



市政专业高职高专系列教材

工程测量

来丽芳 王云江 柳小燕 主编

中国建筑工业出版社

市政专业高职高专系列教材

工 程 测 量

来丽芳 王云江 柳小燕 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/来丽芳等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 2

市政专业高职高专系列教材

ISBN 978-7-112-13926-2

I. ①工… II. ①来… III. ①工程测量-高等职业教
育-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 282971 号

全书共分十八章, 内容为: 绪论, 水准测量, 角度测量, 距离测量与直线定向, 测量误差的基本知识, 全站仪及 GPS 应用, 小地区控制测量, 大比例尺地形图的测绘与应用, 施工测量的基本工作, 建筑施工控制测量, 民用建筑工程测量, 工业建筑工程测量, 道路工程测量, 管道工程测量, 桥梁工程测量, 隧道工程测量, 轨道交通工程测量, 工程变形监测。附有配套用书《工程测量实训与习题》。

本书可作为高职高专院校土建、市政、隧道及轨道交通类专业教材用书, 也可作为相关专业人员的参考用书。

* * *

责任编辑: 王 磊 田启铭

责任设计: 张 虹

责任校对: 姜小莲 刘 钰

市政专业高职高专系列教材

工程测量

来丽芳 王云江 柳小燕 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28½ 字数: 688 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价: 55.00 元 (含习题集)

ISBN 978-7-112-13926-2
(21964)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本教材是根据高职高专土建、市政等专业的教育标准、培养目标及本课程教学基本要求编写的。是高等职业教育土木工程技术专业的一门专业课。

“工程测量”重点学习工程测量的基本知识，测量仪器的使用、施工测量和变形监测等内容。本课程对培养学生的专业和岗位能力具有重要的作用。

本书在编写中根据高等职业技术教学的特点，从培养应用型人才目标出发，突出“以能力为本位”的指导思想，在论述基础理论和方法的同时，重视基本技能的训练与实践性教学环节，并力求叙述简明、通俗易懂、注重实用、图文并茂，突出了课程的基础性、实用性和技能性。在保留必需的测绘基础知识和理论的前提下，摒弃陈旧的测量方法、计算公式的推导，吸纳了先进的测量技术。

每章前编写了本章的教学要求和教学提示；每章后面附有思考题与习题，以利学生及时复习和巩固已学知识。为加强对学生测、算、绘等基本技能的训练，附有配套用书《工程测量实训与习题》。

参加本书编写的有浙江建设职业技术学院来丽芳（第二、八、十八章）、王云江（第一、十一、十五章）、杜向科（第七、十四章）、陈桂珍（第三、十二章）、高颖（第四章）、郭骥（第九章）、熊国华（第五章）；宁夏建设职业技术学院柳小燕（第十、十六章）、刘小慧（第十三章）、魏明国（第六章）；杭州勘测设计研究院刘翔（第十七章）。

本书由浙江建设职业技术学院来丽芳、王云江和宁夏建设职业技术学院柳小燕任主编；浙江建设职业技术学院杜向科、陈桂珍和宁夏建设职业技术学院刘小慧任副主编；由浙江建设职业技术学院米延华和浙江省第二测绘院方剑强主审。

由于编者的水平有限，书中定有欠妥之处，敬请读者批评指正。

2012 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测量的任务与作用	1
第二节 地面点位的确定	2
第三节 测量工作的原则和程序	5
第二章 水准测量	7
第一节 水准测量的原理	7
第二节 水准仪及其使用	8
第三节 水准测量方法	13
第四节 水准测量成果计算	19
第五节 水准仪的检验与校正	24
第六节 其他水准仪简介	27
第三章 角度测量	33
第一节 水平角的测量原理	33
第二节 DJ ₆ 型光学经纬仪	34
第三节 经纬仪的使用	37
第四节 水平角测量	39
第五节 竖直角观测	44
第六节 经纬仪的检验与校正	47
第七节 电子经纬仪简介	51
第四章 距离测量与直线定向	55
第一节 钢尺量距	55
第二节 视距测量	58
第三节 光电测距	61
第四节 直线定向	63
第五章 测量误差的基本知识	68
第一节 测量误差概述	68
第二节 衡量精度的标准	70
第三节 算术平均值及其中误差	72
第四节 误差传播定律	74
第六章 全站仪及 GPS 应用	78
第一节 全站仪及特点	78
第二节 全站仪测量操作	82
第三节 数据采集	94
第四节 内存管理与数据通信	98

