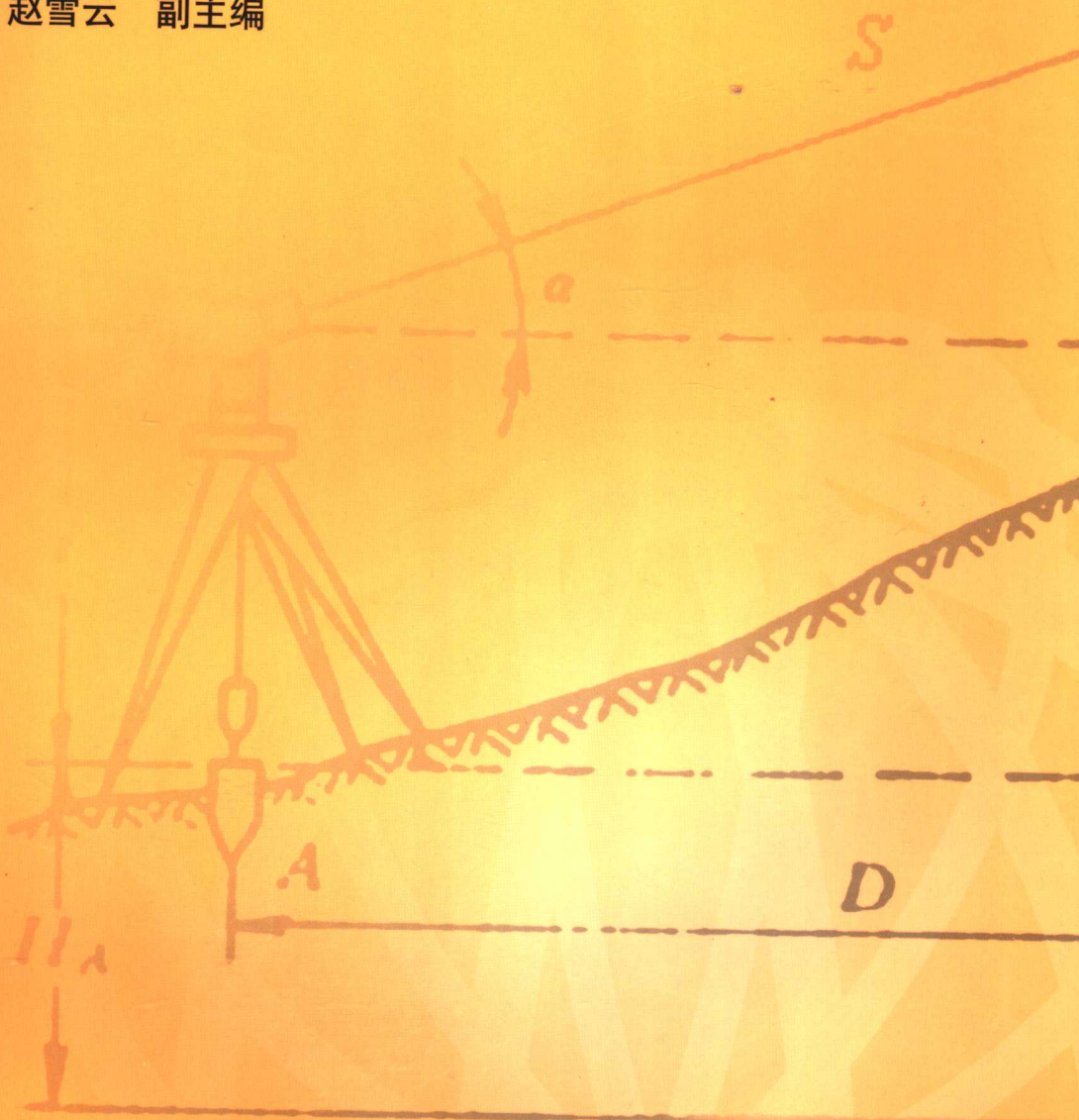




教育部职业教育与成人教育司推荐教材
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

工程测量

李 峰 主编
赵雪云 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
技能型紧缺人才培养培训建筑设备类专业教学用书

工程测量

主 编 李 峰
副主编 赵雪云
编 写 谢旭阳
主 审 周建郑 魏 静



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,全书共8章,内容包括绪论、水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、小地区控制测量、地形图的测绘与应用、施工测量的基本知识、建筑施工测量等。每章都有相应的实训项目和思考题与习题。本书内容精练,突出应用,加强实践;注重知识介绍的深入浅出;知识面较宽,适应面较广,基本能满足建筑工程领域高等职业教育相关各专业少学时教学的需要。

本教材可作为建筑类相关专业的教材,也可供建筑行业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量/李峰主编. —北京:中国电力出版社,
2006

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-5083-4176-7

I. 工... II. 李... III. 工程测量—高等学校:技
术学校—教材 IV. TB22

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第058553号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年8月第一版 2006年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 8.5印张 176千字

印数 0001—3000册 定价 11.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的建筑设备类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

