

国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

工程测量

主 编 张 仁

副主编 孙冰竹 王洪利 李 岩

胡 月 聂新华

主 审 王永平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材

工 程 测 量

主 编 张 仁

副主编 孙冰竹 王洪利 李 岩

胡 月 聂新华

主 审 王永平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是“国家中等职业教育改革发展示范校建设计划项目”中央财政支持重点建设“水利水电工程施工”专业课程改革系列教材。本书按照工程测量的课程特点，结合工程测量岗位要求所应具备的基本知识和基本技能，将教学内容分为测量基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、小区域控制测量、全站仪的使用、地形图的测绘与应用、施工测量的基本方法、水工建筑物测量、道路工程测量、建筑施工测量、GPS定位原理及应用等12个任务。同时，考虑了新技术、新设备在工程测量中的使用，在内容的编排上适当体现出来。

本书既可作为中等职业教育水利水电工程施工专业及专业群的教材，也可作为水利工程测量员岗位的技术培训教材，同时也可供其他建筑、道路施工等企业有关工程测量技术人员和管理人员参考使用。

图书在版编目（C I P）数据

工程测量 / 张仁主编. -- 北京：中国水利水电出版社, 2014. 1
国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材
ISBN 978-7-5170-1656-4

I. ①工… II. ①张… III. ①工程测量—中等专业学校—教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第005261号

书 名	国家中等职业教育改革发展示范校建设系列教材 工程测量
作 者	主编 张仁 副主编 孙冰竹 王洪利 李岩 胡月 聂新华 主审 王永平
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
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	26.00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

黑龙江省水利水电学校教材编审委员会

主 任：刘彦君（黑龙江省水利水电学校）

副主任：王永平（黑龙江省水利水电学校）

张 丽（黑龙江省水利水电学校）

赵 瑞（黑龙江省水利水电学校）

委 员：张 仁（黑龙江省水利水电学校）

王 安（黑龙江省水利水电学校）

袁 峰（黑龙江省水利水电学校）

魏延峰（黑龙江省水利第二工程处）

马万贵（大庆防洪工程管理处）

吕海臣（齐齐哈尔中引水利工程有限责任公司）

张 娜（哈尔滨第一工具厂）

李状桓（黑龙江傲立信息产业有限公司）

杨品海（广州数控设备有限公司）

武彩清（山西华兴科软有限公司）

周广艳（北京斐克有限公司）

陈 侠（湖北众友科技实业有限公司）

凌 宇（哈尔滨东辰科技股份有限公司）

石 磊（哈尔滨工业大学软件工程股份有限公司）

本书编审人员

主 编：张 仁（黑龙江省水利水电学校）

副主编：孙冰竹（黑龙江省水利水电学校）

王洪利（黑龙江省水利水电学校）

李 岩（黑龙江省水利水电学校）

胡 月（黑龙江省水利水电学校）

聂新华（黑龙江省水利水电学校）

主 审：王永平（黑龙江省水利水电学校）

前言

本书根据现代职业教育的理念,培养具有高素质的技能型人才的目标要求,结合水利工程建设具有投资多、规模大、周期长、工程结构复杂、影响因素多等特点,考虑中职学生的年龄结构和知识水平,将知识的传授贯穿于技能的培养始终,以能力培养为核心,同时注重知识的系统性和适用性,在教材内容的安排上采取由浅入深、由点到面、由单一到综合的认知顺序,技能的训练也如是进行,使知识的传授和技能的训练相互交资,不相脱节,实现理论实际的有机结合。

本书密切结合毕业生从岗的多样性和转岗的灵活性,既体现本专业所要求应具备的基本知识和基本技能的训练,又考虑到学生知识的拓展及未来可持续发展,将水利工程、建筑工程、道路工程等专业涉及的工程建设施工中用到的工程测量作业实施技术和工艺过程有机结合和安排,注重工学结合,力求贴近实际工程测量中操作的一致性和适用性。通过对本书的学习,使学生具有工程测量的基本知识和基本技能,能够独立完成测量过程的工作任务,具备工程测量实施方案的编写能力和组织实施的能力。

