

全国高职高专建筑类专业规划教材

JIANZHU GONGCHENG CELIANG

建筑工程测量

甄红锋 崔德芹 主编
周 园 主审



黄河水利出版社

全国高职高专建筑类专业规划教材

建筑工程测量

主 编 甄红锋 崔德芹
副主编 孙桂润 王 靖 李金生
主 审 周 园

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专建筑类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及全国水利水电高职教研会制定的建筑工程测量课程教学大纲编写完成的。全书共分14章,第一~五章介绍了测量学的基本知识、测量的三项基本工作及定向测量;第六~八章介绍了小区域控制测量、大比例尺地形图测绘及地形图的应用;第九~十三章介绍了建筑工程施工测量;第十四章介绍了建筑物变形观测和竣工测量。

本书可供高职高专、职工大学、函授及成人教育等院校的建筑工程技术专业、工程造价专业、给排水专业、城市规划等相关专业使用,也可作为建筑工程建设技术人员和测绘人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/甄红锋,崔德芹主编. —郑州:黄河水利出版社,2010.8
全国高职高专建筑类专业规划教材
ISBN 978-7-80734-845-0

I. ①建… II. ①甄…②崔… III. ①建筑测量-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 135477 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@163.com
简 群 66026749 w_jq001@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 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:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:14.25

字数:330千字

印数:1—4 100

版次:2010年8月第1版

印次:2010年8月第1次印刷

定价:26.00元

前 言

本书是根据《教育部、财政部关于实施国家示范性高等职业院校建设计划,加快高等职业教育改革与发展的意见》(教高[2006]14号)、《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的建筑类专业规划教材。本套教材以学生能力培养为主线,具有鲜明的时代特点,体现出实用性、实践性、创新性的教材特色,是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

本书以讲解测量基本知识、原理、方法及建筑工程施工测量方法为重点,同时介绍了引入测绘工作的新技术、先进仪器及数据处理方法。在内容上力求实用性和通用性,做到理论知识适度够用、通俗易懂,加入数字化测图和GPS测量技术的内容,结合我国建筑工程实际,加强了实践性和技能操作教学,突出测量的实践应用能力的培养。

本书可供高职高专、职工大学、函授及成人教育等院校的建筑工程技术专业、工程造价专业、给排水专业、城市规划等相关专业使用,也可作为建筑工程建设技术人员和测绘人员的参考用书。

本书编写人员及编写分工如下:黄河水利职业技术学院王靖编写第一章、第十章;黑龙江农垦林业职业技术学院孙桂润编写第二章;华北水利水电学院水利职业学院杨丽编写第三章;四川水利职业技术学院周小莉编写第四章、第五章;山东水利职业学院丁建全编写第六章;吉林农业科技学院崔德芹编写第七章、第八章;山东水利职业学院李雅宁编写第九章;山东水利职业学院甄红锋编写第十一章;沈阳农业大学高等职业技术学院李金生编写第十二章、第十三章;重庆水利电力职业技术学院谢波编写第十四章。全书由甄红锋、崔德芹担任主编并统稿,由孙桂润、王靖、李金生担任副主编,由沈阳农业大学高等职业技术学院周园担任主审。

本书在编写过程中参考了有关教材和资料,并得到了众多院校老师的热心帮助和支持,特别是丁建全老师和李雅宁老师做了大量工作。日照城乡勘察测绘院高级工程师王贵利也对本书的内容提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏在所难免,恳请读者予以批评指正。

编 者

2010年5月

目 录

前 言

第一章 测量学的基本知识	(1)
第一节 测量学研究的对象及建筑工程测量的任务	(1)
第二节 地球的形状和大小	(3)
第三节 测量坐标系统	(4)
第四节 测量工作中用水平面代替水准面的限度	(8)
第五节 测量工作的程序与原则	(9)
复习思考题	(11)
第二章 水准测量	(12)
第一节 水准测量原理	(12)
第二节 水准测量的仪器和工具	(14)
第三节 水准仪的使用	(18)
第四节 水准测量的实施	(19)
第五节 水准测量的校核及高程计算	(22)
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	(27)
第七节 水准测量的误差及注意事项	(31)
复习思考题	(32)
第三章 角度测量	(34)
第一节 角度测量原理	(34)
第二节 光学经纬仪及其使用	(35)
第三节 水平角观测	(41)
第四节 竖直角观测	(44)
第五节 经纬仪的检验与校正	(47)
第六节 角度测量的误差分析	(50)
复习思考题	(52)
第四章 距离测量与直线定向	(54)
第一节 距离丈量	(54)
第二节 视距测量	(59)
第三节 光电测距	(62)
复习思考题	(66)
第五章 定向测量	(67)
第一节 直线定向	(67)
第二节 坐标方位角的推算	(69)