建筑工程测量是建筑设备工程技术专业的一门重要的专业课，书中重点介绍了建筑工程测量的基本知识，常用测量仪器的构造和使用方法，小面积大比例尺地形图测绘，施工测量及变形观测等内容，并适当地介绍了一部分测绘新仪器、新技术的应用方法。

本教材主要特色体现在：①内容精练，突出应用，加强实践；②注重知识介绍的深入浅出；③知识面较宽，适用面较广，基本能满足建筑工程领域高等职业教育相关各专业少学时教学的需要。

本教材由山西建筑职业技术学院李峰统稿并担任主编，赵雪云担任副主编。第一、二、三、四、八章及相关实训项目由李峰编写，第五、七章及相关实训项目由山西建筑职业技术学院赵雪云编写，第六章及相关实训项目由四川建筑职业技术学院谢旭阳编写。

在本书编写过程中，得到了有关方面的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于水平、时间有限，书中定有不少欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 建筑工程测量的任务	1
第二节 地面点位的确定	1
第三节 测量工作概述	3
思考题与习题	4
第二章 水准测量	5
第一节 水准测量原理	5
第二节 水准测量的仪器和工具	6
第三节 水准仪的使用	8
第四节 水准测量方法	9
第五节 水准测量成果计算	12
第六节 微倾式水准仪的检验与校正	14
实训一 水准仪的认识与使用	15
实训二 水准路线测量	16
思考题与习题	17
第三章 角度测量	19
第一节 水平角测量原理	19
第二节 光学经纬仪的构造	19
第三节 经纬仪的使用	22
第四节 水平角测量方法	23
第五节 垂直角测量方法	25
第六节 经纬仪的检验与校正	27
第七节 角度测量误差及注意事项	29
第八节 电子经纬仪简介	31
实训三 经纬仪的认识与使用	32
实训四 水平角测量	33
实训五 垂直角测量	34
思考题与习题	36
第四章 距离测量与直线定向	37
第一节 钢尺量距	37
第二节 光电测距仪	42

第三节 视距测量	45
第四节 直线定向	46
实训六 钢尺量距的一般方法	48
实训七 视距测量	49
思考题与习题	50
第五章 小地区控制测量	52
第一节 控制测量概述	52
第二节 图根导线测量的外业工作	52
第三节 导线测量的内业	54
第四节 高程控制测量	57
思考题与习题	58
第六章 大比例尺地形图的测绘与应用	60
第一节 地形图的测绘	60
第二节 地形图的阅读	70
第三节 地形图的基本应用	71
实训八 碎部测量	74
思考题与习题	75
第七章 施工测量的基本知识	77
第一节 施工测量概述	77
第二节 测设的基本工作	77
第三节 点的平面位置测设方法	79
实训九 测设的基本工作	81
实训十 测设点的平面位置	82
思考题与习题	83
第八章 施工测量	84
第一节 建筑施工场地的控制测量	84
第二节 民用建筑施工测量	85
第三节 工业建筑施工测量	90
第四节 管道施工测量	97
第五节 建筑物的变形观测及竣工总平面图的编绘	103
实训十一 建筑物的定位	109
思考题与习题	110
参考文献	112

绪 论

第一节 建筑工程测量的任务

一、测量学的概念

测量学是研究地球的形状、大小及确定地面点位的学科。它的任务主要包括测定和测设两个方面。

(1) 测定是指使用测量仪器和工具,按照测量的有关原理和方法,将地球表面的地物和地貌绘制成地形图,为经济建设和科学研究等服务。

(2) 测设是指使用测量仪器和工具,按照测量的有关原理和方法,将图纸上规划设计好的建(构)筑物的平面位置和高程,在实地标定出来,作为施工的依据。

二、建筑工程测量的任务

建筑工程测量是测量学的一个组成部分。它是研究建筑工程在勘测、设计、施工和运营管理各阶段所进行的各项测量工作的理论、技术和方法的学科。其主要任务包括:

(1) 测绘大比例尺地形图。把工程建设区域内的各种地面物体的位置、形状及地面的起伏形态,依据规定的符号和比例尺绘制成地形图,为工程建设的规划设计提供必要的图纸和资料。

(2) 建筑物的施工测量。把图纸上已设计好的建(构)筑物的平面位置和高程,按设计要求在地面上标定出来,作为施工的依据;配合建筑施工,进行各种施工标志的测设工作,确保施工质量;施测竣工图,为工程验收、日后扩建和维修提供资料。

(3) 建筑物的变形观测。对于一些重要的建(构)筑物,在施工和运营期间,为了确保安全,还需要进行变形观测。

总之,测量工作贯穿于工程建设的整个过程,这就要求从事工程建设的人员,都应掌握必要的测量知识与技能。

第二节 地面点位的确定

地球表面上的点称为地面点。测量工作的实质就是确定地面点的位置。由于地球表面高低起伏不平,因此,地面点为三维空间点,其位置须由三个量来确定,这三个量分别表示地面点的平面位置和高程。