本书建议学时为 110,根据中等职业教育特点,按照一般中小型水利工程测量应具备的基本知识和基本技能,本书主要讲述了测量基本知识、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、小区域控制测量、全站仪的使用、地形图的测绘与应用、施工测量的基本方法、水工建筑物测量、道路工程测量、建筑施工测量、GPS 定位原理及应用等 12 个任务。

本书是国家示范性中职学校建设的成果之一,由该课程的建设团队完成。

由于编者的水平、经验及编写时间有限,书中欠妥之处,谨请专家和广大读者批评指正。

作 者

2013 年 11 月

目 录

前言

工作任务 1 测量基本知识	1
学习情境 1.1 测量任务、作用和学习要求	1
学习情境 1.2 地面点位的确定	2
学习情境 1.3 测量工作概述	6
工作任务 2 水准测量	8
学习情境 2.1 水准测量原理及仪器	8
学习情境 2.2 普通水准测量	13
学习情境 2.3 三（四）等水准测量	18
学习情境 2.4 水准仪的检校	21
学习情境 2.5 水准测量的误差	22
学习情境 2.6 自动安平、精密、电子水准仪简介	23
工作任务 3 角度测量	27
学习情境 3.1 角度测量原理	27
学习情境 3.2 光学经纬仪	28
学习情境 3.3 水平角测量	32
学习情境 3.4 竖直角测量	35
学习情境 3.5 光学经纬仪的检验与校正	38
知识拓展 测量的误差	42
工作任务 4 距离测量与直线定向	44
学习情境 4.1 钢尺量距	44
学习情境 4.2 视距测量	49
学习情境 4.3 电磁波测距简介	51
学习情境 4.4 直线定向与坐标计算	52
工作任务 5 小区域控制测量	57
学习情境 5.1 导线测量	57
学习情境 5.2 导线内业计算	59
学习情境 5.3 高程控制测量	64
知识拓展 评定观测精度的标准	67

工作任务 6 全站仪的使用	69
学习情境 6.1 全站仪的认识	69
学习情境 6.2 Leica400 系全站仪使用简介	71
工作任务 7 地形图的测绘与应用	80
学习情境 7.1 地形图的基本知识	80
学习情境 7.2 经纬仪测图	85
学习情境 7.3 地形图的应用	89
工作任务 8 施工测量的基本方法	92
学习情境 8.1 施工放样的基本方法	92
学习情境 8.2 点的平面位置的测设方法	96
学习情境 8.3 全站仪测设点位的方法	100
学习情境 8.4 圆曲线的测设	102
工作任务 9 水工建筑物测量	109
学习情境 9.1 大坝施工测量	109
学习情境 9.2 渠道测量	113
学习情境 9.3 渠道纵、横断面图的测绘	115
工作任务 10 道路工程测量	119
学习情境 10.1 道路施工测量概述	119
学习情境 10.2 交点和转点的测设	123
学习情境 10.3 缓和曲线的测设	126
学习情境 10.4 困难地段的曲线测设	130
学习情境 10.5 坐标的平移转换	132
学习情境 10.6 竖曲线的测设计算	135
工作任务 11 建筑施工测量	137
学习情境 11.1 建筑施工场地的控制测量	137
学习情境 11.2 多层民用建筑施工测量	141
学习情境 11.3 高层建筑施工测量	147
学习情境 11.4 工业建筑施工测量	150
工作任务 12 GPS 定位原理及应用	159
学习情境 12.1 GPS 简介	159
学习情境 12.2 GPS 在工程测量中的应用	161
学习情境 12.3 典型算例	169
参考文献	181

工作任务1 测量基本知识

能力目标：

- (1) 了解测量的基本概念、任务、作用、主要内容、学习目的和要求。
- (2) 理解水准面、大地水准面、绝对高程、相对高程和高差的概念。
- (3) 了解确定地面点的地理坐标系、平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系。
- (4) 了解用水平面代替水准面的限度。
- (5) 熟悉测量工作的组织原则和程序及本课程的学习方法。