第五节	GPS 简介	100
第七章	小地区控制测量	106
第一节	控制测量概述	106
第二节	导线测量的外业工作	108
第三节	导线测量的内业工作	111
第四节	全站仪导线测量	116
第五节	高程控制测量	118
第八章	大比例尺地形图的测绘与应用	124
第一节	地形图的基本知识	124
第二节	大比例尺地形图的测绘	132
第三节	地形图的应用	137
第九章	施工测量的基本工作	150
第一节	施工测量概述	150
第二节	测设的基本工作	151
第三节	测设平面点位的方法	154
第四节	已知坡度直线的测设	156
第十章	建筑施工控制测量	159
第一节	施工控制网概述	159
第二节	平面施工控制网	159
第三节	高程施工控制网	164
第十一章	民用建筑工程测量	166
第一节	概述	166
第二节	测设前准备工作	167
第三节	民用建筑物的定位与放线	169
第四节	建筑物基础施工测量	176
第五节	墙体施工测量	177
第六节	高层建筑施工测量	178
第七节	复杂建（构）筑物施工测量	184
第八节	竣工总平面图的绘制	196
第十二章	工业建筑施工测量	199
第一节	厂房矩形控制网与柱列轴线的测设	199
第二节	基础施工测量	200
第三节	厂房构件安装测量	202
第四节	钢结构工程中的施工测量	206
第五节	烟囱施工测量	207
第十三章	道路工程测量	210
第一节	概述	210
第二节	道路中线测量	211
第三节	圆曲线测设	216
第四节	缓和曲线测设	221

第五节	路线纵、横断面测量·····	230
第六节	道路施工测量·····	236
第七节	挡墙施工测量·····	244
第十四章	管道工程测量·····	246
第一节	概述·····	246
第二节	管道中线测量·····	246
第三节	管道纵、横断面测量·····	247
第四节	管道施工测量·····	249
第五节	顶管施工测量·····	252
第六节	管道竣工测量·····	254
第十五章	桥梁工程测量·····	257
第一节	概述·····	257
第二节	桥梁施工控制测量·····	257
第三节	桥梁墩台中心与纵、横轴线的测设·····	260
第四节	桥梁施工测量·····	262
第五节	桥梁竣工测量·····	268
第六节	涵洞施工测量·····	270
第十六章	隧道工程测量·····	272
第一节	隧道施工洞外控制测量·····	272
第二节	竖井联系测量·····	274
第三节	隧道施工洞内控制测量·····	282
第四节	隧道施工放样·····	286
第五节	隧道竣工测量·····	295
第十七章	轨道交通工程测量·····	297
第一节	地下车站施工测量·····	297
第二节	盾构法掘进隧道施工测量·····	303
第三节	高架结构施工测量·····	306
第四节	地铁铺轨施工测量·····	307
第五节	设备安装测量·····	311
第十八章	工程变形监测·····	313
第一节	工程变形监测概述·····	313
第二节	基坑监测·····	314
第三节	建筑物的变形监测（滑坡）·····	330
第四节	桥梁变形监测·····	341
第五节	地铁盾构隧道工程监测·····	345
第六节	GPS 定位技术在工程监测中的应用·····	352
第七节	监测新技术及发展趋势·····	356
主要参考文献·····		361

第一章 绪 论

教学要求：

通过本章学习，明确工程测量的基本任务与作用，熟悉测量工作中的平面坐标系及高程系，了解地面点位的确定方法及基本测量工作方法，了解测量工作的原则和程序。

教学提示：

工程测量的任务是测定和测设；测量工作的实质是确定地面点的平面位置 X 、 Y 和高程位置 H ；测量高程、水平角和水平距离是测量的三项基本工作；测量工作的基本原则是“先控制后碎部”、“以整体到局部”、“由高级到低级”。

第一节 测量的任务与作用

一、测量的任务

测量属于工程测量学的范畴，是工程测量学在市政工程建设领域中的具体表现。市政工程的主要任务包括测定、测设两个方面。

1. 测定

又称测图，是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，并按照一定的测量程序和方法将地面上局部区域的各种人工固定性物体（地物）和地面的形状、大小、高低起伏（地貌）的位置按一定的比例尺和特定的符号缩绘成地形图，以供工程建设的规划、设计、施工和管理使用。

2. 测设

又称放样，是指使用测量仪器和工具，按照设计要求；采用一定的方法将设计图纸上设计好的建筑物、构筑物的位置测设到实地，作为工程施工的依据。

此外，施工中各工程工序的交接和检查、校核、验收工程质量的施工测量，工程竣工后的竣工测量，监视重要建筑物或构筑物在施工、运营阶段的沉降、位移和倾斜所进行的变形观测等，也是工程测量的主要任务。

二、测量的作用

测量是市政工程施工中一项非常重要的工作，在市政工程建设中有着广泛的应用，它服务于市政工程的每一个阶段，贯穿于市政工程的始终。在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料；在工程设计阶段，应用地形图进行总体规划和设计；在工程施工阶段，要将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设于实地，以此作为施工的依据；在施工过程中的土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和安装工作进行检验、校核，以保证所建工程符合设计要求；施工竣工后，还要进行竣工测量，施测竣工图，供日后扩建和维修之用；在工程管理阶段，对建筑和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。由此可见，在工

