

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育测绘类专业“十二五”规划教材

CELIANG JICHU

测量基础

张晓雅 李笑娜 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

P2
20131

内 容 简 介

本书是根据《国务院关... 全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育测绘类专业“十二五”规划教材

测量基础

张晓雅 李笑娜 主编



本教材是根据《国务院关... 高等职业教育测绘类专业“十二五”规划教材

为突出教材的实用性和... 引入相关工程案例, 增强针对性... 以岗位工作为依据, 将教学... 有效地组合, 改变了传统教材的知识... 教学项目, 围绕能力目标组织教... 过程清晰, ⑤强化实践动手能力... 要求及考核标准等, 教学目的明... 展, 为学生后续发展做了相应的... 业的良好习惯; ⑧通篇语言简练... 便于自学。

本教材共分6个学习项目... 导线测量和地形图测量。

本书可作为高等职业院校测绘类专业、铁道工程、道路与... 工程、建筑工程、农田水利等相应的土木类专业教材, 也可作为土木... 技术人员的学习用书。

本教材由西安铁路职业技术学院张晓雅、石家庄铁路职业技术学院... 编。项目1、项目4、项目5由张晓雅编写, 项目2、项目3由李笑娜... 天津铁道职业技术学院夏春玲编写。全书由张晓雅统稿。

全书完成后, 由西安铁路职业技术学院... 贵的意见和建议。该书在编写过程中也得到了西安铁路职业技术学院... 铁道职业技术学院、天津铁道职业技术学院等同仁的大力支持... 表示衷心地感谢!

中国铁道出版社

2012年·北京

地址: 北京市丰台区... 电话: (010) 51873170... 邮编: 100071

内 容 简 介

本书为高等职业教育测绘类专业“十二五”规划教材。本教材共分6个项目，分别为项目1：测量学认识；项目2：角度测量；项目3：距离测量；项目4：高程测量；项目5：导线测量；项目6：地形图测绘。

本书可作为高等职业技术学院测绘类专业，铁道工程、道路与桥梁、城市轨道交通工程、建筑工程、农田水利等相关的土建类专业的教材；也可作为土建类有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

测量基础/张晓雅,李笑娜主编. —北京:
中国铁道出版社, 2012.8

高等职业教育测绘类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-15040-2

I. ①测… II. ①张… ②李… III. ①测量学—高等
职业教育—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第154939号

书 名: 测量基础

作 者: 张晓雅 李笑娜 主编

策 划: 刘红梅 电话: 010-51873133 邮箱: mm2005td@126.com 读者热线: 044-668-0820

责任编辑: 刘红梅

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 孙 玫

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 三河市华业印装厂

版 次: 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

开 本: 787mm×1 092mm 1/16 印张: 12.75 字数: 324千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-15040-2

定 价: 28.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187



前言

项目1

测量学认知

目录



本教材是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》和教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,突出以“能力为本位”的职业教育思想而编写的。

为突出教材的实用性和通用性,本教材编写体现如下特征:①理论联系实际,引入相关工程案例,增强针对性;②以工程施工为导向,将知识、能力项目化,增强职业性;③以岗位工作为依据,将教学内容任务化,增强操作性;同时将知识进行有效地组合,改变了传统教材的知识排序;④突出能力目标,体现能力本位,每个教学项目,围绕能力目标组织教学内容,做到基本概念准确、作业方法简洁、实施过程清晰;⑤强化实践动手能力,在每个教学项目中都配有相应的实践教学内容、要求及考核标准等,教学目的明确;⑥注重拓展知识面,每个项目中增加了知识拓展,为学生后续发展做了相应的知识铺垫;⑦以测量规范为依据,培养学生照章作业的良好习惯;⑧通篇语言简练易懂、便于自学。

本教材共分6个学习项目,即:测量学认知、角度测量、距离测量、高程测量、导线测量和地形图测绘。

本书可作为高等职业技术学院测绘类专业、铁道工程、道路与桥梁、城市轨道交通工程、建筑工程、农田水利等相应的土建类专业的教材,也可作为土建类有关工程技术人员参考用书。

本教材由西安铁路职业技术学院张晓雅、石家庄铁道职业技术学院李笑娜主编。项目1、项目4、项目5由张晓雅编写;项目2、项目3由李笑娜编写;项目6由天津铁道职业技术学院夏春玲编写。全书由张晓雅统一修改定稿。

全书完成后,由西安铁路职业技术学院赵景民进行认真审稿,提出了许多宝贵的意见和建议。该书在编写过程中,也得到了西安铁路职业技术学院、石家庄铁道职业技术学院、天津铁道职业技术学院等同仁的大力支持和帮助,在此一并表示衷心地感谢!