学习重点与难点：

重点是地面点位的确定；难点是高斯平面直角坐标系。

学习情境 1.1 测量任务、作用和学习要求

工程测量是技术性较强的一门应用学科。工程测量本身的计算量较大，涉及面较广，如高程计算、坐标计算、工程量计算等，因此要具备数学和工程制图的基本知识。下面从测量学的概念和任务入手，介绍测量学的分支——工程测量所要完成的任务。

1.1.1 测量学与测量的概念

测量学是研究地球的形状和大小以及确定地面（包含空中、地下和海底）点位的一门学科。

测量是利用测量学的知识、使用相应的设备对各种地物和地貌的空间位置与属性等信息进行采集、处理、描绘、使用和管理的一门科学与技术。

1.1.2 测量学的分类

测量学按照研究范围和对象的不同，产生了许多分支学科。一般分为普通测量学、大地测量学、摄影测量学、工程测量学、海洋测量学和制图学。

1.1.3 测量学及工程测量的任务

测量的传统任务主要包括两个部分，即测定和测设。

(1) 测定——由地面到图形。使用各种测量仪器和工具，运用各种测量方法测定地球表面的地物和地貌的位置，得一系列测量数据，依此按一定的比例尺缩绘成图，又称测绘。

(2) 测设——由图形到地面。将图纸上设计好的建筑物的平面位置和高程，按设计要求标定在地面上，作为施工依据，又称施工放样。

工程测量是测量学的一个分支，是在工程建设和资源开发的勘测、设计、施工、竣



工、变形观测和运营管理等阶段中运用测量知识和技术,完成各种测量工作任务。主要任务包括:①测绘大比例尺地形图;②施工放样和竣工测量;③变形观测。

1.1.4 目前发展状况

随着现代电子信息技术的发展,大量的测量学新技术、新设备、新工艺在实践中得到应用。具体有以下几种:

- (1) 全站仪的测量室内外一体化。
- (2) 全球定位系统 GPS。
- (3) 遥感 RS。
- (4) 地理信息系统 GIS。
- (5) 3S 即集定位、遥感、数字信息三位一体技术的结合和数字地球。

1.1.5 “工程测量”课程的主要内容、学习目的和要求

测量的理论和实践是学生必须掌握的基础知识和专业技能之一,因此,“工程测量”是水利工程施工、建筑施工、道路施工等非测量专业的一门技术基础课。

本课程的主要内容包括测量的基础知识,常用测量仪器的组成和使用,高程测量、角度测量和距离测量任务的完成技能,小区控制测量,地形图的测绘与应用,施工放样,水利工程、道路工程、工业与民用建筑工程施工测量的基本作用与方法,现代新型仪器如全站仪、GPS 的原理和使用方法简介等。通过本课程的学习,使学生掌握测量的基本理论、基本知识和基本技能,并使學生能够在工作岗位中胜任测量工作。

测量是一门理论和实践并重的学科,以理论指导实践,以实践促进对知识的深入了解,课堂授课、实验教学和测量实训等应给予同等重视。

工程测量质量的高低,不仅需要一定的理论知识和操作技能,还要具有高度的责任感、认真的工作态度、吃苦耐劳的工作作风、积极的团队协作意识和良好的职业道德。这些理念、意识和行为在课程学习的同时都需要给予注意和加强培养。

学习情境 1.2 地面点位的确定

工程测量研究的最基本对象是空间上的点。测量工作的主要目的是通过确定点的平面坐标 (x, y) 和点距离基准面的高度来确定出空间点的位置。只要将确定点的要素弄清楚,测量工作的基本要点就抓住了。

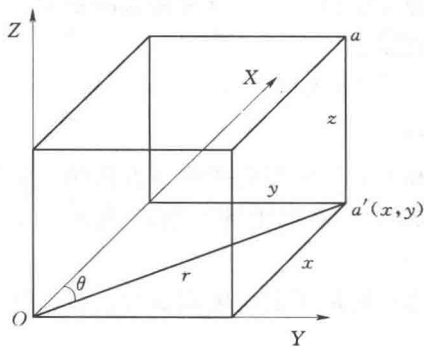


图 1.1 点的投影

空间点的投影如图 1.1 所示,规定空间点在 XOY 坐标平面的投影的坐标为 $a(x, y)$,其极坐标为 (θ, r) ,如图 1.2 所示点的高程用 z 坐标表示,在测量学中用高程来标定。