第三节 罗盘仪测定直线磁方位角的方法	(71)
复习思考题	(72)
第六章 小区域控制测量	(74)
第一节 控制测量概述	(74)
第二节 导线测量	(76)
第三节 高程控制测量	(84)
第四节 GPS 测量技术	(90)
复习思考题	(93)
第七章 大比例尺地形图的测绘	(96)
第一节 地形图的基本知识	(97)
第二节 碎部点的测定方法	(110)
第三节 经纬仪测图法	(114)
第四节 地形图的检查与整饰	(118)
第五节 数字化测图	(118)
复习思考题	(128)
第八章 地形图的应用	(129)
第一节 地形图应用的基本内容	(129)
第二节 在图上量算面积	(135)
第三节 地形图在工程建设中的应用	(140)
第四节 地形图在平整土地中的应用及土石方估算	(142)
复习思考题	(147)
第九章 施工测量的基本工作	(148)
第一节 施工测量概述	(148)
第二节 施工测量的基本工作	(149)
第三节 点的平面位置测设方法	(152)
第四节 已知坡度的测设	(155)
第五节 圆曲线测设	(156)
复习思考题	(163)
第十章 施工场地的控制测量	(164)
第一节 概 述	(164)
第二节 坐标系统与换算	(165)
第三节 建筑基线的测设	(166)
第四节 建筑方格网的测设	(168)
第五节 高程控制测量	(171)
复习思考题	(172)
第十一章 民用建筑施工测量	(173)
第一节 概 述	(173)
第二节 施工测量前准备工作	(173)

第三节	建筑物的定位和放线	(175)
第四节	建筑物基础施工测量	(180)
第五节	主体施工测量	(182)
第六节	高层建筑施工测量	(183)
复习思考题		(187)
第十二章	工业厂房施工测量	(188)
第一节	概 述	(188)
第二节	厂房矩形控制网的测设	(188)
第三节	厂房基础施工测量	(190)
第四节	厂房构件安装测量	(192)
第五节	烟囱、水塔施工测量	(195)
复习思考题		(197)
第十三章	管道工程施工测量	(198)
第一节	概 述	(198)
第二节	中线测量	(199)
第三节	纵、横断面图的测绘	(201)
第四节	管道施工测量	(204)
复习思考题		(207)
第十四章	建筑物变形观测和竣工测量	(209)
第一节	建筑物的变形观测概述	(209)
第二节	建筑物的沉降观测	(210)
第三节	水平位移观测	(211)
第四节	倾斜观测	(213)
第五节	挠度观测和裂缝观测	(214)
第六节	变形观测的成果表达	(216)
第七节	竣工测量	(217)
复习思考题		(218)
参考文献		(219)

第一章 测量学的基本知识



教学目标

使学生掌握测量学的定义、普通测量学研究的内容、测量学的学科分类和建筑工程测量的主要任务。掌握地面点坐标及高程、测量工作的原则与程序的基本概念。使学生对测量工作的基本内容和基本原则有初步的认识。

第一节 测量学研究的对象及建筑工程测量的任务

一、测量学研究对象

测量学是研究对地球整体及其表面和外层空间中的各种自然和人造物体上与地理空间分布有关的信息进行采集、处理、管理、更新和利用的科学与技术。它的主要任务有三个方面：一是研究确定地球的形状和大小，为地球科学提供必要的数据和资料；二是将地球表面上的地物、地貌测绘成图；三是将设计图纸上的设计成果测设至现场。

测量学是一门历史悠久的学科，随着现代科学技术的发展，测量学的发展也极为迅速，目前在国民经济和社会发展规划、国防建设、地震预报等科学研究，以及工农业生产建设等各个领域都有着广泛的应用。

随着测绘科技的不断进步和发展，在各个行业和人们日常生活中，其必将提供更为全面、准确、及时和适用的测绘成果与技术服务。

二、测量学的学科分类

按照研究的范围、对象及技术手段不同，测量学又分为诸多学科。

(一) 大地测量学

该学科主要是研究整个地球的形状、大小和外部重力场及其变化、地面点的精确定位，解决大范围控制测量工作。由于全球导航卫星系统(GPS)、卫星激光测距(SIR)、甚长基线干涉(VLBL)和卫星测高(SA)等新技术的引进，大地测量从分维式发展到整体式，从静态发展到动态，从描述地球的几何空间发展到描述地球的物理—几何空间，从地表层发展到地球内部结构，从局部参考坐标系中的地区性大地测量发展到统一地心坐标系中的全球性大地测量。大地测量学是整个测绘科学的基础理论学科，它的主要任务是为测制地形图和工程建设提供基本的平面控制和高程控制。

