

水利部农水司推荐

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材

全国农村水利员培训新概念规划教材

水利工程测量

王建华 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

TV224.1

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材
全国农村水利员培训新概念规划教材

水利工程测量

王建华 主 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是为农村水利员的培训和农业水利工程专业的中等教育而编写的教材。本书重点介绍了工程测量的基本理论和基本知识,并结合工程实际阐述了有关地形测量、施工测量和变形观测的基本方法。本书由工程测量的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量和直线定向、小区域控制测量、测量误差的基本知识、大比例尺地形图的测绘与应用、施工测设的基本工作和水利工程测量等9章组成,附有8个测量实习。本书突出以实用为主的原则,舍弃了繁琐的理论推证,结合测量实例,重点介绍实际作业的方法、步骤,使内容通俗易懂。同时,突出了测量技术的先进性,介绍了目前在实际工作中常用的全站仪、数字化测图和GPS测量等新仪器和测量新技术。

本书既可作为中等职业学校水利技术专业教材和农业水利技术人员岗位培训教材,也可供从事工程测量的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程测量/王建华主编. —北京:中国水利水电出版社, 2005

全国中等职业教育农业水利工程类精品教材. 全国农村水利员培训新概念规划教材

ISBN 7-5084-3124-3

I. 水... II. 王... III. 水利工程测量—专业学校—教材 IV. TV221

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第089072号

书 名	全国中等职业教育农业水利工程类精品教材 全国农村水利员培训新概念规划教材 水利工程测量
作 者	王建华 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 9.75印张 231千字
版 次	2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	23.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

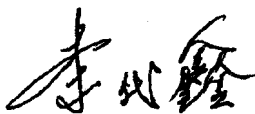
我国历来十分重视水利工作，把治水看作治国安邦的基本方略。当前正处于社会体制转型和经济快速发展的新时期，治水思路由工程水利向资源水利、传统水利向现代水利和可持续发展水利转变。水利事业的发展需要一大批具备岗位技能、独当一面的基础人才。广大基层水利技术员，长年累月战斗在水利建设的第一线，是各级水利部门和地方政府的得力助手。他们担负着乡镇区域（流域）内水利工程建设管理、防汛抗旱抢险、水政执法、水资源配置、农田水利实用技术推广等任务，为推动整个水利建设、管理和改革，加快农业农村现代化建设执着奉献。

进一步提高农村防洪排涝能力，保障农村饮水安全、粮食生产安全和农村生态安全，推进水资源的高效利用，促进农业增效、农民增收、农村发展和全面实现小康社会，是新时期赋予农村水利的主要任务。为此，加强以基层水利员为重点的水利行业基础人才专业培训，进一步提高他们的业务素质和专业技能，更好地肩负起历史重任，是新形势下水利职业教育的一项重要工作。

教材建设是职业教育的基础。针对基层农村水利技术人员培训及水利中等职业教育的教材建设相对滞后的现状，浙江省率先组织编写了全国农村水利员培训新概念规划教材，即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材。该套教材由15分册组成，各分册在内容的组织和编排上体现了适用基层水利人员中职教育及水利行业职工培训的特点，把握了以应用为目的，以能用、够用为度的原则，并注重介绍和引入目前的新技术、新工艺、新标准和新规范。该套教材有较好的实用性、针对性、适用性，具有一定的创新特点，既可作为基层农村水利技术人员的岗位培训教材、中等职业学校水利工程技术专业通用教材，也可供广大水利技术人员参考阅读。

该套教材的出版，是对水利行业职业教育、教材建设的一次有益探讨，相信它会给新时期农村水利职业技能应用型人才培养和中等职业教育带来帮助。

水利部农村水利司司长



2005年8月

前 言

全国农村水利员培训新概念规划教材，即全国中等职业教育农业水利工程类精品教材是根据水利部对全国农村水利技术人员的培训要求和全国农业水利工程类专业中职教学特点，总结多年教学和行业培训的经验，吸取同类教材的优点，以适应 21 世纪将水利行业的职工技术培训与中职教育融为一体的教育改革创新思维编写而成。本套教材针对中职教育、水利行业职工培训和专业人员自学的特点，在内容的选择和编排上进行了认真探索和尝试性改革。编写过程本着“淡化设计，充实图例，突出概念，反映最新”的原则，追求“实用性、针对性、通用性”。本套教材尽量采用最新的行业技术、规范和标准，力求通俗易懂、简单实用，使读者学为所用，学以致用。