一、测量的基准面和基准线

(1) 水准面:地球上自由静止的水面称为水准面。

(2) 大地水准面:地球表面呈现高低起伏,测量学设想静止的平均海水面延伸穿过陆地与岛屿,形成一个封闭的椭球体曲面,称为大地水准面。

(3) 水平面:与水准面相切的平面称为水平面。

(4) 铅垂线:地球表面物体的重力方向线,称为铅垂线。

二、地面点平面位置的确定

地面点的平面位置可以用地理坐标或平面直角坐标表示。平面直角坐标又有高斯平面直角坐标和独立平面直角坐标两种。在小地区的工程测量中,可将这个小区域(一般半径不大于 10km 的范围内)的水准面近似看作水平面,并在该面上建立独立平面直角坐标系,用平面直角坐标来表示地面点的平面位置。

如图 1-1 所示,测量上选用的独立平面直角坐标系,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,规定向东为正,向西为负。纵、横坐标轴的交点为坐标系的原点,记作 O 点。由于测量坐标系 x 轴、 y 轴的位置正好与数学坐标系相反,为了使数学中的计算公式能够在测量上直接应用,测量坐标系的象限编号顺序也与数学坐标系相反,即从北东方向开始,按顺时针方向编号。为了避免坐标值出现负值,坐标原点 O 一般选在测区的西南角。

三、地面点高程的确定

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,用 H 表示。如图 1-2 所示, H_A 、 H_B 分别为地面点 A 、 B 的绝对高程。

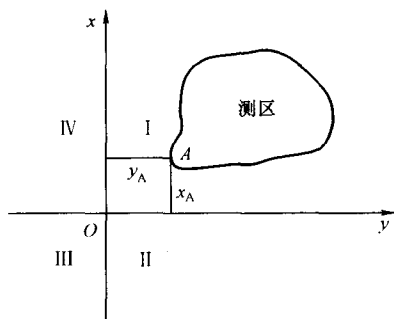


图 1-1 平面直角坐标系

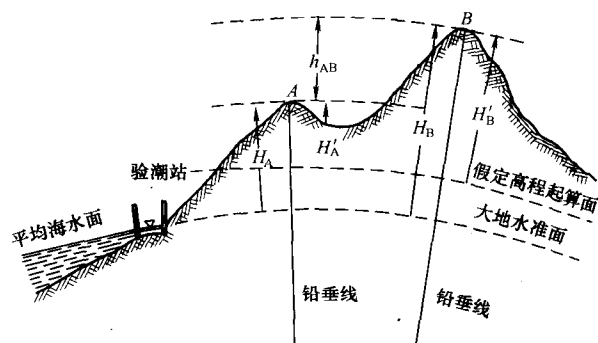


图 1-2 高程和高差

目前我国采用的是“1985 国家高程基准”,它是 1987 年颁布命名的,以青岛验潮站 1952 年~1979 年验潮资料计算确定的平均海水面作为高程基准面,并在青岛建立了国家水准原点,其高程为 72.260m。

2. 相对高程

当采用绝对高程有困难或不方便时,可以假定一个水准面作为高程基准面。地面点到假定水准面的铅垂距离,称为该点的相对高程,用 H' 表示。如图 1-2 所示, H'_A 、 H'_B 分别为地面点 A 、 B 的相对高程。

3. 高差

两个地面点之间的高程之差,称为高差,用 h 表示,如图 1-2 所示, A 、 B 两点之间的高差为

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

可见,高差的大小与起算面无关,但有正负之分。

综上所述,我们只要知道地面点的三个量,即 x 、 y 、 H ,就可以确定地面点的空间位置。

第三节 测量工作概述

一、测量的基本工作

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。但是在实际测量工作中, x 、 y 、 H 的值不能直接测定,而是通过观测未知点与已知点之间的表示相互位置关系的基本要素,利用已知点的坐标和高程,用公式推算未知点的坐标和高程。

如图1-3所示,A、B为地面上两已知点,其坐标(x_A 、 y_A)、(x_B 、 y_B)和高程 H_A 、 H_B 均为已知,欲确定1点的位置,即1点的坐标(x_1 、 y_1)和高程 H_1 ,若观测了B点和1点之间的水平距离 D_{B1} 、高差 h_{B1} 和未知方向与已知方向之间的水平角 β_1 ,则可利用公式推算出1点的坐标(x_1 、 y_1)和高程 H_1 。

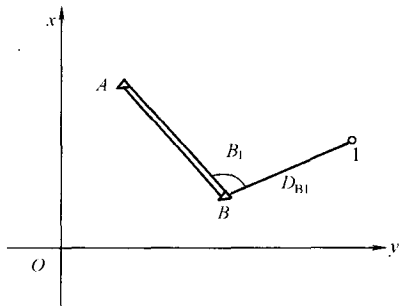


图1-3 测量基本工作示意图

由此可见,确定地面点位的三个基本要素是水平角、水平距离和高差。所以,测量的三项基本工作是水平角测量、水平距离测量和高差测量。

二、测量工作的基本原则

1. “从整体到局部,先控制后碎部”的原则

无论是测绘地形图还是施工放样,在测量过程中,为了减少误差的累积,保证测区内所测点的必要精度,首先应在测区内选择若干对整体具有控制作用的点,组成控制网,采用高精度的测量仪器和精密的测量方法,确定控制点的位置,然后以控制点为测站进行碎部测量。这样,不仅可以很好地限制误差的积累,而且可以通过控制测量将测区划分为若干个小区,同时展开几个工作面施测碎部,加快测量进度。