1.2.1 测量基准面

1. 测量工作的基准线与基准面

- (1) 基准线。离心力和地心引力的合力称为重



力,重力的作用线即为铅垂线,它是测量工作的基准线。

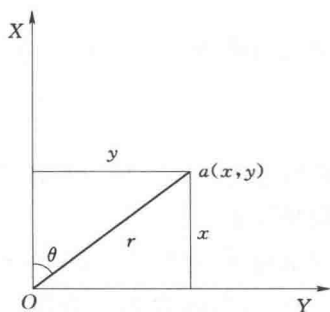


图 1.2 点的平面直角坐标

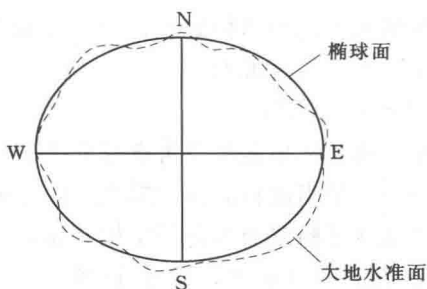


图 1.3 大地水准面与椭球体

(2) 水准面。假想静止不动的水面延伸穿过陆地,包围了整个地球,形成一个闭合的曲面,这个曲面称为水准面(无数个)。

(3) 大地水准面。在无数个水准面中,其中与平均海水面相吻合的称为大地水准面,它是测量工作的基准面,如图 1.3 所示。大地水准面处处与铅垂线正交,是封闭的重力等位曲面。其作用:一是点位的投影面;二是高程的起算面。

2. 测量计算的基准面

测量计算的基准面为旋转椭球。旋转椭球是选用一个非常接近大地水准面,并可用数学表达式表示的规则几何形体来表示地球总的形状。这个几何形体就是由一个椭圆,绕其短轴旋转所形成的椭球体。其参数为长半轴 $a \approx 6378140\text{m}$,短半轴 $b \approx 6356755\text{m}$,扁率 $f = (a - b) / a \approx 1 / 298.257$ 。

1.2.2 确定地面点的方法

1.2.2.1 地面点在投影面上的坐标

1. 地理坐标

是以参考椭球面为依据,确定地面点在参考椭球面上的位置坐标。如图 1.4 所示, O 为地球参考椭球面的中心, N 、 S 分别表示北极和南极,通过旋转轴的平面称为子午面,它与参考椭球面的交线称为子午线,其中通过英国格林尼治天文台的子午线称为

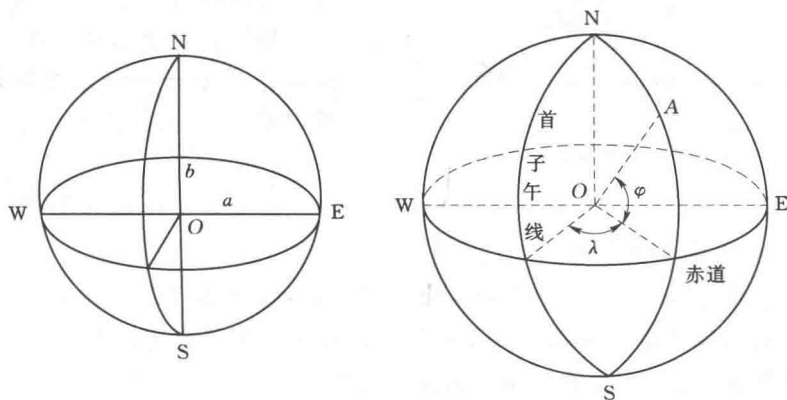


图 1.4 地理坐标



首子午线。通过 O 点并且垂直于 NS 轴的平面称为赤道面，它与椭球面的交线称为赤道。

地面点在球面上的投影位置坐标用经度和纬度来表示称为地理坐标。它以铅垂线为基准线，以大地水准面为基准面。

2. 高斯平面直角坐标

高斯平面直角坐标系是将参考椭球面按照经度划分成若干个条带，按高斯提出的曲面投影理论把每一条带当成投影面，来建立的平面直角坐标系。

其方法是从参考椭球面的首子午线开始，自西向东每 6° 划分一带（称为 6° 带），共 60 条，将每一个条带展开抚平，近似看成平面，而成为高斯投影面，如图 1.5 和图 1.6 所示。