本套教材首批推出 15 分册，本书为《水利工程测量》。该书由工程测量的基本知识、水准测量、角度测量、距离测量和直线定向、小区域控制测量、测量误差的基本知识、大比例尺地形图的测绘与应用、施工测设的基本工作和水利工程测量等 9 章组成，附有 8 个测量实习。本书重点介绍了工程测量的基本理论和基本知识，并结合工程实际阐述了有关地形测量、施工测量和变形观测的基本方法；突出以实用为主的原则，舍弃了繁琐的理论推证，结合测量实例重点介绍实际作业的方法、步骤，使内容通俗易懂；同时突出了测量技术的先进性；介绍了全站仪、数字化测图、GPS 测量等新仪器和测量新技术。

本书由王建华主编，并编写了第一章、第四章至第九章和附录，杨海平编写第二章和第三章。本书由赵红审稿。

本套教材在编写过程中，得到了水利部农水司、浙江省水利厅有关处室、浙江水利水电高等专科学校、贵州省水利水电学校、吉林省水利水电学校、云南省水利水电学校、新疆水利水电学校、河南省郑州水利学校等单位的领导和同志们的指导和帮助，在此表示深深的谢意。同时，得到了相关教材、专著的专家们的帮助与指教。对所有参考文献的作者（包括因时间及其他原因联系不上的作者），表示衷心的感谢，并欢迎联系和交流。

由于编写时间仓促，编者水平有限，本套教材在内容选择、文字表述、图文体例等各方面可能存在疏漏。热忱欢迎读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

【 目 录 】

序

前 言

第一章 工程测量基本知识	1
第一节 水利工程测量的任务	1
第二节 地面点位置的表示方法	1
第三节 测量工作概述	4
第二章 水准测量	6
第一节 水准测量原理	6
第二节 水准测量的仪器和工具	7
第三节 水准仪的使用	11
第四节 普通水准测量	12
第五节 水准仪的检验和校正	17
第六节 水准测量的误差及其消减方法	20
第三章 角度测量	22
第一节 角度测量原理	22
第二节 光学经纬仪	22
第三节 光学经纬仪的使用	27
第四节 水平角测量	28
第五节 竖直角测量	32
第六节 光学经纬仪的检验和校正	34
第七节 水平角测量误差及其消减方法	38
第八节 电子经纬仪与全站仪	39
第四章 距离测量和直线定向	43
第一节 钢尺量距	43
第二节 光电测距	48
第三节 直线定向	51
第五章 小区域控制测量	56
第一节 控制测量概念	56
第二节 导线测量	57
第三节 交会定点测量	66

第四节	三、四等水准测量	69
第五节	三角高程测量	72
第六节	GPS 测量	74
第六章	测量误差基本知识	77
第一节	测量误差概述	77
第二节	偶然误差的性质及算术平均值原理	78
第三节	衡量测量精度的标准	79
第四节	等精度观测平差	81
第七章	大比例尺地形图测绘与应用	83
第一节	大比例尺地形图基本知识	83
第二节	视距测量	90
第三节	地形图测绘	92
第四节	地形图应用	98
第八章	施工测设的基本工作	104
第一节	概述	104
第二节	基本测设工作	105
第三节	点的平面位置测设方法	108
第四节	坡度线测设	110
第五节	圆曲线测设	111
第九章	水利工程测量	114
第一节	渠道测量	114
第二节	水闸施工测量	122
第三节	水工建筑物的变形观测	124
附录		127
实习一	水准仪的认识和使用	127
实习二	普通水准测量	129
实习三	经纬仪的认识和使用	131
实习四	水平角和竖直角测量	133
实习五	四等水准测量	135
实习六	导线测量	137
实习七	碎部测量——经纬仪测绘法	140
实习八	水平距离、水平角和高程的测设	141
参考文献		143



第一章 工程测量基本知识

第一节 水利工程测量的任务

测量学是研究地球形状和大小以及确定地面点位置的科学。水利工程测量是测量学的一个分支，它是将测量技术应用于水利工程建设，实施水利工程勘测、设计、施工和运行各个时期的测量工作。