编者

2012年6月



目录

项目 1 测量学认知	1
典型工作任务 1 测量学认识	2
典型工作任务 2 确定地面点的空间位置	3
复习思考题	12
项目 2 角度测量	14
典型工作任务 1 经纬仪认识	15
典型工作任务 2 水平角测量	25
典型工作任务 3 竖直角测量	30
典型工作任务 4 经纬仪检验与校正	35
复习思考题	43
项目 3 距离测量与直线定向	45
典型工作任务 1 钢尺量距	47
典型工作任务 2 视距测量	54
典型工作任务 3 光电测距	57
典型工作任务 4 确定直线方向	64
复习思考题	69
项目 4 高程测量	71
典型工作任务 1 普通水准测量	73
典型工作任务 2 三等和四等水准测量	98
典型工作任务 3 三角高程测量	106
复习思考题	114
项目 5 导线测量	116
典型工作任务 1 导线测量	118
典型工作任务 2 交会法加密导线	141
复习思考题	146
项目 6 地形图测绘	147
典型工作任务 1 认识地形图	149
典型工作任务 2 地形图测绘——经纬仪视距法	163
典型工作任务 3 地形图应用	187
复习思考题	199
参考文献	200

项目 1 测量学认知



项目描述

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球表面的形状和大小以及确定地球表面(含空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,并对这些空间位置的信息进行处理、储存、管理的科学。通过本项目的学习,初步了解测量学的概念、分类、作用、点位确定方法等基本知识,对后续学习测量的 3 项基本工作奠定基础。



拟实现的教学目标

1. 能力目标

- 能利用测量学的概念理解测量学的原理;
- 能理解点的平面位置投影和平面坐标概念;
- 能理解点的高程位置投影和高程概念。

2. 知识目标

- 掌握测量学的概念、分类、作用及任务;
- 掌握点的平面位置投影规律和平面坐标确定方法;
- 掌握点的高程位置确定方法;
- 掌握测量工作原则和要求。

3. 素质目标

- 培养学生独立学习能力,养成自主学习的习惯;
- 培养学生团结协作的意识。



相关案例——测量学的意义

(1) 案例一简介:某钢厂根据生产需要,对钢厂进行改建和扩建。为了使改建、扩建更合理,现需要测绘人员测绘钢厂厂区的地形图,作为后续改建、扩建的设计依据,测图比例尺为 1:2 000。地形图就是将地球表面的地物和地貌按照一定的投影方法、比例关系和规定符号缩绘在平面上而形成的图形,其比例尺通常大于 1:100 万。地形图上既表示点的平面位置,也表示点的高程位置。地形图不同于我们看到的行政区划地图和游览图,它对地形的表示精确、详细,是各类土木工程进行工程设计和建设的依据,也是军队各级指挥员指挥战斗行动所必需的重要工具。

(2) 案例二简介:钢厂地形图测绘完毕后,需要在地形图上设计新的厂房及相应的配套设施,测绘人员要将图纸上设计好的建筑物或构筑的平面位置和高程位置按照设计的要求标定到地面上,作为工程施工的依据。

典型工作任务1 测量学认识

1.1.1 工作任务

通过测量学基本概念知识的学习,了解测量学的概况,明确本课程的学习意义和价值,对测绘、测设有一个基本认识。主要达到以下目标:

- (1)掌握测量学的概念、分类、作用及任务;
- (2)掌握点的平面位置投影规律和平面坐标确定方法;
- (3)掌握点的高程位置确定方法;
- (4)掌握测量工作原则和要求。

说明:测量学是研究地球形状和大小的一门学科。它的主要任务是测绘地球的形状和大小,为地球科学提供必要的数据和资料;二是测绘不同比例尺的地形图,为工程建设、城市规划、国土资源、国防建设等提供必要的图纸资料和数据资料;三是将工程建设中设计好的建筑物或构筑物按照设计的要求测设于地面,为工程施工提供依据。

1.1.2 相关配套知识

1. 测量学的概念及分类

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球形状和大小及确定地球表面(含空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,并对这些空间位置信息进行处理、储存、管理的科学。

测绘学是一门既古老而又在不断发展中的学科。按照研究范围和对象及采用技术的不同,测量学可以分为以下多个学科:

(1)大地测量学:研究和测定地球形状、大小和地球重力场,以及建立大面积范围内控制网的理论、技术和方法的学科。在大地测量学中,必须考虑地球曲率的影响。由于空间技术的发展,大地测量学正在从常规大地测量学向空间大地测量学和卫星大地测量学方向发展。

(2)普通测量学:不考虑地球曲率的影响,研究在地球表面局部区域(小于 10 km^2)内测绘工作的理论、技术和方法的学科。

(3)摄影测量学:研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息,以确定其形状、大小和空间位置的学科。根据获得像片的方式不同,摄影测量学又可以分为航空摄影测量学、航天摄影测量学、地面摄影测量学和水下摄影测量学等。

(4)海洋测量学:研究以海洋和陆地水域为对象所进行的测量和海图编制工作的学科。

(5)工程测量学:研究工程建设在勘测设计、施工和管理各阶段进行测量工作的理论、技术和方法的学科。

(6)地图制图学:利用测量、采集和计算所得的成果资料,研究各种地图的制图理论、原理、工艺技术和应用的学科。研究内容包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。这门学科正在向制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

2. 测量学的任务

测量学是研究地球形状和大小的一门学科,其主要任务有3项。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。二是测绘(也称测定)。测绘是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据(三维坐标或方向、距离、高程等),之后按一定比例将地球表面的地物和地貌缩绘在图纸上,供经济建设、国防建设、规划设计及科学研究

使用。三是测设。测设是指把图纸上规划设计好的建筑物(或构筑物)按照设计的要求标定在地面上,作为工程施工的依据,是改造自然的过程。

3. 测量学在土木工程建设中的作用

测量学的主要任务是大比例地形图的测绘、建筑物的施工测量和建筑物的变形观测。测绘工作为各项建设项目的勘测、设计、施工、竣工及养护维修等服务,遍布于国民经济建设和国防建设的各部门和各个方面。随着科学技术的发展,其作用将日益扩大。近年来,在地震预测、海底资源勘测、近海油田钻探、地下电缆埋设、灾情监视与调查、宇宙空间技术以及其他科学研究方面都越来越多地用到测绘技术;科学技术的研究、地壳的形变、地震预报以及地极周期性运动的研究等,也都要应用测绘资料。