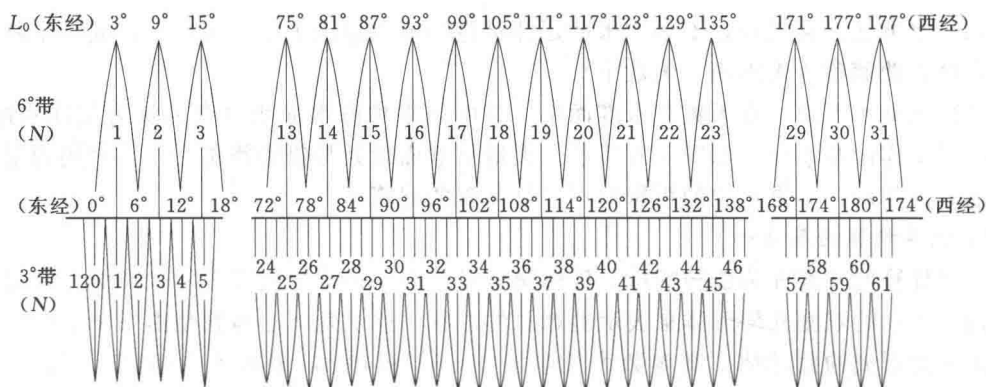


图 1.5 投影带及 6° 、 3° 带

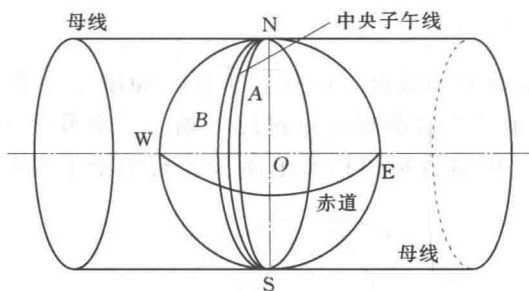


图 1.6 高斯平面投影原理

在高斯投影平面上，以中央子午线为 x 轴，垂直中央子午线的赤道为 y 轴，其交点为 O ，建立高斯平面直角坐标系。在这个投影面上的每一个点位置，都可以用直角坐标 (x, y) 确定。

如果精度要求高一些，还可以自西向东每 3° 划分一带，将该带展开抚平，近似看成平面，成为 3° 投影带，如图 1.5 所示。

在 6° 带中，第 N 带的中央子午线经

度 $L_0 = 6N - 3^\circ$ ；经度 L 的带号 $N = L/6^\circ + 1$ 。

我国位于地球北半球， x 坐标恒为正值，而 y 坐标有正有负，为了避免 y 坐标出现负值，规定把 x 轴向西平移 500km，如图 1.7 (b) 所示。为了表明该坐标位于哪一个 6° 带上的高斯平面直角坐标，规定在 y 坐标值前加上带号。