2. “边工作边检核”的原则

测量工作有内业和外业之分。为了确定地面点的位置,利用测量仪器和工具在现场进行测角、量距和测高差等测量工作,称为外业工作。将外业观测数据、资料在室内进行整理、计算和绘图等工作,称为内业工作。测量成果的质量取决于外业,但外业又要通过内业才能得出成果。为了防止出现错误,不论外业或内业,都必须坚持“边工作边检核”的原则,这样才能保证测量成果的质量和较高的工作效率。

三、测量工作的基本要求

1. 严肃认真的工作态度

测量工作是一项严谨细致的工作,可谓“失之毫厘,差之千里”,施工测量的精度,会直接影响到施工的质量,施工测量的错误,将会直接给施工带来不可弥补的损失,甚至导致重大质量事故。因此,测量人员必须在测量工作中严肃认真、小心谨慎,坚持“边工作边检核”的原则。

2. 保持测量成果的真实、客观和原始性

测量工作的科学性,要求我们在测量工作中必须实事求是,尊重客观事实,严格遵守测量规则与规范,而不能随心所欲,更要杜绝弄虚作假、伪造成果之举。同时,为了随时检查

与使用测量成果，应长期保存测量原始记录与成果。

3. 爱护测量仪器和工具

测量仪器精密贵重，是测量人员的必备武器，任何仪器的损坏、丢失，不但造成较大的经济损失，而且会直接影响到工程建设的质量和进度，因此，爱护测量仪器和工具是每个测量人员应有的品德，也是每个公民的神圣职责。要求对测量仪器和工具轻拿轻放、规范操作、妥善保管；操作仪器要手轻心细，各制动螺旋不可拧得太紧；仪器一经架设，不得离人。

4. 培养团队精神

测量工作是一项实践性很强的集体性工作，任何个人很难单独完成。因此，在测量工作中必须发扬团队精神，各成员之间要互学互助，默契配合。

5. 测量工作中关于记录的基本要求

记录后要回读复核；记录手簿不允许使用橡皮，改正数据时将原数据用删除线标记（应仍能辩清原数据），将改正后数据记在原数据上面，以便将来检查复核，并做必要的备注说明；观测成果不能连环涂改；记录数据（包括观测、计算数据）要注意取位适当，必须满足精度要求。

四、测量实训的组织

每次测量实训，将学生分为若干小组，为保证实训效果，原则上每个小组 5 人，最多不得超过 6 人。每组设组长一人，负责本组实训的领导组织工作，负责领借和归还仪器等，要求组长认真负责，有一定的领导组织才能和威信。原则上每 5 个小组配备一名指导教师，最多不得超过 8 个小组，在学生实训期间，指导教师必须到位，认真履行实训指导职责。

思考题与习题

1. 测定与测设有何不同？
2. 简述建筑工程测量的任务。
3. 名词解释：水准面 水平面 大地水准面 高程 绝对高程 相对高程
4. 高程有无负值，建筑图纸上地下室的地坪标高为 -3.200m 是什么意思？这是绝对标高还是相对标高？
5. 测量学上的平面直角坐标系与数学坐标系有何不同？
6. 地面上某点，测得其相对高程为 639.528m ，若后来又测出假定水准面的绝对高程为 88.452m ，试求该点的绝对高程，并画简图说明之。
7. 测量工作的原则是什么？简述其实际意义。
8. 测量的三项基本工作是什么？

水准测量

测定地面点高程的工作称为高程测量, 高程测量是测量的三项基本工作之一。按照使用的仪器和施测的方法不同, 可分为水准测量、三角高程测量等方法。水准测量能满足不同的精度要求, 是最常用的一种测高程的方法。

第一节 水准测量原理

水准测量是利用水准仪提供一条水平视线, 借助于竖立在地面点上的水准尺, 直接测定地面上各点之间的高差, 然后根据其中已知点的高程推算其他待定点高程的方法。

如图 2-1 所示, 已知 A 点高程 H_A , 欲测定 B 点的高程 H_B 。在 A、B 两点之间安置水准仪, 并在 A、B 两点上各立一根水准尺, 根据水准仪提供的水平视线在 A 点水准尺上的读数 a , 在 B 点水准尺上的读数 b , 可求得 B 点相对于 A 点的高差为

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

进一步求得 B 点的高程为

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (1-2)$$

B 点的高程也可以根据视线高程 (简称视线高) H_i 求得, 如图 2-1 所示, 有

$$H_i = H_A + a \quad (1-3)$$

$$H_B = H_i - b = (H_A + a) - b \quad (1-4)$$

设水准测量前进方向由 A 点向 B 点进行, 如图 2-1 中的箭头所示, 则称 A 为后视点, B 为前视点, a 、 b 分别为后、前视读数, A、B 点到仪器的水平距离分别为后、前视距离。

说明:

(1) h_{AB} 表示 B 点相对于 A 的高差, 当 h_{AB} 为正时, 表示 B 点高于 A 点, 相反, 表示 A 点高于 B 点。

(2) 高差的计算有两种方法, 其一是高差法, 如式 (1-1)、式 (1-2) 所示; 其二是视线高法, 如式 (1-3)、式 (1-4) 所示两种方法各有其优点。

图 2-1 表示安置一次仪器, 称为一个测站, 就能测出两点间的高差。当 A、B 相距较长或者高差较大时, 就须在两点间临时选定若干立尺点, 并依次连续地测出相邻点间的高差 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$, 才能测出 A、B 两点之间的高差 (如图 2-11 所示)

$$h_{AB} = \sum h = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \dots + (a_n - b_n) = \sum a - \sum b$$

$$H_B = H_A + \sum h$$

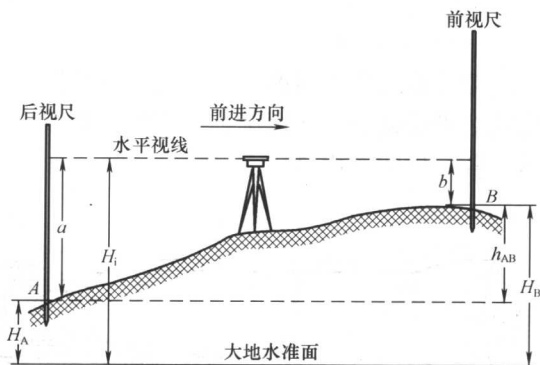


图 2-1 水准测量原理

在水准测量过程中临时选定的立尺点，其上既有前视读数，又有后视读数，这些点称为转点（通常用 TP 表示）。转点在测量过程中起转移仪器、传递高程的重要作用，应该选择在坚实稳固的地面上，以免水准尺下沉。

第二节 水准测量的仪器和工具

水准测量所用的仪器为水准仪，工具有水准尺和尺垫。

一、DS₃ 型微倾式水准仪的构造

水准仪的种类、型号很多，在建筑工程测量中，常用 DS₃ 型微倾式水准仪，这种仪器主要由望远镜、水准器和基座三部分组成，如图 2-2 所示。

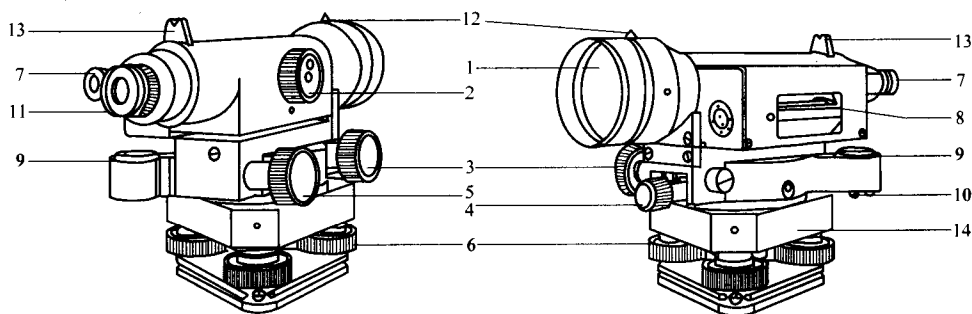


图 2-2 DS₃ 型微倾式水准仪

- 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

（一）望远镜

望远镜是用来瞄准目标、提供水平视线，并在水准尺上进行读数的装置。主要由物镜、物镜对光透镜和对光螺旋、十字丝分划板、目镜和目镜对光螺旋等部件构成，如图 2-3 所示。各部件的作用是：

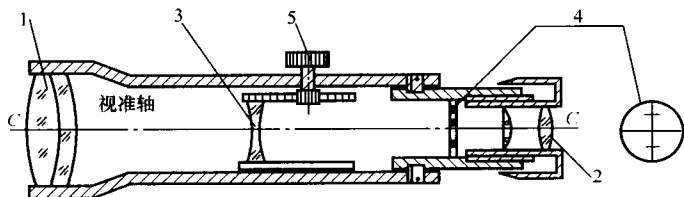


图 2-3 望远镜

- 1—物镜；2—目镜；3—对光透镜；4—十字丝分划板；5—物镜对光螺旋

物镜：使瞄准的物体成像。

物镜对光螺旋和对光透镜：转动物镜对光螺旋可使对光透镜前后移动，起到调焦作用，从而使物像清晰。

十字丝分划板：用来对准目标并读取读数的装置。十字丝分划板是安装在目镜镜筒内的一块

平板玻璃，上面刻有相互垂直的两条细丝，竖直的一条称为纵丝，中间水平的一条称为横丝（又称中丝），用它在水准尺上读数，在横丝的上、下刻有两条对称的短丝，称为视距丝，用于测量仪器到目标的距离。