(二) 摄影测量与遥感学

该学科主要是利用摄影或遥感技术获取地面物体的影像，进行分析处理后建立相应

的数字模型或直接绘制成地形图。根据像片获取方式的不同,摄影测量又分为地面摄影测量和航空摄影测量。由于现代航天技术和计算机技术的发展,当代遥感技术可以提供比光学摄影所获得的黑白像片更丰富的影像信息。因此,在摄影测量中引进了遥感技术,摄影测量本身已完成了“模拟摄影测量”与“解析摄影测量”的发展历程,现在正进入“数字摄影测量”阶段。

(三) 地图制图学与地理信息工程

该学科是研究利用地图图形科学地、抽象概括地反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互关系及其动态变化,并对空间信息进行获取、智能抽象、存储、管理、分析、处理、可视化及其应用的学科。当今,随着计算机地图制图和地图数据库技术的快速发展,作为人们认知地理环境和利用地理条件的工具,地图制图学已经进入数字(电子)制图和动态制图阶段,并且成为地理信息系统的支撑技术。地图制图学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学科。

(四) 工程测量学

该学科是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行控制测量、地形测绘、施工放样与变形监测的理论和技术的学科,是测量学在国民经济和国防建设中的直接应用。根据工程建设的对象不同,工程测量又分为水利、建筑、公路、铁路、矿山、隧道、桥梁、城市和国防等工程测量。现在工程测量已远远突破了为工程建设服务的狭隘概念,向着所谓“广义工程测量学”发展,即“一切不属于地球测量、不属于国家地图集的陆地测量和不属于公务测量的应用测量,都属于工程测量”。

(五) 海洋测绘学

它是研究以海洋水体和海底为对象所进行的测量以及海图编制的理论和方法的学科。同陆地测绘相比,海洋测绘具有自身的特点,主要有:测量内容综合性强,要同时完成多种观测项目,需多种仪器配合施测;测区条件复杂,大多为动态作业;肉眼不能通视水域底部,精确测量难度较大等。

三、建筑工程各阶段的测量任务与作用

建筑工程中的测量工作主要是指在勘测设计、施工和竣工验收、运营管理各阶段中的测量工作。各阶段具体工作如下。

勘测设计阶段:为了给建筑物的具体设计提供地形资料,需在建筑区做测绘地形图、纵横断面图、定点取样等测量工作。由于其测量工作只是在很小的区域进行,因此作业过程中可以不顾及地球曲率影响,只须按常规作业程序进行作业即可满足精度要求。由于建筑物的设计方案力求经济、合理、实用、美观、环保,需要应用地图制图学的理论和方法在图上测量距离、角度等要素,确定建筑物在图上的具体位置,并为标定到现场提供测量数据。

施工阶段:建筑物进入施工阶段就需要根据它的设计图纸,按照设计要求,通过测量的定位、放线和标高测量,将其平面位置和高程位置标定到施工的作业面上。另外,在施工过程中还要随时对建筑物进行安全监测,为施工提供依据,指导施工。

竣工及运营管理阶段:建筑物竣工后,需测绘竣工图及其他点、线位置,作为验收的依

据;交付使用后,还需对其进行沉降、水平位移、倾斜、挠度、裂缝观测,从而监视该建筑物在各种外界因素影响下的安全性和稳定性,为建筑物的安全使用提供测绘保障。

第二节 地球的形状和大小

一、大地水准面

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,所以必须知道地表的形状和大小。地球表面是一个高低不平、极其复杂的自然表面,有高山、丘陵、盆地、平原、海洋等。陆地最高的珠穆朗玛峰高达 8 844.43 m,最深的马里亚纳海沟深达 11 034 m,相对高差近 20 km,但这样的高低起伏与地球平均半径 6 371 km 相比,通常可以忽略不计。由于地球表面 71% 被海水所覆盖,所以可以把海水所覆盖的地球形体看做地球的形状。

假想以一个静止的海水面延伸到大陆内部,形成一个封闭曲面包围整个地球,这个闭合的曲面称为水准面。海水有潮汐变化,时高时低,所以水准面有无数多个,其中通过平均海水面的一个水准面就称为大地水准面,其特性是它处处与铅垂线正交。它所包围的形体称为大地体(见图 1-1),它非常接近于一个两极扁平、赤道隆起的椭球。