【例 1.1】 如图 1.7 所示，国家高斯平面点 A (4132586.48, 20748680.54)，请指出其所在的带号及自然坐标为多少？

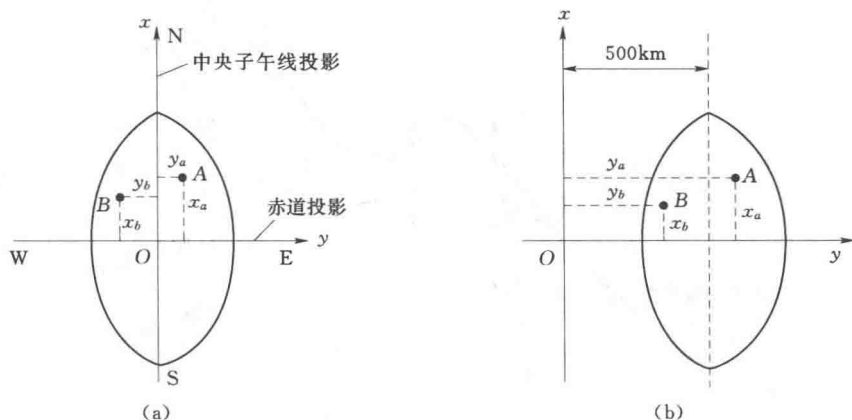


图 1.7 高斯平面直角坐标

【解】 (1) 点 A 至赤道的距离: $x_a = 4132586.48\text{m}$ 。

(2) 其投影带的带号为 20, A 点离 20 带的纵轴 x 轴的实际距离:

$$y_a = 748680.54 - 500000 = 248680.54(\text{m})$$

(3) 平面直角坐标系, 又称笛卡儿坐标系。当测区面积较小时, 可不考虑地球曲率的影响, 用平面直角坐标表示其投影位置。坐标系的原点选在测区西南角, 以使测区内任意点的坐标均为正值。规定 x 轴向北为正向, y 轴向东为正向, 坐标象限按顺时针方向编号, 如图 1.8 所示。

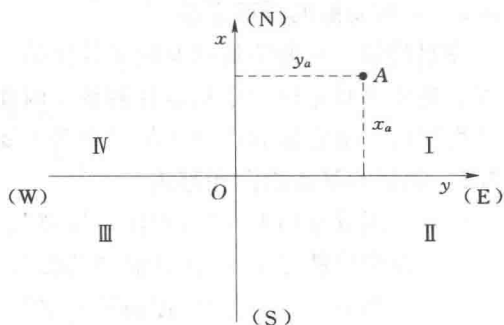


图 1.8 独立直角坐标

1.2.2.2 地面点的高程

(1) 绝对高程。地面上一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, 用 H 表示。

(2) 相对高程。在一些引用绝对高程较困难或者为了计算方便, 采用相对高程系统, 指地面点到假定水准面的铅垂距离, 又称假定高程。

(3) 高差。地面上两点高程之差称为高差, 一般用 h 表示。高差有方向性和正负之分, 但与高程选定的基准无关, 如图 1.9 所示。

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1.1)$$

为了便于观测和使用, 以 1950—1956 年收集的验潮资料为依据, 推算黄海平均海水面, 将其作为我国的高程基准面, 并在青岛市观象山港湾建立水准原点, 其高程为 $H = 72.289\text{m}$, 称为 1956 年黄海高程系。

20 世纪 80 年代初, 有关部门根据青岛验潮站新的验潮资料, 推算出水准原点的高程为 $H = 72.260\text{m}$, 称为 1985 年国家高程基准。使用时要注意高程基准。

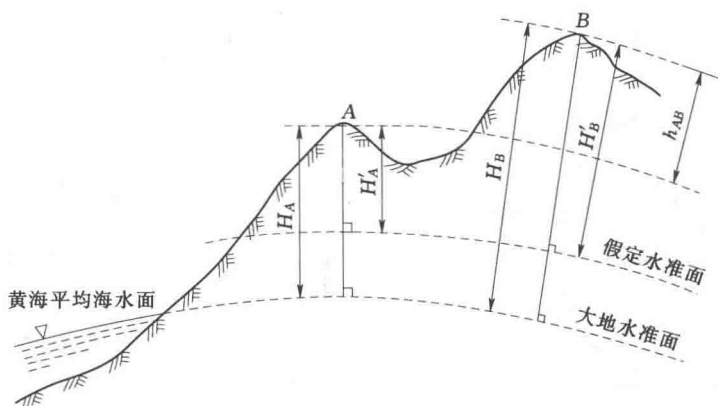


图 1.9 高程和高差

学习情境 1.3 测量工作概述

1.3.1 工程测量的基本工作

控制测量、碎部测量以及施工放样的实质都是确定点的位置，而点位的确定都离不开距离、角度和高差这三个基本观测量。因此，测量的三项基本工作是距离测量、角度测量和高程测量，确定地面点位置的三个基本要素为距离、角度和高差。