程建设的各个阶段都需要进行测量工作，而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。因此，工程技术人员必须掌握工程测量的基本理论、基本知识和基本技能，掌握常用的测量仪器和工具的使用方法，初步掌握小地区大比例尺地形图的测绘方法，正确掌握地形图应用的方法，以及具有一般土建工程施工测量的能力。

三、工程测量的现状与发展方向

建筑业等产业位居我国的支柱产业之列，在建筑业等产业的发展过程中，工程测量为其作出了应有的贡献，同时，工程测量的技术水平也得到了很大的提高。目前，除常规测量仪器工具如光学经纬仪、光学水准仪和钢尺等在工程测量中继续发挥作用外，现代化的测量仪器如电子经纬仪、电子水准仪和电子全站仪等也已普及，提高了测量工作的速度、精度、可靠度和自动化程度。一些专用激光测量仪器设备如用于高层建筑竖直投点的激光铅直仪、用于大面积场地精确自动找平的激光扫平仪和用于地下开挖指向的激光经纬仪等的应用，为现代高层建筑和地下建筑的施工提供了更高效、准确的测量技术服务。利用卫星测定地面点坐标的新技术——全球定位系统（GPS），也逐渐被应用于工程测量中，该技术作业时不受气候、地形和通视条件的影响，只需将卫星接收机安置在已知点和待定点上，通过接收不同的卫星信号，就可计算出该点的三维坐标，这与传统测量技术相比是质的飞跃，目前在工程测量中，一般用于大范围 and 长距离施工场地中的控制性测量工作。计算机技术正在应用到测量数据处理、地形图机助成图以及测量仪器自动控制等方面，进一步推动建筑工程测量从手工化向电子化、数字化、自动化和智能化方向发展。

第二节 地面点位的确定

测量工作的基本任务（即实质）是确定地面点的位置。地面点的空间位置由点的平面位置 X 、 Y 和点的高程位置 H 来确定。

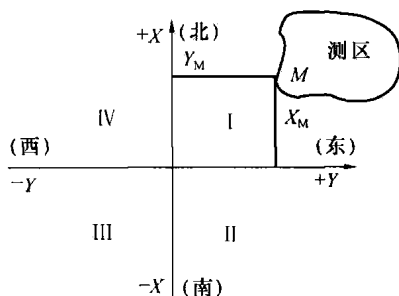


图 1-1 测量平面直角坐标系

一、地面点平面位置的确定

在普通测量工作中，当测量区域较小（一般半径不大于 10km 的面积内），可将这个区域的地球表面当做水平面，用平面直角坐标来确定地面点的平面位置，如图 1-1 所示。

测量平面直角坐标规定纵坐标为 X ，向北为正，向南为负；横坐标为 Y ，向东为正，向西为负；地面上某点 M 的位置可用 X_M 和 Y_M 来表示。测量平面直角坐标系的原点 O 一般选在测区的西南角，使测区内所有点的坐标均为正值。象限以北东开始按顺时针方向为 I、II、III、IV 排列。与数学坐标的区别在于坐标轴互换，象限顺序相反，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作任何变更。

在大地测量和地图制图中要用到大地坐标。用大地经度 L 和大地纬度 B 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 1-2 所示，地面上任意点 P 的大地经度 L 是该点的子午面与首子午面所夹的两面角； P 点的大地纬度 B 是过该点的法线（与旋转椭球面垂直的线）与赤道面的夹角。

大地经纬度是根据大地测量所得的数据推算而得出的。我国现采用陕西省泾阳县境内的国家大地原点为起算点，由此建立新的统一坐标系，称为“1980 年国家大地坐标系”。

二、地面点高程位置的确定

地球的自然表面很不规则，有高山、丘陵、平原和海洋。海洋面积约占地表的 71%，而陆地约占 29%，其中最高的珠穆朗玛峰高出海水面 8844.43m，最低的马里亚纳海沟低于海水面 11022m。但是，这样的高低起伏，相对于地球半径 6371km 来说还是很小的。

地球上自由静止的海水面称为水准面，它是个处处与重力方向垂直的连续曲面。与水准面相切的平面称为水平面。由于水面高低不一，因此水准面有无限多个，其中与平均海水面相吻合并向大陆、岛屿延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面，如图 1-3 所示。