进行任何一项水利工程建设，都需要通过测量来获得有关地区的地形资料。例如，在某河流上修建一座引水闸，首先应搜集和测绘闸址附近的全部地形资料，作为水文计算、地质勘探和规划的依据；工程位置确定后，必须测绘更详尽的大比例尺地形图，以便在地形图上确定闸室和上、下游连接段的位置；施工过程中要进行施工放样测量，把设计在图纸上的闸底板、闸墩和翼墙等工程项目的位置通过测量方法，在地面上标定出来，以便进行施工。同时，要经常对施工和安装工作进行检测，保证工程符合设计要求。工程竣工后，还要进行竣工验收测量，以检查工程质量是否达到设计要求，并作为工程管理的重要依据。在运行管理中，还要定期对水闸工程的重要部位的位移、沉陷等变形进行观测，掌握建筑物的变形规律，以确保水闸的安全和正常运行。

可见，在水利工程建设中，测量工作贯穿于规划、设计、施工和管理各个阶段。水利工程测量的主要任务有以下三个方面。

1. 测绘大比例尺地形图

通过实地测量和计算获得观测数据，利用地形图图式，把地球表面的地物和地貌按一定比例尺缩绘成地形图，为水利工程勘测、设计提供所需的测绘资料。

2. 施工放样

施工阶段要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于实地，以便据此施工。

3. 水工建筑物的变形观测

在施工过程中及工程建成后的运行管理阶段，需要对建筑物的稳定性及变化情况进行监测，确保工程安全运行。

第二节 地面点位置的表示方法

地面点位置即地面上点的空间位置，确定地面点位是测量学的根本任务。地面点位需要三个参数（ X 、 Y 、 Z ）来描述，在测量学中常用高程和平面直角坐标来表示。

一、测量工作的基准面和基准线

1. 基准面



地球表面高低起伏变化非常大,有高出海平面 8848.13m 的珠穆朗玛峰,也有低于海平面 11022m 的马里亚纳海沟,但这与地球的半径 6371km 相比,还是很小的。海洋面积

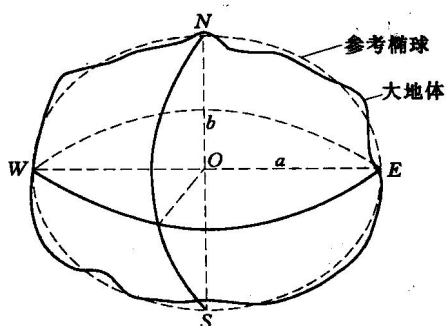


图 1-1 大地体和参考椭球

约占地球表面的 71%,陆地约占 29%,因此人们设想有一个完全处于静止、平衡状态的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐,时高时低,所以水准面有无数个,而其中通过平均海水面的一个称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。大地水准面是作为地面高程的起算面,因而称为测量工作的基准面。

地球的数学表面是参考椭球面。由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向不规则的变化,以致大地水准面是一个不规则的曲面,即大

地体不是一个规则的椭球体。为了测量计算和投影制图的方便,于是选用一个与大地体非常接近、可用数学式表达的旋转椭球体代替大地体,这个旋转椭球体称为参考椭球,如图 1-1 所示,它是由椭圆 NESW 绕轴 NS 旋转而得到的。它的表面即为参考椭球面。参考椭球的元素有长半径 a ,短半径 b 和扁率 e 。目前,我国采用的“1980 年国家大地坐标系”的参考椭球数据是

$$a=6378140\text{m}$$

$$b=6356755\text{m}$$

$$e=(a-b)/a=1:298.257$$

2. 基准线

在细线的下端悬吊一重物,上端固定,当它们静止时,细线的方向线即为铅垂线的方向,它是地球上物体重力的作用线。铅垂线与水准面处处垂直,在测量工作中将其称为基准线。

二、地面点的高程

地面点到高程基准面的铅垂距离称为高程。高程按基准面的不同可分为绝对高程和相对高程两种。

1. 绝对高程

地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程。绝对高程通常又称为海拔,用 H 表示,如图 1-2 中, A 点的绝对高程为 H_A , B 的绝对高程为 H_B 。在无特殊说明时,通常所说的高程就是指绝对高程。