1.3.2 测量的基本原则和方法

- (1) 在测量布局上，“由整体到局部”。
- (2) 在测量精度上，“由高级到低级”。
- (3) 在测量程序上，“先控制后碎部”。

在测量过程中，随时检查，杜绝错误，防止遗漏，以免影响后续工作。

1.3.3 水平面代替水准面对距离和高程的影响

根据理论研究，对距离来说，通常在半径 10km 测量范围内，可以用水平面代替大地水准面。但对高程影响较大，因此不能用水平面代替大地水准面。所以在水准测量中每一测站的前后水准尺之间的距离要限制在 100m 之内，以提高测量精度。

1.3.4 测量常用的度量单位

- (1) 角度单位：度、分、秒。

1) 换算关系： $1 \text{ 个圆周} = 360^\circ$ ； $1^\circ = 60'$ ； $1' = 60''$ 。

2) 弧度：等于半径的弧长所对应圆心角，称为一弧度角。以一个弧度角作为角度的单位称为弧度制。

$$\rho = 180/\pi = 57.2957795^\circ.$$

$$\rho' = (180 \times 60)/\pi = 3437'.74677 \approx 3438'.$$

$$\rho'' = (180 \times 60 \times 60)/\pi = 206264.806'' \approx 206265''.$$

- (2) 距离单位：m。



1.3.5 测量坐标与数学坐标的关系

为了理解测量坐标和数学坐标之间的内在联系，两者比较如图 1.10 和图 1.11 所示。

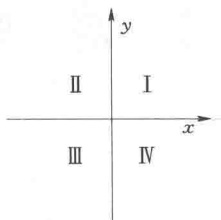


图 1.10 数学坐标系

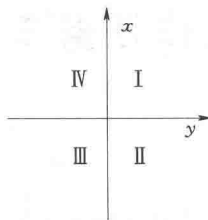


图 1.11 测量坐标系

1. 区别

(1) 两类坐标系的轴正好相反。数学中的平面直角坐标以纵轴为 y 轴，自原点向上为正，向下为负；以横轴为 x 轴，自原点向右为正，向左为负；测量上的平面直角坐标系以南北方向的纵轴为 x 轴，自原点向北为正，向南为负；以东西方向的横轴为 y 轴，自原点向东为正，向西为负。

(2) 测量与数学上关于坐标象限的规定也有所不同，两者均以北东为第一象限，但数学上的四个象限为逆时针递增编号，而测量上则为顺时针递增编号。

2. 联系

由于测量工作中以极坐标表示点位时，其角度值是以北方向为准按顺时针方向计算的，而数学中则是以横轴为准按逆时针方向计算的，把 x 轴与 y 轴纵横互换后，数学中的全部三角公式都同样能在测量中直接应用，不需作任何变更。

工作任务2 水准测量

能力目标：

- (1) 掌握水准仪的使用及检校方法。
- (2) 掌握水准测量的外业实施（观测、记录和检核）及内业数据处理（高差闭合差的调整）方法。
- (3) 会使用自动安平水准仪和电子水准仪。

学习重点与难点：

重点是水准测量原理，水准测量的外业实施及内业数据处理；难点是微倾式水准仪的检验与校正。

学习情境 2.1 水准测量原理及仪器

2.1.1 水准测量的基本原理

水准测量的原理是：利用水准仪提供的一条水平视线，分别读出地面上两个点处所立水准尺上的读数，由此计算两点的高差，根据测得的高差再由已知点的高程推求未知点的高程。根据使用的场合，分以下两种方法，如图 2.1 所示。