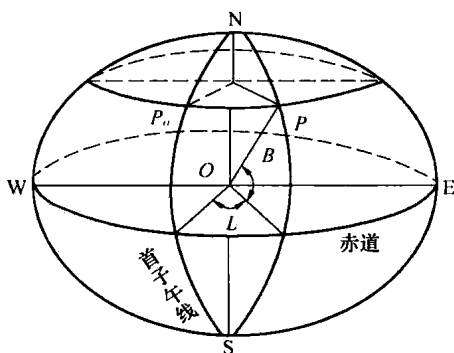


图 1-2 大地坐标

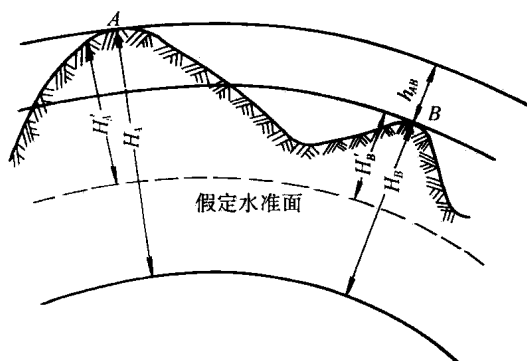


图 1-3 大地水准面

我国以在青岛观象山验潮站 1952~1979 年验潮资料确定的黄海平均海水面作为起算高程的基准面，称为“1985 年国家高程基准”。以该大地水准面为起算面，其高程为零。为了便于观测和使用，在青岛建立了我国的水准原点（国家高程控制网的起算点），其高程为 72.260m，全国各地的高程都以它为基准进行测算。

地面点到大地水准面的铅垂距离，称为该点的绝对高程，亦称海拔或标高。如图 1-3 所示， H_A 、 H_B 即为地面点 A、B 的绝对高程。

当在局部地区引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统，即假定任意水准面为起算高程的基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离，称为相对高程。如图 1-3 所示， H'_A 、 H'_B 即为地面点 A、B 的相对高程。例如，房屋工程中常选定底层室内地坪面为该工程地面点高程起算的基准面，记为 ± 0.000 。建筑物某部位的标高，系指某部位的相对高程，即某部位距室内地坪（ ± 0.000 ）的垂直间距。

两个地面点之间的高程差称为高差，用 h 表示。 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

三、用水平面代替水准面的限度

在测量中，当测区范围很小时才允许以水平面代替水准面。那么，究竟测区范围多大时，可用水平面代替水准面呢？

1. 水平面代替水准面对距离的影响

如图 1-4 所示，A、B 两点在水准面上的距离为 D ，在水平面上的距离为 D' ，则 $\Delta D (\Delta D = D' - D)$ 是用水平面代替水准面对距离的影响值。它们与地球半径 R 的关系为

$$\Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \text{ 或 } \frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \tag{1-1}$$

将地球半径 $R=6371\text{km}$ 及不同的距离 D 值，代入式 (1-1)，得到表 1-1 所列的结果。

由表 1-1 可见，当 $D=10\text{km}$ ，所产生的相对误差为 $1/1250000$ 。目前最精密的距离丈量时的相对误差为 $1/1000000$ 。因此，可以得出结论：在半径为 10km 的圆面积内进行距离测量，可以用水平面代替水准面，不考虑地球曲率对距离的影响。

代入式 (1-1) 的计算结果 表 1-1

$D \text{ (km)}$	$\Delta D \text{ (cm)}$	$\Delta D/D$
10	0.8	1 : 1250000
20	6.6	1 : 300000
50	102	1 : 49000

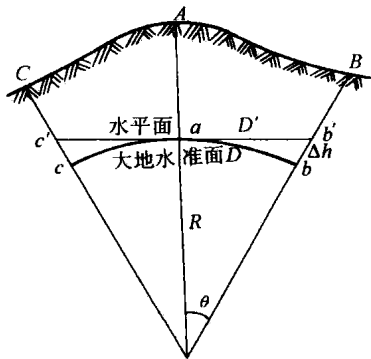


图 1-4 水平面代替水准面对距离和高程的影响

2. 水平面代替水准面对高程的影响

如图 1-4 所示， $\Delta h = bB - b'B$ ，这是用水平面代替水准面对高程的测量影响值。其值为

$$\Delta h = \frac{D^2}{2R} \tag{1-2}$$

用不同的距离代入式 (1-2) 中，得到表 1-2 所列结果。

从表 1-2 可以看出，用水平面代替水准面，在距离 1km 内就有 8cm 的高程误差。由此可见，地球曲率对高程的影响很大。在高程测量中，即使距离很短，也要考虑地球曲率对高程的影响。实际测量中，应该考虑通过加以改正计算或采用正确的观测方法，消除地球曲率对高程测量的影响。

用不同的距离代入式 (1-2) 的计算结果 表 1-2

$D \text{ (km)}$	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h \text{ (cm)}$	0.31	2	8	31	71	125	196