在基础设施建设、城镇规划、农田水利建设等各类土木工程建设中,从勘测设计到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。例如,铁路、公路在建造之前,为了确定一条最经济合理的路线,首先必须进行该地带的测量工作,根据测量成果绘制带状地形图,在地形图上进行线路设计,然后将设计路线的位置标定在地面上以便进行施工;在路线跨越河流时必须建造桥梁,山地需要开挖隧道,开挖之前,必须在地形图上确定隧道的位置,并通过测量数据计算隧道的长度和方向;在隧道施工期间,通常从隧道两端开挖,这就需要根据测量的结果指示开挖方向等,使之符合设计要求。在民用建筑和工业建筑施工时,首先要测绘地形图,之后进行场地平整,然后进行建筑物定位放样、轴线投测、标高传递等一系列工作。

可见,测量工作贯穿于土木工程建设的全过程。因此,学习和掌握测量学的基本知识和技能是土木工程各专业的技术人员的基本职业素质要求。

典型工作任务2 确定地面点的空间位置

1.2.1 工作任务

通过地面点位确定知识的学习,主要达到以下目标:

- (1)理解地球的形状,掌握地面点投影的规律和测量坐标系;
- (2)掌握高程基准面的确定和地面点的高程定义;
- (3)掌握确定地面点位的三要素。

说明:要确定地球表面的形状和大小,必须从研究组成体最基本的元素点入手,了解点的投影规律及坐标系,从而确定点位的3个基本要素(平面坐标 x 、 y 和高程 H)。

1.2.2 相关配套知识

1. 地面点平面位置的表示方法

(1)地球的形状和大小

1)水准面和水平面

测量工作是在地球的自然表面进行的,而地球自然表面既不平坦也不规则,有高达8 848.13 m的珠穆朗玛峰,也有深至11 022 m的马里亚纳海沟,虽然它们高低起伏悬殊,但与半径为6 371 km的地球比较,还是可以忽略不计的。另外,海洋面积约占地球表面总面积的71%,陆地面积仅占29%。因此,人们设想以一个静止不动的水面向陆地延伸,形成一个闭合的曲面包围整个地球,这个闭合曲面称为水准面。水准面的特点是其上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。与水准面相切的平面,称为水平面。

2) 大地水准面

事实上,海水受潮汐及风浪的影响,时高时低,所以水准面有无数个,其中与平均海面相吻合的水准面称为大地水准面,也称为绝对水准面,它是测量工作的基准面。由大地水准面所包围的地球形体称为大地体,它代表了地球的自然形状和大小。

3) 铅垂线

由于地球自转,地球上任一点都同时受到离心力和地球引力的作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线,它是测量工作的基准线。

4) 地球椭球体

由于地球内部质量分布不均匀,重力也受其影响故引起铅垂线的方向产生不规则的变化,致使大地水准面成为一个有微小起伏的复杂曲面,如图 1.1(a)、(b)所示,人们无法在这样的曲面上直接进行测量数据的处理。为了解决这个问题,人们选用一个既非常接近大地水准面、又能用数学式表示的几何形体来代替地球总的形状,这个几何形体是由椭圆绕其短轴旋转而成的旋转椭球体,又称地球椭球体,如图 1.1(c)所示。地球椭球体的形状和大小取决于椭圆的长半径 a ,短半径 b 及扁率 α ,其关系式为:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (1.1)$$

我国目前采用的地球椭球体的参数值为: $a = 6\,378\,140\text{ m}$, $b = 6\,356\,755\text{ m}$, $\alpha = 1:298.257$ 。

由于地球椭球体的扁率 α 很小,所以当测量的区域不大时,可将地球看做半径为 $6\,371\text{ km}$ 的圆球;在小范围内进行测量工作时,可以用水平面代替大地水准面。

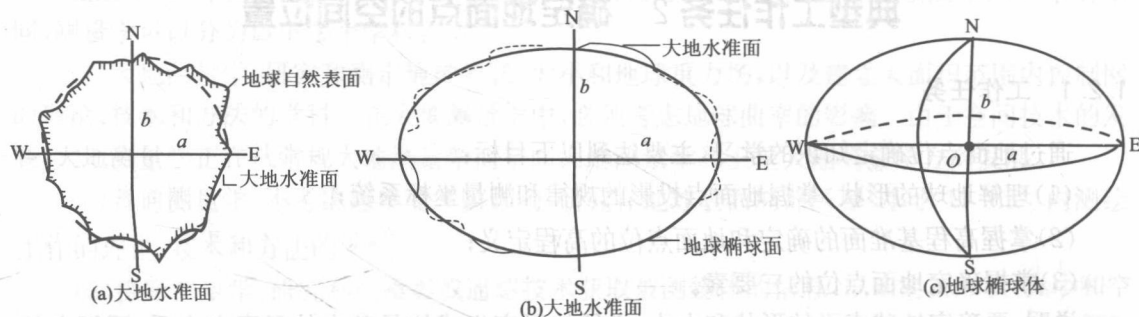


图 1.1 大地水准面与地球椭球体

(2) 确定地面点平面位置的方法

测量工作的实质是确定地面点的空间位置,而地面点的空间位置须由 3 个参数来确定,即该点在大地水准面上的投影位置(两个参数 x 、 y)和该点的高程 H 。

1) 地面点在大地水准面上的投影位置

地面点在大地水准面上的投影位置,可用地理坐标和平面直角坐标表示。

① 地理坐标

地理坐标是用经度 λ 和纬度 ϕ 表示地面点在大地水准面上的投影位置。由于地理坐标是球面坐标,不便于直接进行各种计算,在工程上为了使用方便,常采用平面直角坐标系来表示地面点位。下面介绍两种常用的平面直角坐标系。