目镜和目镜对光螺旋：使十字丝分划板连同成像在其上的物像一起放大成虚像，转动目镜对光螺旋使十字丝清晰。

十字丝交点与物镜光心的连线,称为望远镜的视准轴 CC ,即水准仪提供的水平视线轴。

(二) 水准器

水准器是整平仪器的装置,有圆水准器和管水准器(水准管)两种。

1. 圆水准器

圆水准器用于粗略整平仪器。如图 2-4 所示,它是一个密封玻璃圆盒,里面装有液体并形成一个气泡,其顶面为球面,球面中央小圆圈中心为圆水准器零点,零点与球心的连线 $L'L'$ 称为圆水准器轴。圆水准器灵敏度较低,其分划值一般为 $8'/2\text{mm}$ 。

当气泡中心与零点重合时,表示气泡居中,圆水准器轴处于铅垂位置,此时若圆水准轴 $L'L'$ 平行于竖轴 VV ,则竖轴也处于铅垂位置。

2. 管水准器(水准管)

管水准器即水准管用于精确整平仪器。如图 2-5 所示,它是一个密封的玻璃管,里面装有液体并形成一个长形气泡,水准管的内壁为圆弧形,水准管两端各刻有间隔为 2mm 的分划线,分划线的对称中心称为水准管零点,过零点与圆弧相切的切线 LL 称为水准管轴。水准管灵敏度较高,其分划值一般为 $20''/2\text{mm}$ 。

为提高水准管气泡居中的精度,在水准管的上方,设有棱镜组,通过棱镜的反射,将气泡两端的影像,反映到目镜旁的气泡观察窗内。当气泡两端的半影像符合成一个圆弧时,表示气泡居中,如图 2-6 所示,叫符合水准器。

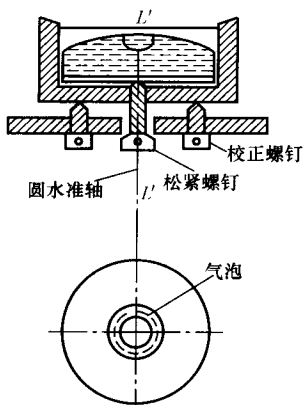


图 2-4 圆水准器

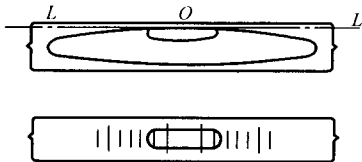


图 2-5 管水准器

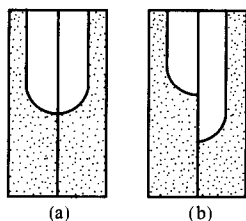


图 2-6 符合水准器

(三) 基座

基座的作用是支承仪器的上部,并通过连接螺旋与三脚架相连,主要由脚螺旋、轴座、底板和三角压板组成。

二、水准尺

水准尺用优质的木材或铝合金制成。常用的有双面水准尺和塔尺两种。

在等外水准测量中,主要用塔尺。塔尺全长 3m 或 5m ,由两节或三节套接而成,如图 2-7 所示。尺的底部为零点,尺上黑白(或红白)格相间,每格宽度为 1cm 或 0.5cm ,每分米处注有数字,数字有正字和倒字两种,分米上的红色或黑色圆点表示米数。双面水准尺,可用于三、四等水准测量。

三、尺垫

尺垫由铸铁铸成,如图 2-8 所示,其形状为三角形,中央有一个半圆球突起,下有三尖脚,使用时将三尖脚踩入地下,然后将水准尺立于半圆球突起的顶部,以防水准尺下沉和

点位移动。

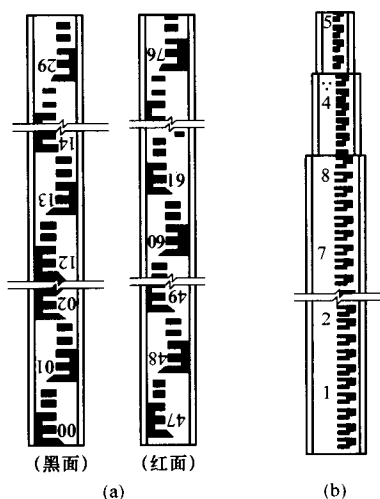


图 2-7 水准尺
(a) 双面水准；(b) 塔尺

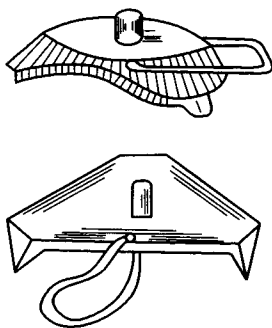


图 2-8 尺垫

第三节 水准仪的使用

水准仪的基本操作步骤为：安置仪器与粗平、调焦与照准、精平与读数。

一、安置仪器与粗平

首先，选好测站位置（尽量使前、后视距离相等），在测站上调节三脚架固定螺旋，使其高度适中，然后张开三脚架，撑稳，目估架头大致水平。

从仪器箱中取出水准仪，用连接螺旋将仪器固定在三脚架上。转动脚螺旋使圆水准器气泡居中，称为粗平。粗平的操作步骤如图 2-9 所示，先用两手按箭头所指的相对方向转动脚螺旋 1 和 2，使气泡沿 1、2 连线方向由 *a* 移至 *b*，再按箭头所指方向转动脚螺旋 3，使气泡由 *b* 移至圆水准器中心。