四、确定地面点位的三个基本要素

如前所述，地面点的空间位置是以地面点在投影平面上的坐标 X 、 Y 和高程 H 决定的。在实际测量中， X 、 Y 和 H 的值不能直接测定，而是通过测定水平角 $\beta_a, \beta_b \dots$ 和水平距离 $D_1, D_2 \dots$ ，以及各点间的高差，再根据已知点 A 的坐标、高程和 AB 边的方位角计算出 B, C, D, E 各点的坐标和高程 (图 1-5)。

由此可见，水平距离、水平角和高程是确定地面点的三个基本要素。水平距离测量、水平角测量和高程测量是测量的三项基本工作。

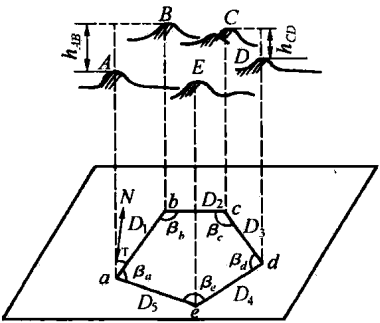


图 1-5 地面点的空间位置

第三节 测量工作的原则和程序

无论是测绘地形图或是施工放样，都不可避免地会产生误差，甚至还会产生错误，为了限制误差的传递，保证测区内一系列点位之间具有必要的精度，测量工作都必须遵循“从整体到局部、先控制后碎部、由高级到低级”的原则进行。测量工作的程序分为控制测量和碎部测量两步。如图 1-6 所示，首先在整个测区内，选择若干个起着整体控制作用的点 1、2、3…，作为控制点，用较精密的仪器和方法，精确地测定各控制点的平面位置和高程位置的工作称为控制测量。这些控制点测量精度高，均匀分布整个测区。因此，控制测量是高精度的测量，也是带全局性的测量。然后以控制点为依据，用低一级精度测定其周围局部范围的地物和地貌特征点，称为碎部测量。例如：图上在控制点 1 测定周围碎部点 L、M、N、O…碎部测量是较控制测量低一级的测量，是局部的测量，碎部测量由于是在控制测量的基础上进行的，因此碎部测量的误差就局限在控制点的周围，从而控制了误差的传播范围和大小，保证了整个测区的测量精度。

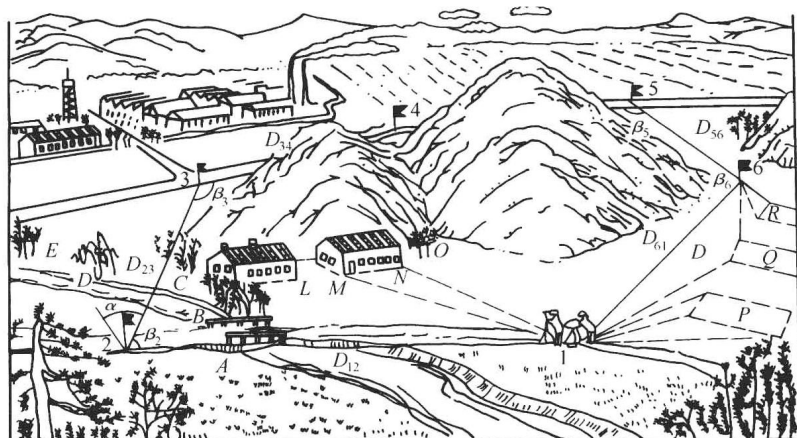


图 1-6 测量工作的原则和程序

施工测量是首先对施工场地布设整体控制网，用较高的精度测设控制网点的位置，然后在控制网的基础上，再进行各局部轴线尺寸和高低的定位测设，其精度较低。例如：图 1-6 中利用控制点 1、6 测设拟建的建筑物 R、Q、P。因此，施工测量也遵循“从整体到局部、先控制后碎部、由高级到低级”的施测原则。

遵循测量工作的原则和程序，不但可以减少误差的累积和传递，而且还可以在几个控制点上同时进行测量工作，既加快了测量的进度，缩短了工期，又节约了开支。

测量工作有外业和内业之分，上述测定地面点位置的角度测量、水平距离测量、高差测量是测量的基本工作，称为外业。将外业成果进行整理、计算（坐标计算、高程计算）、绘制成图，称为内业。

为了防止出现错误，无论在外业或内业工作中，还必须遵循另一个基本原则——“边工作边校核”。用检核的数据说明测量成果的合格和可靠。测量工作的实质是通过实践操作仪器获得观测数据，确定点位关系。因此是实践操作与数字密切相关的一门技术，无论

是实践操作有误，还是观测数据有误，或者是计算有误，都体现在点位的确定上产生错误。因而，在实践操作与计算中都必须步步有校核，检核已进行的工作有无错误。一旦发现错误或达不到精度要求的成果，必须找出原因或返工重测，必须保证各个环节的可靠。