② 高斯平面直角坐标

地球椭球面是一个不可展的曲面,必须通过投影的方法将地球椭球面的点位换算到平面上。

地图投影方法有多种,我国采用的是高斯投影法。利用高斯投影法建立的平面直角坐标系,称为高斯平面直角坐标系。在广大区域内确定点的平面位置,一般采用高斯平面直角坐标系。

高斯投影法是将地球划分成若干带,称为投影带,然后将每带投影到平面上。如图 1.2 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, $0^\circ \sim 6^\circ$ 为第 1 号带, $6^\circ \sim 12^\circ$ 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° ,设任意号带中央子午线的经度 L_0 ,则:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1.2)$$

式中 N —— 6° 带的带号。

图 1.2 高斯平面直角坐标的分带

为了叙述方便,把地球看做圆球,并设想把投影面卷成圆柱面套在地球上,如图 1.3(a) 所示,使圆柱的轴心通过圆球的中心,并与某 6° 带的中央子午线相切。在球面图形与柱面图形保持等角的条件下,将该 6° 带上的图形投影到圆柱面上,然后将圆柱面沿过南、北极的母线剪开,并展开成平面,这个平面称为高斯投影平面。如图 1.3(b) 所示,投影后在高斯投影平面上中央子午线和赤道的投影是两条互相垂直的直线,其他的经线和纬线是曲线。

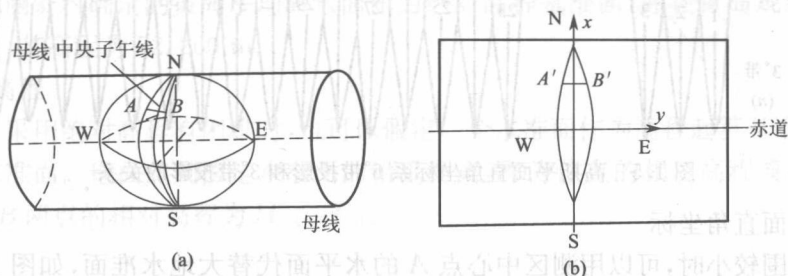


图 1.3 高斯投影方法

我们规定中央子午线的投影为高斯平面直角坐标系的纵轴 x ,赤道的投影为高斯平面直角坐标系的横轴 y ,两坐标轴的交点为坐标原点 O 。并令 x 轴向北为正, y 轴向东为正,由此建立了高斯平面直角坐标系,如图 1.4 所示。

在图 1.4(a) 中,地面点 A 、 B 的平面位置可用高斯平面直角坐标 x 、 y 来表示。由于我国位于北半球, x 坐标均为正值, y 坐标则有正有负,因此:

$$y_A = +136\,780\text{ m}$$

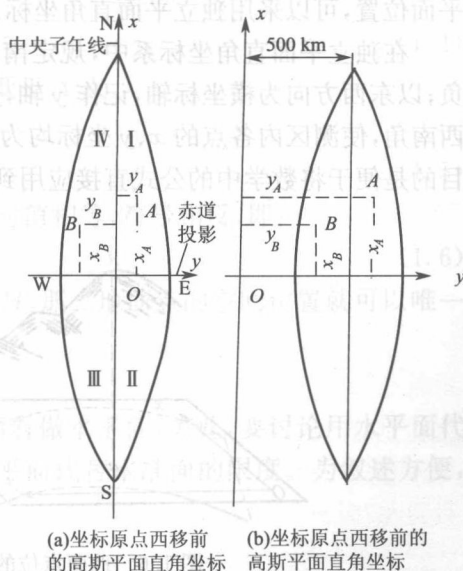
$$y_B = -272\,440\text{ m}$$

为了避免 y 坐标出现负值,将每带的坐标原点向西移 500 km,如图 1.4(b) 所示。纵轴西移后,

$$y_A = (500\,000 + 136\,780)\text{ m} = 636\,780\text{ m}$$

$$y_B = (500\,000 - 272\,440)\text{ m} = 227\,560\text{ m}$$

为了正确区分某点所处投影带的位置,规定在横



(a) 坐标原点西移前的高斯平面直角坐标 (b) 坐标原点西移前的高斯平面直角坐标

图 1.4 高斯平面直角坐标

坐标值前冠以投影带带号。如 A、B 两点均位于第 20 号带,则:

$$y_A = 20\ 636\ 780\ \text{m}$$

$$y_B = 20\ 227\ 560\ \text{m}$$

在高斯投影中,除中央子午线外,球面上其余的曲线投影后都会产生变形。离中央子午线近的部分变形小,离中央子午线越远则变形越大,两侧对称。当要求投影变形更小时,可采用 3°带投影。