整平时，气泡移动方向始终与左手大拇指移动方向一致。

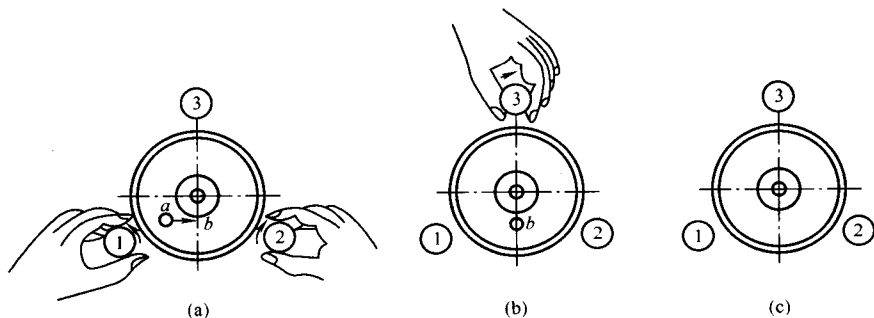


图 2-9 圆水准器整平

二、调焦与照准

(1) 目镜调焦：把望远镜对向明亮的背景，转动目镜对光螺旋，使十字丝清晰。

(2) 粗略照准：松开水平制动螺旋，旋转望远镜，使照门和准星的连线对准水准尺，旋紧制动螺旋。

(3) 物镜调焦：转动物镜对光螺旋，使水准尺成像清晰。

注意消除视差：眼睛靠近目镜上下微微移动，可看见十字丝横丝在水准尺上的读数随之变动，这种现象叫视差。产生视差的原因是尺像与十字丝分划板不重合，消除视差的方法是仔细转动物镜对光螺旋，直至尺像与十字丝分划板重合。

(4) 精确瞄准：转动水平微动螺旋，使十字丝纵丝照准水准尺的中央。

三、精平与读数

转动微倾螺旋，使符合水准器两半边气泡影像严密吻合（注意：微倾螺旋旋转方向与左侧半边气泡影像的移动方向一致），然后立即用十字丝中丝在水准尺上读数。一般读四位数，估读至毫米。读完后检查气泡是否居中，如不居中，应再次精平，重新读数。

第四节 水准测量方法

一、水准点和水准路线

(一) 水准点

水准测量中已知高程的点，称为水准点。水准点是水准测量中测高程的依据，一般用 BM 表示。水准点有永久性水准点和临时性水准点两种。

(二) 水准路线

在水准测量中，为了避免观测、记录和计算中发生人为错误，并保证测量成果达到一定的精度要求，必须布设成某种形式的水准路线，利用一定的条件来检验所测成果的正确性。水准路线一般有以下三种形式：

1. 闭合水准路线

如图 2-10 (a) 所示，其布设方法是从一个已知水准点 BM_A 开始，沿各待测高程点 1、2、3 等点进行水准测量，最后又回到原水准点 BM_A ，这种水准路线称为闭合水准路线。

其检核条件是闭合水准路线各测段的高差代数和理论上等于零，即 $\sum h_{理} = 0$ 。

2. 附和水准路线

如图 2-10 (b) 所示，其布设方法是从一个已知水准点 BM_A 开始，沿各待测高程点 1、2、3 等点进行水准测量，最后附和到另一水准点 BM_B 上，这种水准路线称为附和水准路线。

其检核条件是附和水准路线各测段的高差代数和，理论上等于两个已知水准点 A、B 之间的高差，即

$$\sum h_{理} = H_B - H_A$$

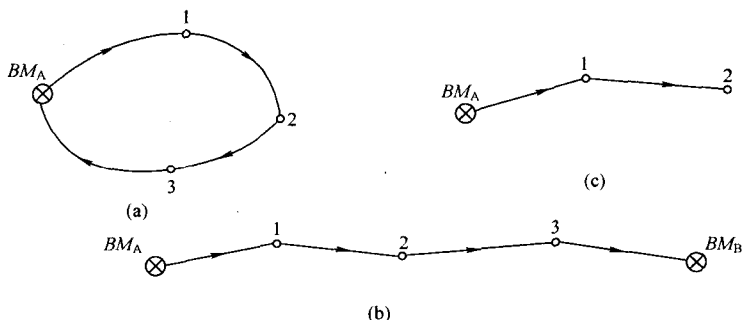


图 2-10 水准路线

(a) 闭合水准路线；(b) 附和水准路线；(c) 支水准路线

3. 支水准路线

如图 2 - 10 (c) 所示, 其布设方法是从一个已知水准点 BM_A 开始, 沿各待测高程点 1、2 等点进行水准测量, 既不闭合到原出发点, 也不附合到其他已知水准点, 这种水准路线称为支水准路线。

其检核条件是支水准路线往返测高差代数和理论上等于零, 即

$$\sum h_{往测} + \sum h_{返测} = 0$$

二、水准测量的方法、记录和计算

水准点埋设完毕, 即可按选定的水准路线进行水准测量。如图 2 - 11 所示, 已知水准点

BM_A 点的高程为 100.000m, 欲测定 B 点的高程。

如果安置一次仪器不能测出两点间高差, 必须设置多个测站。作业时, 先在适当位置选择转点 TP_1 , 在水准点 BM_A 和转点 TP_1 上立尺, 然后选择测站点安置仪器 (水准仪至前、后视点的距离应尽量相