市政施工测量应遵循“先外业、后内业”，也应遵循“先内业、后外业”这种双向工作程序。规划设计阶段所采用的地形图，是首先取得实地野外观测资料、数据，然后再进行室内计算、整理、绘制成图，即“先外业、后内业”。测设阶段是按照施工图上所定的数据、资料，首先在室内计算出测设所需要的放样数据，然后再到施工场地按测设数据把具体点位放样到施工作业面上，并作出标记，作为施工的依据。因而是“先内业、后外业”的工作程序。

思考题与习题

1. 测量的任务是什么？其内容包括哪些？
2. 测量工作的实质是什么？
3. 何谓大地水准面、1985 年国家高程基准、绝对高程、相对高程和高差？
4. 测量上的平面直角坐标系与数学上的平面直角坐标系有什么区别？
5. 确定地面点位置的三个基本要素是什么？测量的三项基本工作是什么？
6. 测量工作的原则和程序是什么？
7. 已知地面某点的相对高程为 21.580m，其对应的假定水准面的绝对高程为 168.880m，则该点的绝对高程为多少？绘出示意图。

第二章 水准测量

教学要求：

通过本章学习，熟悉水准仪的构造及各部件的名称和作用，掌握水准仪的基本操作及水准线路测量的外业工作、内业计算方法；熟悉水准仪的检验与校正方法。

教学提示：

高程测量是测量的三项基本工作之一。水准测量的基本要求是水准仪必须提供一条水平视线；水准仪的基本操作程序是安置仪器→粗平→照准对光→精平→读数→记录与计算；水准测量要求前、后视距离相等。

高程是确定地面点空间位置的基本要素之一，测量地面上各点高程的工作，称为高程测量。根据所使用的仪器和施测方法的不同，高程测量可分为水准测量、三角高程测量、气压高程测量和 GPS 高程测量等。其中，水准测量是最基本的一种方法，具有操作简便、精度高和成果可靠的特点，被广泛采用到大地测量、普通测量和工程测量中。本章主要介绍水准测量。

第一节 水准测量的原理

一、水准测量原理

水准测量的原理就是利用水准仪提供的一条水平视线，分别照准竖立在地面上两点的水准尺并读数，直接测定两点间的高差，然后根据已知点的高程和测得的高差，推算出未知点的高程。

如图 2-1 所示，已知 A 点的高程 H_A ，欲测定 B 点的高程 H_B 。施测时，可在 A、B 两点上竖立水准尺，在两点中间安置水准仪，利用水准仪提供的水平视线先后在 A、B 点的水准尺上读取读数 a 、 b ，根据几何学中平行线的性质可知，A 点到 B 点的高差 h_{AB} 为：

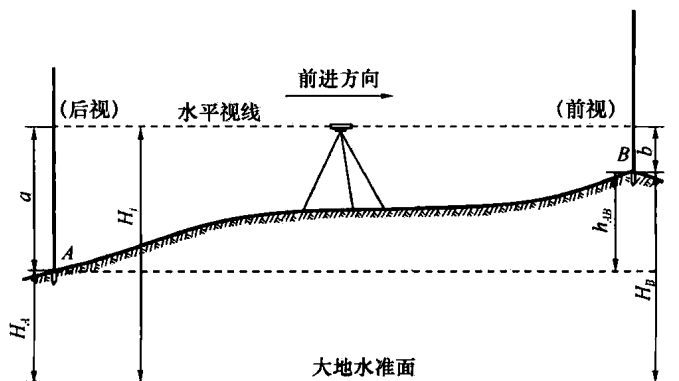


图 2-1 水准测量原理

$$h_{AB}=a-b \quad (2-1)$$

如果测量是由 A 点向 B 点前进, 我们称 A 点为后视点, 其水准尺上的读数 a 称为后视读数; B 点为前视点, 其水准尺上的读数 b 称为前视读数。因此, 地面上两点间的高差等于后视读数减去前视读数。当后视读数 a 大于前视读数 b 时, 高差为正, 说明前视点高于后视点; 反之, 高差为负, 则后视点高于前视点。所以, 高差必须标明正负号, 测量时还必须规定前进方向。

二、未知点的高程计算

1. 高差法

测得 A、B 两点间高差 h_{AB} 后, 如果已知 A 点的高程 H_A , 则 B 点的高程为:

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + (a - b) \quad (2-2)$$

这种直接利用高差计算待测点高程的方法, 称为高差法。

【例 2-1】 设 A 点的高程为 40.706m, 若后视 A 点读数为 1.154m, 前视 B 点读数为 1.528m, 求 B 点的高程。

【解】 A、B 两点的高差为:

$$h_{AB} = a - b = 1.154 - 1.528 = -0.374\text{m}$$

B 点高程为:

$$H_B = H_A + h_{AB} = 40.706 + (-0.374) = 40.332\text{m}$$

2. 视线高法

图 2-1 中, H_i 为水准仪水平视线到大地水准面的铅垂距离, 通常叫水准仪的视线高程, 简称视线高。未知点的高程也可以通过视线高 H_i 求得。

计算时, 先算出仪高 H_i 。如图 2-1 所示, 仪高等于后视点高程加上后视读数, 即

$$H_i = H_A + a \quad (2-3)$$

则待测点 B 的高程为:

$$H_B = H_i - b \quad (2-4)$$

也就是说, 前视点高程等于仪高减去前视读数。这种利用仪器视线高计算未知点高程的方法, 叫做视线高法。

当要在一个测站上同时观测多个地面点的高程时, 先观测后视读数, 然后依次在待测点竖立水准尺, 分别用水准仪读出其读数, 再利用视线高法计算各点高程就比较方便。

第二节 水准仪及其使用

水准测量所使用的仪器为水准仪, 工具为水准尺和尺垫。水准仪的类型很多, 目前我国按其精度指标划分, 有 DS₁₀、DS₃、DS₁、DS₀₅ 等几种不同等级的仪器。“D”表示“大地测量仪器”, “S”表示“水准仪”, 下标中的数字表示仪器能达到的观测精度——每公里往返测高差中数的中误差 (mm), 例如, DS₃ 型水准仪的精度为“±3mm”, DS₀₅ 型水准仪的精度为“±0.5mm”。DS₁₀ 和 DS₃ 属普通水准仪, 而 DS₁ 和 DS₀₅ 属精密水准仪。另外, 从水准仪获得水平视线的方式来看, 又可分为微倾式水准仪和自动安平水准仪。本章主要介绍常用的 DS₃ 型微倾式水准仪, 在本章的最后一节简单介绍精密水准仪、自动安平水准仪和数字式水准仪。

一、DS₃ 型微倾式水准仪

根据水准测量的原理，水准仪的主要功能是提供一条水平视线，并能照准水准尺进行读数。

图 2-2 所示为一种 DS₃ 型微倾式水准仪的结构图，主要由望远镜、水准器及基座三部分构成，现分述如下。

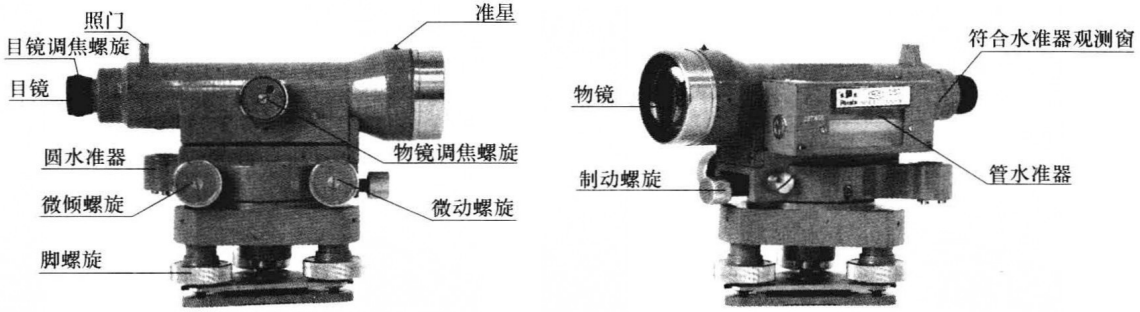


图 2-2 DS₃ 型微倾式水准仪

(一) 望远镜

望远镜是用来精确瞄准目标，提供水平视线并在水准尺上进行读数的部件，主要由物镜、目镜、调焦透镜和十字丝分划板等部件组成。图 2-3 所示是 DS₃ 型水准仪内对光望远镜构造图。

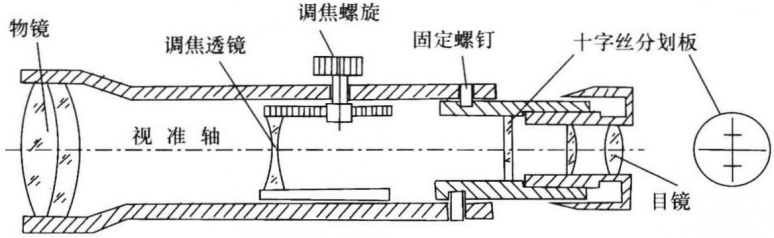


图 2-3 水准仪望远镜构造

物镜是由几个光学透镜组成的复合透镜组，其作用是将远处的目标在十字丝分划板附近形成缩小而明亮的实像。

目镜也由复合透镜组组成，其作用是将物镜所成的实像与十字丝一起进行放大，它所成的像是虚像。

十字丝分划板是一块圆形的刻有分划线的平板玻璃片，安装在金属环内。十字丝分划板上互相垂直的两条长丝，称为十字丝，是瞄准目标和读数的重要部件。纵丝亦称竖丝，用来照准水准尺；横丝亦称中丝，用来读取读数。与横丝平行的上、下两条对称的短丝称为上、下视距丝，简称上丝和下丝，用于粗略测量水准仪到水准尺的距离。