如图 1.5 所示,3°带是从东经 1°30′开始,每隔经度 3°划分一带,将整个地球划分成 120 个带。每一带按前面所述方法,建立各自的高斯平面直角坐标系。设各带中央子午线的经度 L_0' ,则:

$$L_0' = 3n \quad (1.3)$$

式中 n ——3°带的带号。

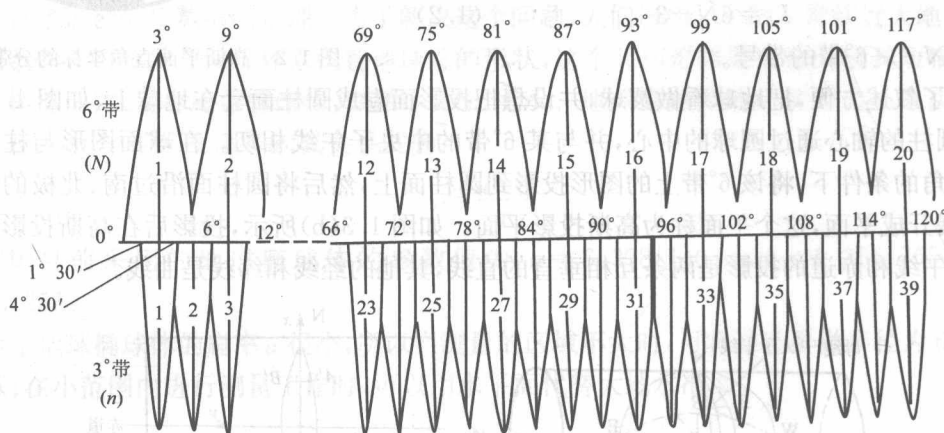


图 1.5 高斯平面直角坐标系 6°带投影和 3°带投影的关系

③独立平面直角坐标

当测区范围较小时,可以用测区中心点 A 的水平面代替大地水准面,如图 1.6 所示。在这个平面上建立的测区平面直角坐标系,称为独立平面直角坐标系。在局部区域内确定点的平面位置,可以采用独立平面直角坐标。

在独立平面直角坐标系中,规定南北方向为纵坐标轴,记作 x 轴, x 轴向北为正,向南为负;以东西方向为横坐标轴,记作 y 轴, y 轴向东为正,向西为负;坐标原点 O 一般选在测区的西南角,使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值;坐标象限按顺时针方向编号,如图 1.7 所示,其目的是便于将数学中的公式直接应用到测量计算中,而不需做任何变更。

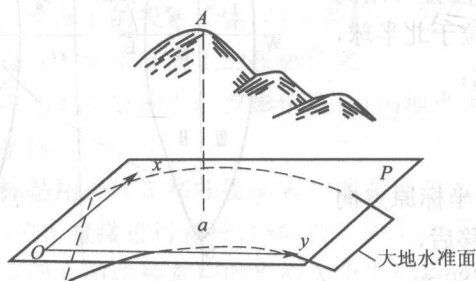


图 1.6 地面点位的确定

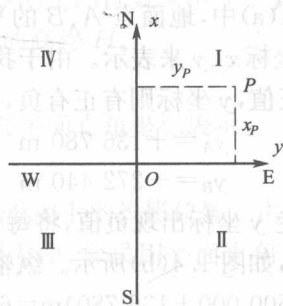


图 1.7 坐标象限

2. 地面点高程位置的表示

(1) 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程,又称海拔,在工程测量中习惯称为高程,用 H 表示。如图 1.8 所示,地面点 A 、 B 的高程分别为 H_A 、 H_B 。

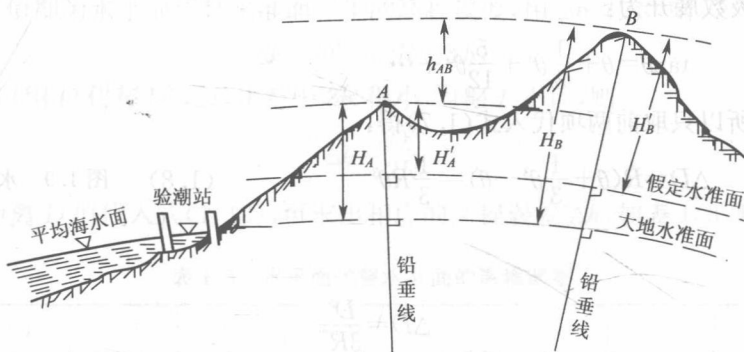


图 1.8 高程和高差

建国以来,我国曾以青岛验潮站多年的观测资料求得黄海平均海水面,作为我国的大地水准面,即绝对高程的基准面。目前,我国采用的“1985 年国家高程基准”,是以 1953—1979 年青岛验潮站观测资料确定的黄海平均海水面作为绝对高程基准面,并在青岛观象山上建立了国家水准原点,其高程为 72.260 m。

(2) 相对高程

个别地区采用绝对高程有困难时,也可以假定一个水准面作为高程起算基准面,这个水准面称为假定水准面。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程或假定高程。如图 1.8 中, A 、 B 两点的相对高程为 H'_A 、 H'_B 。