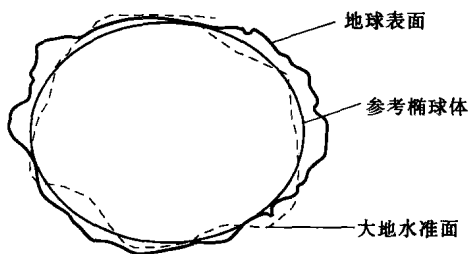


图 1-1 大地水准面

为了确定地面点的高度,必须有一个参照基准面。在实际测量工作中,以大地水准面作为测量的基准面。

二、旋转椭球面

大地水准面完全可以代表地球表面的形状和大小,但由于地球内部质量分布不均引起铅垂线的方向产生不规则的变化,所以大地水准面成为一个复杂的曲面,如图 1-1 所示。如果将地球表面上的图形投影到这个复杂的曲面上,将给测量计算和绘图带来很多困难,为此选用一个非常接近大地水准面,并可用数学式表达的规则的几何形体来代表地球的总形状,这个数学形体称为旋转椭球体,包围它的面称为旋转椭球面。

旋转椭球体是由一椭圆绕其短半轴旋转而成的椭球体,椭圆的长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 是决定旋转椭球体的形状和大小的元素。随着测绘科学的进步,可以越来越精确地测定这些元素。目前我国采用的是 1975 年国际大地测量与地球物理联合会(IU—GG)通过并推荐的数据:

$$\begin{aligned} a &= 6\,378\,137 \text{ m} \\ b &= 6\,356\,752 \text{ m} \\ \alpha &= \frac{a-b}{a} = 1:298.257 \end{aligned} \quad (1-1)$$

由于地球椭球体扁率很小,当测区面积不大时,可以把地球视为圆球,其半径为:

$$R = (2a + b)/3 \approx 6\,371\text{ km} \quad (1-2)$$

地球的形状和大小确定后,还应进一步确定大地水准面与旋转椭球面的相对关系,才能把观测结果化算到椭球面上。如图 1-2 所示,在一个国家的适当地点,选择一点 P ,设想把椭球与大地体相切,切点 P' 点位于 P 点的铅垂线方向上,这时椭球面上 P 的法线与大地水准面的铅垂线相重合,使椭球的短轴与地轴保持平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小,于是椭球与大地水准面的相对位置便固定下来,这就是参考椭球的定位工作。采用椭球体定位的结果确定大地原点的起算数据得到的坐标系为国家大地坐标系。我国大地坐标系的原点在陕西省泾阳县永乐镇。由于地球椭球体的扁率很小,当测量精密度要求不高及测区面积不大时,可将地球当做半径 R 为 6 371 km 的圆球。

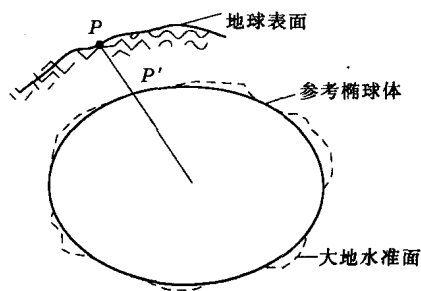


图 1-2 旋转椭球面

第三节 测量坐标系统

测量工作的基本任务是确定地面点的空间位置。确定地面点的空间位置通常需要三个要素:地面点在球面或平面上的投影位置,即地面点的坐标(X, Y);地面点到大地水准面的铅垂距离,即地面点的高程(H)。下面介绍几种用以确定地面点位的坐标系统。

一、平面坐标系

(一) 大地坐标系

在大区域内确定地面点的位置,以球面坐标系来表示,用大地经度和大地纬度表示地面点在旋转椭球面上的位置,称为大地地理坐标,简称大地坐标,如图 1-3 所示。NS 为椭球的旋转轴, N 为北极, S 为南极。通过椭球旋转轴作的平面称为子午面,通过英国格林威治天文台的子午面称为起始子午面,也称本初子午面。子午面与球面的交线称为子午线或经线。球面上 P 点的大地经度是过 P 点的子午面与起始子午面所夹的二面角,用 L 表示。自起始子午面向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经,向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经,我国处于东半球。

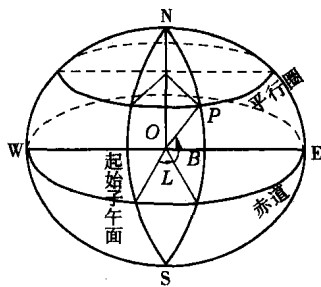


图 1-3 大地坐标

垂直于地轴并通过球心的平面称为赤道面。赤道面与球面的交线称为赤道。垂直于地轴且平行于赤道的平面与球面的交线称为纬圈或平行圈。球面上某点的大地纬度是过该点的法线(与椭球面相垂直的线)与赤道面的夹角,用 B 表示。图 1-3 中,过 P 点作子午线的法线,该法线与赤道面的交角 B 即为 P 点的大地纬度。纬度从赤道起向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬,向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬,我国处于北半球。