调焦透镜是安装在物镜与十字丝分划板之间的凹透镜。当旋转调焦螺旋，前后移动凹透镜时，可以改变由物镜与调焦透镜组成的复合透镜的等效焦距，从而使目标的影像正好落在十字丝分划板平面上，再通过目镜的放大作用，就可以清晰地看到放大的了的目标影像以及十字丝。

物镜的光心与十字丝交点的连线称为视准轴，用 CC 表示，是水准仪上重要的轴线之一，延长视准轴并使其水平，即得水准测量中所需的水平视线。

(二) 水准器

水准器是用来判断望远镜的视准轴是否水平，仪器竖轴是否竖直的装置。通常分为管水准器和圆水准器两种，管水准器又称为水准管。

1. 水准管

水准管是一个两端封闭的玻璃管，外形如图 2-4 (a) 所示。管的内壁研磨成圆弧，管内装有黏滞性小、易流动的液体（酒精或乙醇），加热融封冷却后在管内形成一个气泡，在重力作用下，气泡位于管内最高位置。水准管圆弧中心为水准管零点，过零点的水准管圆弧纵切线，称为水准管轴，用 LL 表示，水准管轴也是水准仪的重要轴线。当水准管零点与气泡中心重合时，称为气泡居中。气泡居中时，水准管轴 LL 处于水平位置，否则， LL 处于倾斜位置。由于水准管轴与水准仪的视准轴平行，便可以根据水准管气泡是否居中来判断视准轴是否处于水平状态。

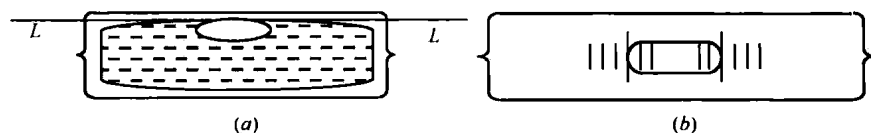


图 2-4 水准管

为便于确定气泡居中，在水准管上刻有间距为 2mm 的分划线，分划线对称于零点，如图 2-4 (b) 所示。当气泡两端点距水准管两端刻划的格数相等时，即为水准管气泡居中。水准管上相邻两分划线间的圆弧（弧长 2mm）所对的圆心角，称为水准管分划值，用 τ 表示。 τ 值的大小与水准管圆弧半径 R 成反比，半径愈大， τ 值愈小，灵敏度愈高。水准仪上水准管圆弧的半径一般为 7~20m，所对应的 τ 值为 $20''\sim 60''$ 。水准管的 τ 值较小，因而用于精确整置视准轴水平。

为了提高水准管气泡居中的精度和便于观测，目前微倾式水准仪都采用符合水准器。符合水准器是在无分划的水准管上方装有一组符合棱镜，如图 2-5(a) 所示，借助符合棱镜的反射作用，把水准管气泡两端各一半的影像反映到望远镜目镜旁的观察窗内。当转动微倾螺旋时，在观察镜内可以看到两个半边气泡的影像。当两端的半边气泡影像符合在一起，构成“U”形时，则气泡居中，如图 2-5(b) 所示。若成错开状态，则气泡不居中，如图 2-5(c) 所示。

2. 圆水准器

如图 2-6 所示，圆水准器是一个密封的顶面内壁磨成球面的玻璃圆盒。球面正中刻有

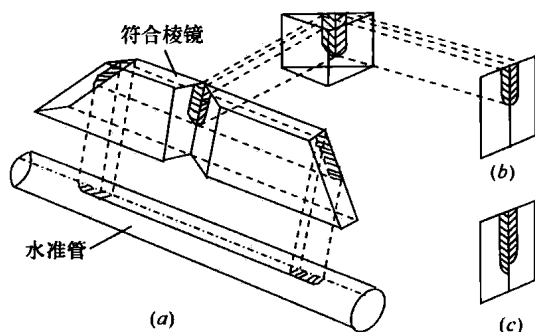


图 2-5 符合水准器

(a) 水准管及符合棱镜；(b) 两端影像符合；(c) 两端影像错开

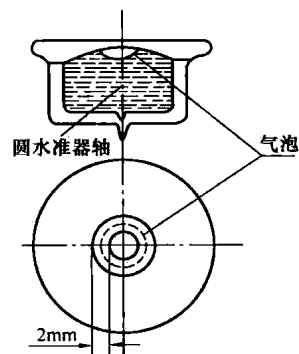


图 2-6 圆水准器