(3) 高差

地面上任意两点间的高程之差,称为高差,用 h 表示。高差有方向和正负。如图 1.8 中, A 、 B 两点的高差为:

$$h_{AB} = H_B - H_A \quad (1.4)$$

当 h_{AB} 为正时, B 点高于 A 点;当 h_{AB} 为负时, B 点低于 A 点。

B 、 A 两点的高差为:

$$h_{BA} = H_A - H_B \quad (1.5)$$

由此可见, A 、 B 两点的高差与 B 、 A 两点的高差绝对值相等,符号相反,即:

$$h_{AB} = -h_{BA} \quad (1.6)$$

综上所述,我们只要知道地面点的 3 个参数 x 、 y 、 H ,那么地面点的空间位置就可以唯一确定了。

3. 用水平面代替水准面的范围

前面我们介绍到当测区范围较小时,可以把水准面看做水平面,为此,要讨论用水平面代替水准面对距离、角度和高差的影响,以便给出限制水平面代替水准面的限度。为叙述方便,假定水准面为球面。

(1) 对距离的影响

如图 1.9 所示,地面上 A 、 B 两点在大地水准面上的投影点是 a 、 b ,用过 a 点的水平面代替

大地水准面,则 B 点在水平面上的投影为 b' 。

设 ab 的弧长为 D , ab' 的长度为 D' , 球面半径 R , D 所对圆心角为 θ , 则以水平长度 D' 代替弧长 D 所产生的误差 ΔD 为:

$$\Delta D = D' - D = R \tan \theta - R \theta = R(\tan \theta - \theta) \quad (1.7)$$

将 $\tan \theta$ 用级数展开为:

$$\tan \theta = \theta + \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{5}{12} \theta^5 + \dots$$

因为 θ 角很小, 所以只取前两项代入式(1.7)得:

$$\Delta D = R(\theta + \frac{1}{3} \theta^3 - \theta) = \frac{1}{3} R \theta^3 \quad (1.8)$$

又因 $\theta = \frac{D}{R}$, 则:

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (1.9)$$

$$\Delta D / D = \frac{D^2}{3R^2} \quad (1.10)$$

若取地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$, 并以不同的距离 D 值代入式(1.9)和式(1.10), 则可求出距离误差 ΔD 和相对误差 $\Delta D / D$, 如表 1.1 所示。

表 1.1 水平面代替水准面的距离误差和相对误差

距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	相对误差 $\Delta D / D$	距离 $D(\text{km})$	距离误差 $\Delta D(\text{mm})$	相对误差 $\Delta D / D$
10	8	1 : 1 220 000	50	1 026	1 : 49 000
20	128	1 : 200 000	100	8 212	1 : 12 000

由表 1.1 可知, 当距离 D 为 10 km 时, 用水平面代替水准面所产生的距离相对误差为 1 : 1 220 000, 这样小的误差, 就是对精密的距离测量也是允许的。因此, 在半径为 10 km 的范围内进行距离测量时, 可以用水平面代替水准面, 而不必考虑地球曲率对距离的影响。

(2)对水平角的影响

从球面三角学可知, 同一空间多边形在球面上投影的各内角和, 比在平面上投影的各内角和大一个球面角超值 ϵ :

$$\epsilon = \rho \frac{S}{R^2} \quad (1.11)$$

式中 ϵ ——球面角超值(");

S ——球面多边形的面积(km^2);

R ——地球半径(km);

ρ ——1 弧度的秒值, $\rho = 206\,265''$ 。

以不同的面积 S 代入式(1.11), 可求出球面角超值, 如表 1.2 所示。

表 1.2 水平面代替水准面的水平角误差

球面多边形面积 $S(\text{km}^2)$	球面角超值 $\epsilon('')$	球面多边形面积 $S(\text{km}^2)$	球面角超值 $\epsilon('')$
10	0.05	100	0.51
50	0.25	300	1.52

由表 1.2 可知,面积 S 为 100 km^2 时,用水平面代替水准面所产生的角度误差仅为 $0.51''$,所以在一般的测量工作中,可以忽略不计。

(3)对高程的影响

如图 1.9 所示,地面点 B 的绝对高程为 H_B ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 H'_B , H_B 与 H'_B 的差值即为水平面代替水准面产生的高程误差,用 Δh 表示,则:

$$\Delta h = D'^2 / (2R + \Delta h)$$

上式中,可以用 D 代替 D' , Δh 相对于 $2R$ 很小,可略去不计,则:

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1.12}$$

以不同的距离 D 值代入式(1.12),可求出相应的高程误差 Δh ,如表 1.3 所示。

表 1.3 水平面代替水准面的高程误差

距离 $D(\text{km})$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	5	10
$\Delta h(\text{mm})$	0.8	3	7	13	20	78	314	1 962	7 848

由表 1.3 可知,用水平面代替水准面,对高程的影响是很大的,在 0.2 km 的距离上就有 3 mm 的高程误差,这是不允许的。因此,在进行高程测量时,即使距离很短,也应考虑地球曲率对高程的影响。

4. 测量工作概述

(1)测量的基本工作

地球表面的形态是复杂多样的,在测量工作中,一般将其分为两大类:地面上的物体如河流、道路、房屋等称为地物;地面高低起伏的形态称为地貌。地物和地貌统称为地形。地形图由为数众多的地形特征点所组成。为测绘地形图,在测区中构成一个骨架,起控制作用,将它们称为控制点。测量控制点的坐标的工作称为控制测量。以控制点为依据,测量控制点至碎部点(地形的特征点)之间的水平距离、高差及其相对于某一已知方向的角度,来确定碎部点的位置,这一工作称为碎部测量。