大地经、纬度是根据大地原点的起算数据,再按大地测量得到的数据推算而得的。我

国曾采用“1954 年北京坐标系”并于 1987 年度止,现采用国家大地坐标系。

(二) 地心坐标系

地心坐标系属于空间三维直角坐标系,用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球运动,地心坐标系的原点与地球质心重合,如图 1-4 所示。 Z 轴指向北极且与地球自转轴相重合, X 、 Y 轴在地球赤道平面内,首子午面(起始子午面)与赤道平面的交线为 X 轴, Y 轴垂直于 XOZ 平面, X 、 Y 、 Z 符合右手规则。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 X_A 、 Y_A 、 Z_A 来表示。

WGS-84 坐标系(世界大地坐标系)是地心坐标系的一种,是美国国防局为进行 GPS 卫星导航定位于 1984 年建立、1985 年投入使用的坐标系统。其几何意义是:坐标系的原点位于地球质心, z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地球极(CTP)方向, x 轴指向 BIH1984.0 的 0° 子午面(首子午面)和 CTP 赤道的交点, y 轴通过地球质心, x 、 y 、 z 符合右手规则,如图 1-5 所示。

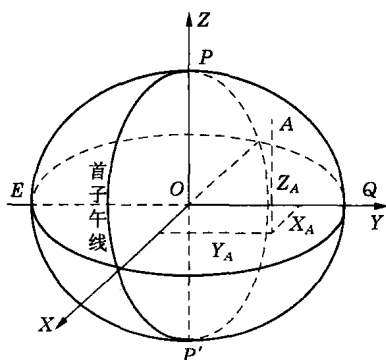


图 1-4 地心坐标系

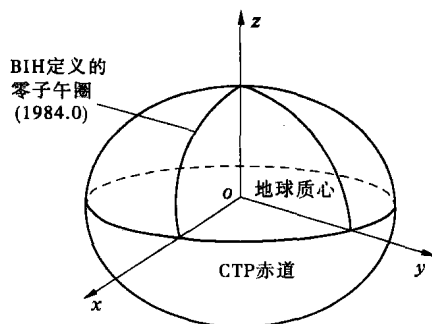


图 1-5 WGS-84 坐标系

WGS-84 地心坐标系也可与 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系等参心坐标系进行转换,其方法之一就是在测区内,利用至少 3 个公共点的两套坐标列出坐标转换方程,采用最小二乘原理解算出 7 个转换参数和 1 个尺度参数。

(三) 高斯-克吕格平面直角坐标系

地理坐标对局部测量工作来说是非常不方便的。由于地球表面是一个不可展的曲面,而测量计算又最好在平面上进行,所以必须通过投影的方法将地球表面上的点位化算到平面上。当测区范围较大时,由于存在较大的差异,例如,在赤道上 $1''$ 的经度差或纬度差对应的地面距离约为 30 m,所以不能用水平面代替球面,而应将地面点投影到椭球面上,再按一定的条件投影到平面上,形成统一的平面直角坐标系。地图投影有多种方法,我国采用的是高斯-克吕格正形投影,简称高斯投影。

高斯投影是高斯(Gauss)在 1820~1830 年间为解决德国汉诺威地区大地测量投影问题而提出的一种投影方法。1912 年起,德国学者克吕格(Kruger)将高斯投影公式加以整理和扩充并推导出了实用计算公式。它采用分带投影的方法,将地球椭球面沿子午线划分成经差相等的瓜瓣形地带(见图 1-6),称为投影带,每一投影带展成平面,以中央子午线为纵轴,以赤道为横轴,建立统一的平面直角坐标系。分带时,既要考虑投影后长度变形不大于测图误差,又要使带数不至于过多以减少换带计算工作,通常按经差 6° 或 3°

分为 6°带或 3°带。

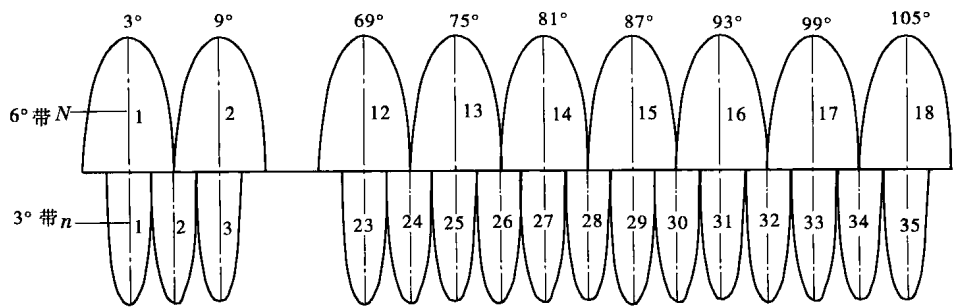


图 1-6 3°带和 6°带

6°带自 0°子午线(首子午线)起每隔经差 6°自西向东分带,将整个地球分成 60 个投影带。带号从首子午线开始,用阿拉伯数字表示。位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个 6°带的中央子午线为 3°。6°带中任意带的中央子午线经度 L_0 与投影带号 N 的关系为:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-3)$$