我国现行的“1985 国家高程基准”是以青岛验潮站 1953~1979 年的黄海平均海水面作为大地水准面,水准原点设在青岛,其绝对高程为 72.2604m。

2. 相对高程

地面点到假定大地水准面的铅垂距离称为相对高程。相对高程又叫假定高程,通常用 H' 表示,如图 1-2 中, A 点的相对高程为 H'_A , B 点的相对高程为 H'_B 。在用相对高程表示地面点时,要说明假定大地水准面的位置,如浙江省常用的吴淞高程,它是以上海吴



渤口的多年平均海水面作为假定大地水准面的。

3. 高差

在实际测量中,无法直接量出从地面点到大地水准面的铅垂距离,而是通过两点间的高差来实现的。高差是指两地面点间的高程差,用 h 表示。如图 1-2 中 B 点相对于 A 点的高差为 h_{AB} , 其与高程的关系为:

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

显然,当 $h_{AB} > 0$ 时,表明 B 点高于 A 点,反之 B 点低于 A 点。当 $h_{AB} = 0$ 时,表明 A、B 两点同高。

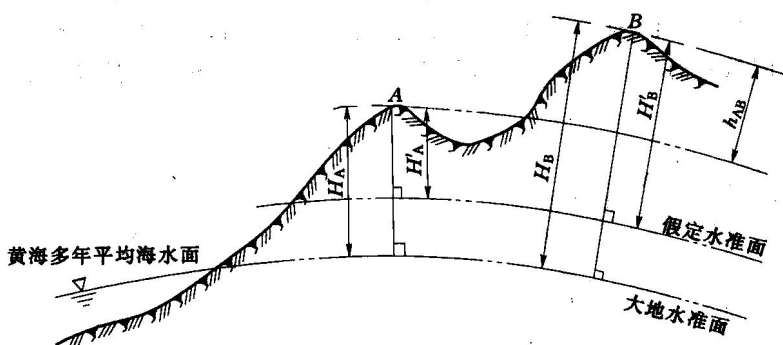


图 1-2 高程与高差

而 A 点相对于 B 点的高差可表示为 h_{BA} , 它与高程的关系为

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

显然 h_{AB} 与 h_{BA} 的绝对值相等、符号相反。

三、地面点的平面位置

地面点的投影位置可用地理坐标、高斯平面直角坐标或测量学平面直角坐标表示。在工程测量中,主要采用后两种坐标,其中高斯平面直角坐标适用于大区域测量,而测量学平面直角坐标适用于小区域测量。

1. 高斯平面直角坐标

我国的国土从北纬 3° (南海诸岛之一的曾母暗沙) 起,到北纬 54° (黑龙江省漠河) 止,经度范围西起 73° (新疆维吾尔自治区乌恰县的马孜别里江口),东至 135° (黑龙江省的抚远县团结屯) 的广阔区域,用参考椭球面为基准面(接近大地水准面)。但椭球面又是不能展开为平面的曲面,为了将椭球面上的点、图形能表示在平面直角坐标系里,我国采用了高斯分带 (6° 和 3°) 投影,我国按六度带投影共有十一带,按三度带投影分为二十二个投影带的方法建立全国统一的平面直角坐标系。该系统以各带中央子午线的投影为纵坐标 X 轴,以赤道的投影为横坐标 Y 轴,以中央子午线与赤道的交点为各投影带坐标原点,纵坐标以赤道为零起算,赤道以北为正。我国位于北半球,各带纵坐标皆为正值。横坐标以中央子午线为零起算,中央子午线以东为正,以西为负。横坐标由此出现负值,使用不便。我国规定各投影带坐标纵轴西移 500km 当作起始轴,见图 1-3,带内各点的



横坐标值均加 500km 后表示, 若横坐标值小于 500km 时则在带中央子午线西侧。此外, 为了区分坐标系是属于哪一带的, 则要求横坐标表示时前两位注为带号, 如某点 $X_A = 3648245\text{m}$, $Y_A = 21654674\text{m}$, 实际 A 点是属于高斯投影第 21 带内, 离赤道 3648245m, 离 21 带中央子午线东侧 154674m 处。

在 1980 年以前, 我国的国家坐标系采用“1954 年北京坐标系”, 即以原苏联克拉索夫斯基参考椭球体的参数为依据建立的。1980 年后, 我国起用自己测算的椭球参数, 并以陕西省泾阳县永乐镇某点为原点进行大地定位, 称为“1980 年国家大地坐标系”。