地面点的平面直角坐标和高程一般不是直接测定,而是间接测定的。通常是测出待定点与已知点(已知平面直角坐标和高程的点)之间的几何关系,然后推算出待定点的平面直角坐标和高程。测定地面点平面直角坐标的主要工作是测量水平角和水平距离,测定地面点高程的主要工作是测量高差。

综上所述,测量的基本工作是:高程测量、水平角测量、水平距离测量。通常,将水平角(方向)、距离和高程称为地面点位的三要素。

(2)测量工作的基本原则

①“由整体到局部”、“先控制后碎部”的原则

无论是测绘地形图还是建筑物的施工放样,其最基本的问题都是测定或测设地面点的位置。在测量过程中,为了避免误差的积累,保证测量区域内所测点位具有必要的精度,首先要在测区内选择若干对整体具有控制作用的点作为控制点,用较精密的仪器和精确的测量方法,测定这些控制点的平面位置和高程,然后根据控制点进行碎部测量和测设工作。这种“从整体到局部”、“先控制后碎部”的方法是测量工作的一个原则,它可以减少误差的积累,并且可同时在几个控制点上进行测量,加快测量工作进度。

②“前一步工作未作检核不进行下一步工作”的原则

当测定控制点的相对位置有错误时,以其为基础所测定的碎部点或测设的放样点也必然有错。为避免错误的结果对后续测量工作的影响,测量工作必须重视检核,因此,“前一步工作未作检核不进行下一步工作”是测量工作的又一个原则。

(3)测量工作的基本要求

①“质量第一”的观念

为了确保施工质量符合设计要求,需要进行相应的测量工作,测量工作的精度会影响施工质量。因此,施工测量人员应有“质量第一”的观念,遵循的原则是相关规范。

②严肃认真的工作态度

测量工作是一项科学工作,具有客观性。在测量工作中,为避免产生差错,应进行相应的检查和检核,杜绝弄虚作假、伪造成果、违反测量规则的错误行为。因此,施工测量人员应有严肃认真的工作态度。

③保持测量成果的真实、客观和原始性

测量的观测成果是施工的依据,需长期保存。因此,应保持测量成果的真实、客观和原始性。

④要爱护测量仪器与工具

每一项测量工作,都要使用相应的测量仪器,测量仪器的状态直接影响测量观测成果的精度。因此,施工测量人员应爱护测量仪器与工具。

知识拓展

测绘学概况

1. 测量学的产生

(1)生产、生活的需要以及建筑、农田、水利建设等

公元前 27 世纪建设的埃及大金字塔,其形状与方向都很准确,说明当时已有放样的工具和方法。

我国的夏商时代,为了治水开始了水利工程测量工作。司马迁在《史记》中对夏禹治水有这样的描述:“陆行乘车,水行乘船,泥行乘橇,山行乘撵,左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九道,陂九泽,度九山。”这里所记录的是当时的工程勘测情景,准绳和规矩就是当时所用的测量工具,准是可揆平的水准器,绳是丈量距离的工具,规是画圆的器具,矩则是一种可定平,可测长度、高度、深度和画圆、画矩形的通用测量仪器。早期的水利工程多为河道的疏导,以利防洪和灌溉,其主要的测量工作是确定水位和堤坝的高度。秦代李冰父子领导修建的都江堰水利枢纽工程,曾用一个石头人来标定水位,当水位超过石头人的肩时,下游将受到洪水的威胁;当水位低于石头人的脚背时,下游将出现干旱。这种标定水位的办法与现代水位测量的原理完全一致。北宋时沈括为了治理汴渠,测得“京师之地比泗州凡高十九丈四尺八寸六分”,是水准测量的结果。1973 年从长沙马王堆汉墓出土的地图包括了地形图、驻军图和城邑图 3 种,不仅所表示的内容相当丰富,绘制技术也非常熟练,在颜色使用、符号设计、内容分类和简化等方面都达到了很高水平,是目前世界上发现的最早的地图,这与当时发达的测绘术是分不开的。

公元前 14 世纪,在幼发拉底河与尼罗河流域曾进行过土地边界的划分测量。我国的地籍管理和土地测量最早出现在殷周时期,秦、汉过渡到私田制。隋唐实行均田制,建立户籍册。

宋朝按乡登记和清丈土地,出现地块图。到了明朝洪武四年,全国进行土地大清查和勘丈,编制的鱼鳞图册是世界最早的地籍图册。

(2) 军事、交通运输的需要——旅行、航海等

工程测量学的发展也受到了战争的促进。中国战国时期修筑的午道、公元前 210 年秦始皇修建的“堑山堙谷,千八百里”直道、古罗马构筑的兵道以及公元前 218 年欧洲修建的通向意大利的“汉尼拔通道”等,都是著名的军用道路。修建中应用了测量工具进行地形勘测、定线测量和隧道定向开挖测量。

唐代李筌指出“以水佐攻者强……先设水平测其高下,可以漂城,灌军,浸营,败将也”,说明了测量地势高低对军事成败的作用。中华民族伟大象征的万里长城修建于秦汉时期,这一规模巨大的防御工程,从整体布局到修筑,都进行了详细的勘察测量和施工放样工作。

我国是世界上采矿业发展最早的国家,在公元前 2 000 多年的黄帝时代就已开始应用金属,如铜器、铁器等,到了周代金属工具已普遍应用。据《周礼》记载,在周朝已建立专门的采矿部门,开采时很重视矿体形状,并使用矿产地质图来辨别矿产的分布。