3°带是在 6°带的基础上分成的,它的中央子午线与 6°带的中央子午线和分带子午线重合,即自东经 1.5°子午线起每隔经差 3°自西向东分带,将整个地球分成 120 个投影带,带号也用阿拉伯数字表示。第一个 3°带的中央子午线为 3°。3°带中任意带的中央子午线经度 L'_0 与投影带号 n 的关系为:

$$L'_0 = 3n \quad (1-4)$$

高斯投影的基本方法是:投影时设想用一个空心圆柱横套在参考椭球外面,使圆柱与某一中央子午线相切,将椭球面上的图形按等角投影的原理投影到圆柱体上,然后将圆柱体沿着过南北极的母线切开,展开成为平面即得高斯平面,中央子午线长度不变,离开中央子午线越远,其长度投影变形越大。在该平面上定义平面直角坐标系,如图 1-7 所示。投影后的中央子午线和赤道均为直线。由于在参考椭球面上,中央子午线与赤道相互垂直,所以经等角投影后的中央子午线与赤道也相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴,向北为正;以赤道为坐标横轴,向东为正;以中央子午线与赤道的交点为坐标原点,由此建立了高斯平面直角坐标系。

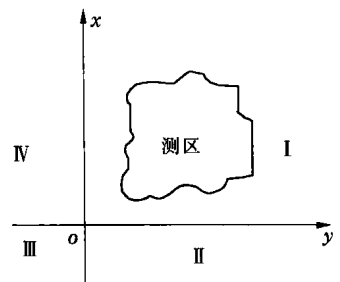


图 1-7 独立平面直角坐标系

与数学上的笛卡儿坐标系比较,在高斯平面直角坐标系中,为了定向的方便,定义纵轴为 x 轴,横轴为 y 轴, y 轴与 x 轴互换了位置,象限则按顺时针方向编号,这样就可以将数学上定义的各类三角函数在高斯平面坐标系中直接应用,不需做任何变更。

高斯平面直角坐标以赤道为零起算,赤道以北为正,以南为负。我国位于北半球,纵坐标均为正,横坐标有正有负。为了使用方便,避免 y 坐标出现负值,我国统一规定将每带的坐标原点向西移 500 km,也就是给每个点的 y 坐标值加上 500 km,使之恒为正值,前者称为自然值,后者称为统一值。例如某点 P 的自然坐标为 $x = 3\,284\,524.85\text{ m}$, $y =$

-304 677.44 m, 则其统一值 $y = 195\,322.56\text{ m}$ 。因为不同投影带内的点可能会有相同坐标值, 也为了标明其所在的投影带, 规定在横坐标前冠以带号。如 P 点位于 12 带, 则其横坐标为 $y = 12\,195\,322.56\text{ m}$ 。

高斯投影属于正形投影, 它保证了球面图形的角度与投影后的平面图形的角度不变, 但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形, 其规律是: 除中央子午线和赤道没有距离变形外, 其他位置的直线均存在距离变形。

我国领土所处的概略经度范围是东经 $73^{\circ}27'$ 至东经 $135^{\circ}09'$, 即分别位于统一 6° 带投影的 13~23 带与统一 3° 带投影的 25~45 带。

(四) 独立平面直角坐标系

当测量的范围较小时(一般要求测区半径小于 10 km), 可将该测区的大地水准面当做水平面看待, 直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上, 用平面直角坐标来表示它的投影位置, 如图 1-7 所示。测量上采用的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系基本相同, 但坐标轴互换, 象限顺序相反。纵轴为 x 轴, 与南北方向一致, 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。顺时针方向量度, 这样便于将数学的三角公式直接应用到测量计算上。原点一般假定在测区西南以外, 使测区内部点坐标均为正值, 以便计算。

