , 即 Δh 就是产生的高程误差。由于地球半径很大。距离 D 和 θ 角一般很小, 所以 Δh 可以近似地用半径为 D , 圆心角为 $\theta/2$ 所对应的弧长来表示。即

$$\Delta h = \frac{\theta}{2}D. \quad (1.4.4)$$

因为 $\theta = \frac{D}{R}$, 代入式 (1.4.1) 得

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1.4.5)$$

用不同的距离代入式 (1.4.5), 便得表 1.4.1 所列的结果。从表中可以看出, 用水平面代替水准面对高程的影响是很大的。距离为 0.1km 时, 就有 0.8mm 的高程误差, 这在

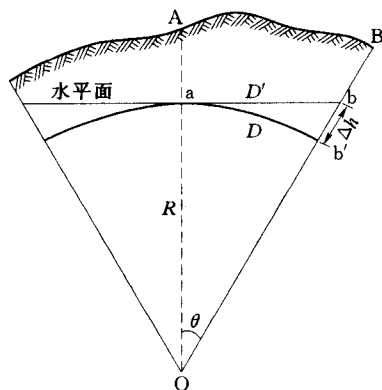


图 1.4.1 水平面代替水准面对水平距离的影响