我国四大发明之一的指南针,从司南、指南鱼算起,有 2 000 多年的历史,对矿山测量和其他工程勘测有很大的贡献。在国外,意大利都灵保存有公元前 15 世纪的金矿巷道图。公元前 13 世纪埃及也有按比例缩小的巷道图。公元前 1 世纪,希腊学者格罗·亚里山德里斯基对地下测量和定向进行了叙述。德国在矿山测量方面有很大贡献,1556 年格·阿格里柯拉出版的《采矿与冶金》一书,专门论述了开采中用罗盘测量井下巷道的一些问题。

2. 测量学的发展

这是人类长期探索的问题。早在公元前 6 世纪,古希腊的毕达哥拉斯(Pythagoras)就提出了地球形状的概念。两个世纪后,亚里士多德(Aristotle)做了进一步论证,支持这一学说。又一个世纪后,埃拉托斯特尼(Eratosthenes)用在南北两地同时观测日影的办法首次推算出地球子午圈的周长。其想法很简单,先测量地面上一段(子午线)的弧长 l ,再测量该弧长所对的中心角 θ 。则地球的半径 R 就可求得:

$$R = l / \theta$$

地球子午线的周长等于

$$L = 2\pi R$$

这里关键在于如何求 θ 。为此要同时在南北两点测量竖杆影子的长度,凭影长和杆高就可以求得两个杆子与阳光的夹角 ϕ_1 和 ϕ_2 。设在同一时刻两地的阳光相互平行,则

$$\theta = \phi_2 - \phi_1$$

在人类认识地球形状和大小的过程中,测量学获得了飞速的发展。例如:三角测量和天文测量的理论和技术、高精度经纬仪制作的技术、距离丈量的技术及有关理论、测量数据处理的理论以及误差理论等。在测量学发展的过程中很多数学家、物理学家做出了巨大的贡献,如托勒密、墨卡托等。

3. 测量学在军事上的作用

“天时,地利,人和”是打胜仗的三大要素。要有地利就要了解和利用地利。地图上详细标识着山脉、河流、道路、居民点等地形和地物,具有确定位置、辨识方向的作用。

地图一直在军事活动中起着重要的作用,这对于行军、布防以及了解敌情等军事活动都是十分重要的。因此,早就成为军事上不可缺少的工具,获得广泛的应用。

人造卫星定位技术早期用于军事部门,后逐步解密才在测绘及其他众多部门中获得应用;

海洋测量技术首先是由航海的需要而产生,但其高速发展的动力主要来自军事部门的需要……至今军事测绘部门仍在测绘领域科技前沿对重大课题进行探索和研究。传统上各国测绘部门隶属于军事部门,至今相当多国家的测绘部门仍然隶属于军事部门。随着测绘技术在各方面的应用越来越广泛,测绘科技国际间的交流日益频繁,不少国家终于建立了民用的测绘机构。

4. 测量学在国土管理中的作用

测量学的起源和土地界线的划定紧密联系。非洲尼罗河每年泛滥会把土地的界线冲刷掉,为了每年恢复土地的界线很早就采用了测量技术。早期亦称“土地测量”、“土地清丈”等。用以测定地块的边界和坐落,求算地块的面积,在农业为主的社会里,国家为了征税而开展地籍测量,同时记录业主姓名和土地用途等。

在我国,地籍测量是国家管理土地的基础。地籍测量的成果不仅用于征税,还用于管理土地的权属以保障用地的秩序,为了提高土地利用的效益、合理和节约利用十分珍贵和有限的土地。

测量学还服务于国家领土的管理。《战国策·燕策》中关于荆轲刺秦王“图穷而匕首见”的记述,表明在战国时期地图在政治上象征着国家的领土和主权。当代,在一些国家间的领土争执中,也常以对方出版的地图上对国境线的标识作为有利于己方的证据或者用测量技术为手段标定国界。



项目小结

1. 测量学的概念、分类、任务及作用。
2. 地面点位的表示方法:①地球的形状,同学们应搞清楚几个概念:水准面、水平面、大地水准面、椭球体、铅垂线等。②平面位置表示:大地坐标(经度、纬度)、高斯平面直角坐标(x 、 y)和独立平面直角坐标(x 、 y)。③高程位置表示:绝对高程、相对高程、高差。
3. 水平面代替水准面的限度:在面积 S 为 100 km^2 的范围内进行距离测量和角度测量时,可以用水平面代替水准面,不必考虑地球曲率对距离和角度的影响;但进行高程测量时,200 m 的距离由于地球曲率的影响将会产生 3 mm 的高程误差,所以高程测量时要考虑地球曲率的影响。
4. 测量工作的实质:确定点的平面位置和高程位置。确定地面点位的三要素:距离、高程、角度。
5. 测量的 3 项基本工作:高程测量、角度测量;距离测量。
6. 测量工作的原则:①“由整体到局部,先控制后碎步”;②“前一步工作未作检核不进行下一步工作”。
7. 测量工作的要求:①“质量第一”的观念;②严肃认真的工作态度;③保持测量成果的真实、客观和原始性;④要爱护测量仪器与工具。



复习思考题

1. 测量学研究的对象和任务是什么?
2. 已知 $H_A = 36.735 \text{ m}$, $H_B = 48.386 \text{ m}$, 求 h_{AB} 。