二、高程系统

(一) 绝对高程

地面上某点到大地球水准面的铅垂距离, 称为该点的绝对高程, 又称海拔, 用 H 表示, 如图 1-8 所示。A、B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B 。由于受海潮、风浪等影响, 海水面的高低时刻在变化, 我国在青岛设立验潮站, 进行长期观测, 取黄海平均海水面作为高程基准面, 建立“1956 年黄海高程系”, 其青岛国家水准原点高程为 72.289 m, 该高程系统自 1987 年废止并起用“1985 国家高程基准”, 原点高程为 72.260 4 m。由前所述, 在“1956 年黄海高程系”中使用的大地水准面比“1985 国家高程基准”中使用的大地水准面高出约 0.029 m。在使用测量资料时, 一定要注意新旧高程系统以及系统间的正确换算。

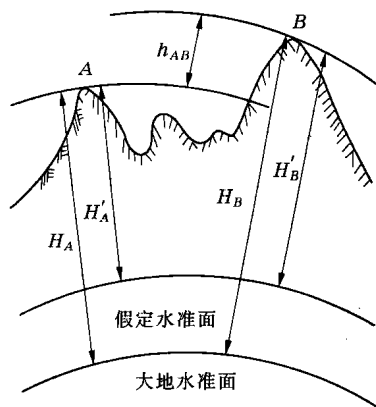


图 1-8 地面点的高程

(二) 相对高程

地面上某点到任意水准面的铅垂距离, 称为该点的假定高程或相对高程。如图 1-8 中 A、B 两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B 。

(三) 高差

相邻两点的高程之差称为高差, 以 h 表示。如图 1-8 中 A 点和 B 点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-5)$$

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。

第四节 测量工作中用水平面代替水准面的限度

将地面点测绘到平面图上,是测量的一大任务。如前所述,将大地水准面近似看做圆球面,把地面点投影到圆球面上,然后投影到平面图样上描绘,这个过程很复杂。水准面是一个近似于球面的曲面,球面上的图形展成平面一定会破裂或起皱。因此,严格地说,即使在极小的范围内用水平面代替水准面也要产生变形。由于测量和制图过程中不可避免地产生误差,若在小范围内用水平面代替水准面而产生的变形误差小于测量和制图过程中产生的误差,则在小范围内用水平面代替水准面是合理的。由于从球面坐标到平面坐标,我们采用的高斯投影是一种保角投影,即投影前后角度是不变的(严格地说仍存在球面角超问题),因此下面讨论在实际工作中,用水平面代替水准面对水平距离和高差的影响,以明确用水平面代替水准面的范围。

一、距离测量时的限度

在图 1-9 中,设 A 、 B 为水准面上的两点,在曲面上的弧长为 D ,过 A 点作水准面的切平面, B 点在切平面上的投影为 B' ,则 AB' 为 $\widehat{AB}$ 在水平面上的投影,长度为 l 。以切于 A 点的水平面代替水准面所产生的距离误差 ΔD 为:

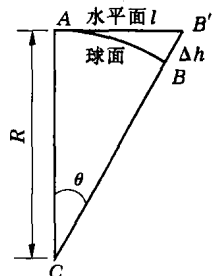


图 1-9 水平面与水准面的关系

$$\Delta D = AB' - \widehat{AB} = l - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (1-6)$$

式中 θ ——弧长 D 所对的圆心角,以弧度为单位;

R ——地球的平均曲率半径。

因为范围较小,将地球表面视为圆球面,所以 $D = R\theta$ 。将 $\tan\theta$ 按三角级数展开并略去高次项,得:

$$\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \dots \approx \theta + \frac{1}{3}\theta^3 \quad (1-7)$$

代入式(1-6)中并考虑到 $\theta = D/R$,整理后可得:

$$\Delta D = R[(\theta + \frac{1}{3}\theta^3) - \theta] = R\frac{\theta^3}{3} = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-8)$$

两端用 D 去除,得相对误差为:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-9)$$

取 $R = 6\,371\text{ km}$,以不同的 D 值代入式(1-9),求出的距离误差 ΔD 值见表 1-1。由表 1-1 可知,当 D 为 10 km 时,用水平面代替水准面所产生的相对误差 $\Delta D/D$ 为 1:125 万,这样小的误差就是在地面上进行最精密的距离测量也是允许的。因此,可以认为在半径为 10 km 的范围内,用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计,也就是说可以

忽略地球曲率对距离的影响。当精度要求较低时,也可以将测量范围扩大到 25 km。

表 1-1 用水平面代替水准面对距离的影响

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$	距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{cm})$	相对误差 $\Delta D/D$
10	0.8	1/1 250 000	50	102.7	1/49 000
25	12.8	1/200 000	100	821.2	1/12 000

二、高程测量时的限度

在图 1-9 中, A 、 B 两点在同一水准面上, 其高差应为零。若以水平面代替水准面, 则 B 点移到 B' 点而产生的高差误差 Δh 为:

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + l^2 \quad (1-10)$$

整理后得:

$$\Delta h = \frac{l^2}{2R + \Delta h} \quad (1-11)$$

在式(1-11)中可以用 D 代替 l , 同时 Δh 与 2 倍地球半径相比可略去不计, 则:

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \quad (1-12)$$

以不同的距离 D 代入式(1-12), 得相应的高差误差值列于表 1-2 中。

表 1-2 用水平面代替水准面对高差的影响

距离 $D(\text{m})$	100	200	300	500	1 000
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3.1	7.1	19.6	78.5

由表 1-2 可知, 用水平面代替水准面, 当距离为 200 m 时, 高差误差为 3.1 mm, 这对高程测量来说影响很大。因此, 当进行高程测量时, 即使距离很短也必须顾及地球曲率的影响。

第五节 测量工作的程序与原则

一、测量工作的基本内容

在建筑工程测量中, 测量工作的基本任务是地形图测绘和施工放样。地球表面复杂多样的形态可分为地物和地貌两大类。地面上的固定性物体, 如房屋、道路、桥梁、湖泊、森林、草地等, 称为地物; 地球表面各种高低起伏的形态, 如高山、深谷、陡坡、悬崖和雨裂冲沟等, 称为地貌。地物和地貌总称为地形。地形图测绘是将地面所有地貌和地物, 使用测量仪器, 按一定的程序和方法将其测绘成图。施工放样则是根据图上设计好的厂房、道路、桥梁等的轴线位置、尺寸及高程等, 算出各特征点与控制点之间的距离、角度、高差等

数据,将其如实地标定到地面并在竣工后提供有关测绘保障,以确保生产安全。

那么,如何测绘地球表面千差万别、复杂多样的地物和地貌呢?根据点、线的几何关系可知,地物的轮廓线是直线和曲线,曲线又可看做由许多短直线段所组成。地物和地貌的形状总是由自身的特征点构成的,只要在实地测绘出这些特征点的位置,它们的形状和大小就能在图上得到正确反映。因此,测量工作的基本问题就是测定地面点的平面位置和高程,即测量地面点的三维坐标 (X,Y,H) 。

在测量工作中,地面点的三维坐标一般是间接测出来的。设 A 、 B 、 C 为地面上的三点,如图1-10所示,投影到水平面上的位置分别为 a 、 b 、 c 。如果 A 点的位置已知,要确定 B 点的位置,需要确定 B 点到 A 点在水平面上的水平距离 D_{AB} 和 B 点位于 A 点的方位。图中 ab 的方向可以用通过 a 点的指北方向与 ab 的夹角(水平角) α 表示,有了 D_{AB} 和 α , B 点在图中的平面位置 b 就可以确定。由于 A 、 B 两点的高程不同,除平面位置外,还要知道它们的高低关系,即 A 、 B 两点的高程 H_A 、 H_B 或 A 、 B 两点间的高差 h_{AB} ,这样 B 点的位置就完全确定了。如果还要确定 C 点在图中的位置 c ,则需要测量 B 点到 C 点在水平面的水平距离 D_{BC} 及 b 点上相邻两边的水平夹角 β 以及 H_C 或 h_{BC} 。

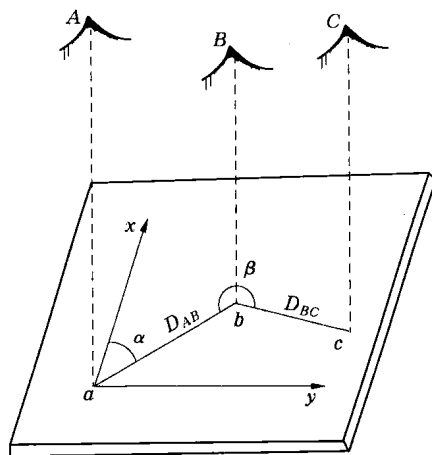


图 1-10

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。测量地面点的水平距离、水平角及高程是测量的基本工作。

二、测量工作的基本原则

测量工作中要在一个已知点上测绘该测区所有的地物和地貌是不可能的,只能测量其附近的范围。因此,只能在若干点上分区观测,最后才能拼成一幅完整的地形图。施工放样也是如此。但无论采用何种方法、使用何种仪器进行测量或放样,都会给其成果带来误差。为了防止测量误差的逐渐传递和累积,要求测量工作遵循在布局上“从整体到局部”、在工作程序上“先控制后碎部”、在精度上“从高级到低级”的基本原则进行。同时,测量工作必须进行严格的检核,“前一步工作未作检核不进行下一步测量工作”是组织测量工作应遵循的又一个原则。