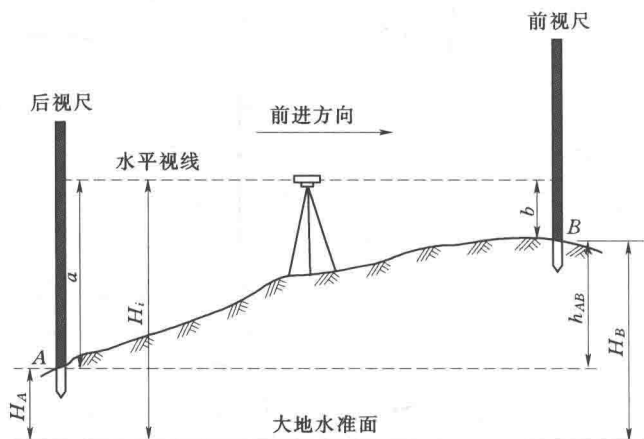


图 2.1 水准测量原理

(1) 高差法：

$$h_{AB} = a - b \quad (2.1)$$

$$H_B = H_A + (a - b) = H_A + h_{AB} \quad (2.2)$$

(2) 仪高法：

$$H_B = (H_A + a) - b \quad (2.3)$$



两者的区别在于：高差法用于高程的联标测量，一站只观测一个前视读数，来完成测量高程联标任务；仪器高法适用于在一个点上同时完成多个点的高程测量。另外，在高程放样时，常用仪高法，只要把仪高法的公式稍作改动即可。见下式：

$$H_B = (H_A + a) - b \rightarrow b = (H_A + a) - H_B \quad (2.4)$$

从公式的角度看，测量和放样两者的区别是：测量是求得某点的高程，放样是求得某点的读数。

在实际测量操作和水准测量手簿上会出现以下几个名词术语，现给出定义如下。

(1) 后视点及后视读数。某一测站上高程已知的点，称为后视点，在后视点上的读数称为后视读数，用 a 表示。

(2) 前视点及前视读数。某一测站上高程待测的点，称为前视点，在前视点上的读数称为前视读数，用 b 表示。

(3) 转点。在连续水准测量中，用来传递高程的点，称为转点，其上既有前视读数，又有后视读数。

(4) 间视点。在测量过程中，临时用来检查某一点的高程而在其上立尺所测的只有前视读数的点称为间视点，属于前视点的一个类型，其数据不能用来进行计算校核，常在抄平中使用。

2.1.2 DS₃ 微倾水准仪

水准仪是提供一条水平视线，并进行读数的测量仪器。微倾式水准仪主要由基座、望远镜和水准器组成，如图 2.2 所示。

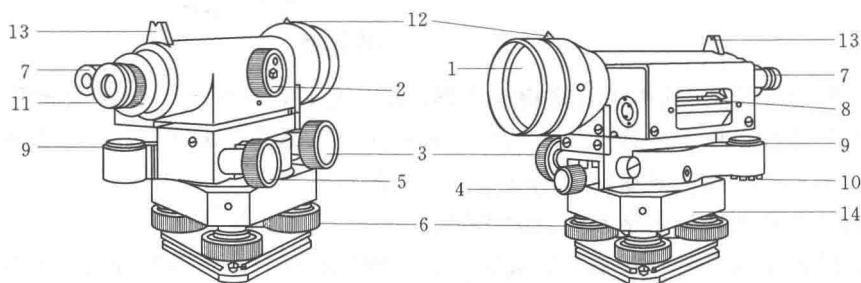


图 2.2 DS₃ 型水准仪

1—物镜；2—物镜调焦螺旋；3—微动螺旋；4—制动螺旋；5—微倾螺旋；6—脚螺旋；7—管水准气泡观察窗；8—管水准器；9—圆水准器；10—圆水准器校正螺钉；11—目镜；12—准星；13—照门；14—基座

(1) 基座。呈三角形，由轴座、脚螺旋和连接板组成。仪器上部通过竖轴插在轴套内，由基座承托。脚螺旋用来调整圆水准器。整个仪器通过连接板、中心螺旋与三脚架连接。

(2) 望远镜。由物镜、目镜、十字丝分划板和对光透镜（内对光式）组成，其构造如图 2.3 所示。其主要性能参数包括放大倍率、视场角、分辨率和亮度等，其成像原理如图 2.4 所示。

物镜（附合透镜）：其作用是将远处的目标成像在十字丝分划板上，形成缩小而倒立的实像。