2. 测量学平面直角坐标

当测区较小时, 可用水平面代替参考椭球面 (大地水准面), 用平面直角坐标表示点的平面位置, 如图 1-4 所示, 测量学中的平面直角坐标系和数学中的平面直角坐标系有两处不同: ①坐标轴, 纵轴为 X 轴, X 轴正向为正北方向, 横轴为 Y 轴, Y 轴正向为正东方向; ②象限按顺时针方向编号。但是所有三角函数关系不变, 计算公式与数学上完全一致。

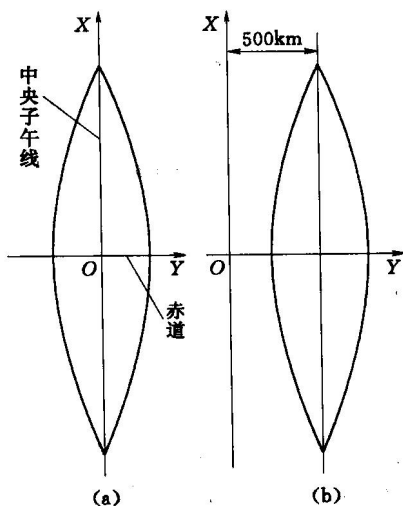


图 1-3 高斯平面直角坐标

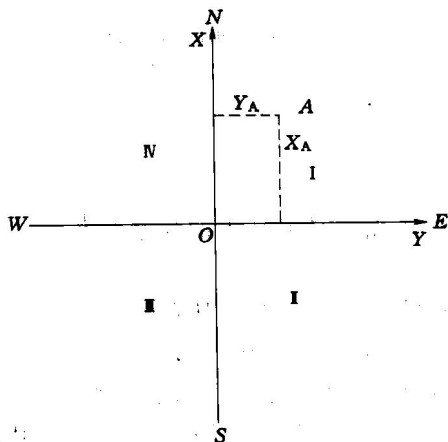


图 1-4 测量平面直角坐标

第三节 测量工作概述

一、测量的基本工作

如前所述, 测量工作的实质是确定地面点的位置。点位是由点的平面位置 X 、 Y 与高程 H 所决定的, 而坐标值 X 、 Y 与高程值 H 并不能直接测量得出。

测量工作就是先测出决定点位与点位之间的高差、水平角和水平距离, 再通过一定的计算公式由高差算得点的坐标量 H 和由水平角 α 、水平距离 D 算得另两个坐标量 X 、 Y 。

因此, 将地面点间的水平距离、水平角和高差称为确定地面点位的三个基本要素。相应地, 测量的三项基本工作为: 高差测量、水平角测量和水平距离测量。



二、测量工作的基本原则

在进行测量工作时，为了避免测量误差积累，应遵循测量工作的基本原则“先整体后局部，先控制后碎部”。即先在整个测区范围内选择若干点，通过精密测量和精确计算，计算出各点的坐标和高程，这种工作称为控制测量。然后再利用这些控制点进行局部区域的测图或测设，以保证测量数据和测量成果具有较高的精度。

在工程测量中，通常将现场测量、收集数据的作业过程称为测量外业，而将整理数据和计算成果的工作称为测量内业。测量工作中必须做到外业和内业相结合，遵循测量工作的基本原则，认真对待每一个观测数据，仔细检查、核对，直到符合精度要求为止，只有这样才能很好地完成工程测量任务。

第二章 水准测量

第一节 水准测量原理

水准测量是利用水准仪提供的一条水平视线，对竖立在两地面点上的水准尺进行读数，求得两点间的高差，然后根据已知点的高程推算未知点高程的一种测量方法。

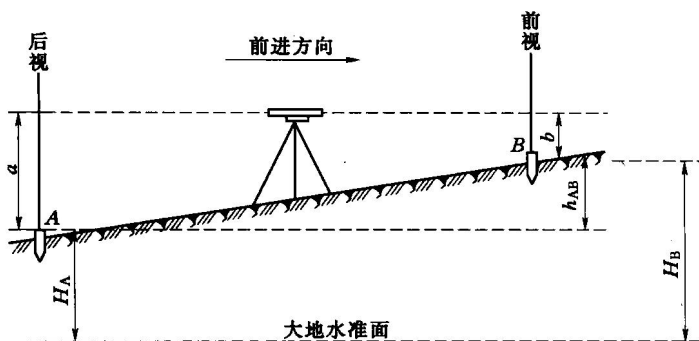


图 2-1 水准测量原理

如图 2-1 所示，欲测定 A、B 两点间的高差，则在 A 点与 B 点之间安置水准仪，并分别在 A、B 点上竖立水准尺，根据水准仪所提供的水平视线，在 A 点水准尺上读取读数 a ，在 B 点水准尺上读取读数 b ，则 AB 两点间的高差为