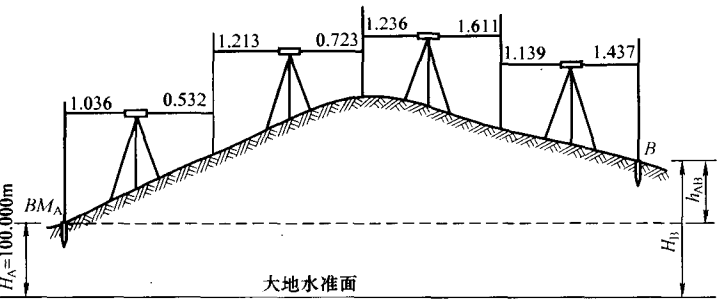


图 2 - 11 水准测量的实测

等), 施测第一测站。再选择转点 TP_2 , 在转点 TP_1 和 TP_2 上立尺, 用同样的方法施测第二测站, 依次类推, 直至 B 点。具体步骤如下:

1. 观测与记录

第一测站: 安置仪器与粗平后, 首先调焦与照准后视尺, 精平后读取后视读数 $a_1 = 1.036m$, 记录员回读后记入水准测量手簿相应栏内, 见表 2 - 1; 然后松开制动螺旋, 转动望远镜, 调焦与照准前视尺, 精平后读取前视读数 $b_1 = 0.532m$, 记录员回读后记入手簿。

第一测站测完后, TP_1 点上的水准尺不动, 在 TP_2 点上立尺, 用同样的方法观测、记录, 依次测至 B 点。

表 2 - 1 水准测量手簿

测 站	点 号	后视读数 (m)	前视读数 (m)	高差 (m)		高程 (m)
				+	-	
1	BM_A	1.036				100.000
	TP_1	1.213	0.532	0.504		
2	TP_2	1.236	0.723	0.490		
	TP_3	1.139	1.611		0.375	
4	BM_B		1.437		0.298	100.321
Σ		4.624	4.303	0.994	0.673	
计算检核		$\Sigma a - \Sigma b = 0.321$		$\Sigma h = 0.321$		$h_{AB} = 0.321$

2. 计算及计算检核

(1) 计算每一测站的高差为

$$h_1 = a_1 - b_1 = 1.036 - 0.532 = +0.504(\text{m})$$

$$h_2 = a_2 - b_2 = 1.213 - 0.723 = +0.490(\text{m})$$

⋮

将计算出来的高差记入手簿相应栏内，见表 2-1。

(2) 计算 B 点高程

$$h_{AB} = \sum h = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \cdots = \sum a - \sum b = 0.321(\text{m})$$

则 B 点的高程为 $H_B = H_A + \sum h_{AB} = 100.000 + 0.321 = 100.321(\text{m})$

(3) 计算检核。为了保证计算数据正确，须进行计算检核。检核方法是：分别计算后视读数代数和减去前视读数代数和、各测站高差代数和、AB 两点高程之差，这三个数字应相等；否则，计算有误。例如表中

$$\sum a - \sum b = \sum h = H_B - H_A = 0.321(\text{m})$$

说明计算正确。

3. 测站检核

对于每一测站，为了保证观测数据的正确性，须进行测站检核，测站检核的方法有双仪器高法和双面尺法。

(1) 双仪器高法：双仪器高法是在同一个测站上用两次不同的仪器高度（改变仪器高度约 10cm），测得两次高差进行检核。对于等外水准测量来说，两次所测高差之差，如果小于等于 5mm，则认为符合要求，取其平均值作为最后结果，否则须重测。

(2) 双面尺法：双面尺法是在同一测站上，分别用双面水准尺的黑面和红面两次测定高差进行检核。

三、水准测量的误差及注意事项

水准测量的误差包括仪器误差、观测误差和外界条件的影响三个方面。在水准测量中应根据误差产生的原因，采取相应措施，尽量减弱或消除其影响。

(一) 仪器误差

(1) 视准轴与水准管轴不平行所带来的误差：要求在作业中采用前后视距离相等的方法来消除。

(2) 水准尺误差：要求检定其分划与变形，零点差可用设偶数站的方法来消除。

(二) 观测误差

(1) 水准管气泡居中误差：要求每次读数前，严格整平。

(2) 读数误差：要求最大视线长度应遵循规定，以保证读数精度，并仔细调焦，消除视差。

(3) 水准尺倾斜误差：要求用水准尺气泡居中或“摇尺法”来读数。

(三) 外界条件的影响

(1) 地球曲率与大气折光的影响：要求用前后视距离相等，选择有利的观测时间，控制视线与地面物体的距离等方法减弱其影响。

(2) 温度的影响：要求打测伞，防止阳光直接照射仪器，特别是气泡。

(3) 仪器和尺垫的影响：须注意采取一定的方法，如“后前前后”的观测程序，往返观测方法，转点的选择要求等。