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

如果水准测量是由 A 点向 B 点进行，则 A 点叫后视点，相应水准尺上的读数称为后视读数；B 点叫做前视点，相应水准尺上的读数称为前视读数。故后、前视点间的高差等于后视读数减去前视读数，即

$$\text{高差}(h_{AB}) = \text{后视读数}(a) - \text{前视读数}(b)$$

由式 (2-1) 可知，高差 h_{AB} 可为正也可为负。当后视读数 a 大于前视读数 b 时，高差 h_{AB} 为正，在高差值前面须注上相应的“+”，这说明 B 点高于 A 点；当后视读数 a 小于前视读数 b 时，高差 h_{AB} 为负，在高差值前面须注上相应的“-”，这说明 B 点低于 A 点。

在测定了两点间的高差以后，若 A 点的高程为已知，则可计算出 B 点的高程，即

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

将式 (2-1) 代入式 (2-2) 则

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

其中 $H_A + a = H_i$ ， H_i 为水准仪的视线高程，即水平视线到大地水准面的铅垂距离，简称



视线高。因此前视点的高程可表述为

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

假如 A、B 两点间的高差较大或距离较远，以致安置一次仪器不能测得两点间的高差时，必须如图 2-2 所示，分成若干测站，逐站安置仪器连续进行观测。

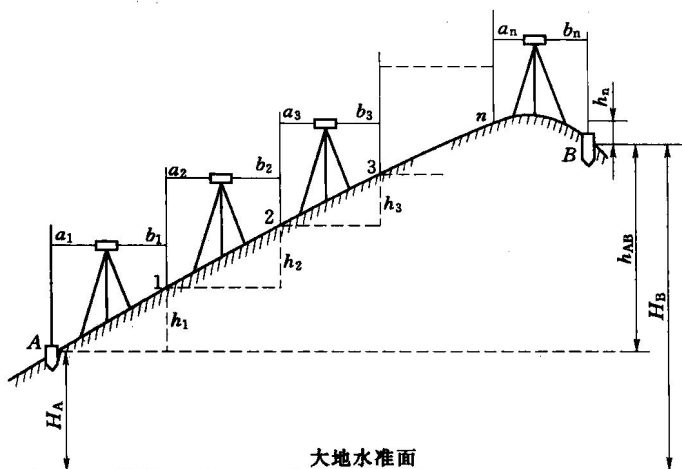


图 2-2 连续水准测量

从图 2-2 中可以看出 A、B 两点间的高差为

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \cdots + h_n = \sum h_i \quad (2-5)$$

式中 $\sum h_i$ ——各站高差的代数和，m。

而

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$\vdots$$

$$h_n = a_n - b_n$$

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \cdots + h_n = \sum h_i = \sum a_i - \sum b_i$$

最终 B 点的高程由式 (2-2) 求得。

由此可见，B 点的高程是由 A 点经 1, 2, 3, ..., n 点传递过来的，这些传递高程的点称为转点，通常在编号前面注上“TP”，其位置的高低不会影响 A、B 两点间的高差。

第二节 水准测量的仪器和工具

水准测量所使用的仪器和工具主要有：水准仪、水准尺和尺垫等。

一、水准仪

水准仪是进行水准测量的主要仪器，它的主要功能是提供水平视线，并借助水准尺直接测定地面点之间的高差。目前工程中常用的水准仪有微倾水准仪和自动安平水准仪，其他还有激光水准仪等。下面介绍微倾水准仪和自动安平水准仪。



(一) 微倾水准仪

在工程中广泛使用的水准仪是 DS_3 型水准仪。我国大地地形测量仪器系列化方案规定, 大地地形测量仪器的总代号为 D, 水准仪的代号 S, 如 1km 往返测量中误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ 的水准仪, 以 DS_3 表示其等级。

DS_3 型水准仪主要由望远镜、水准器及基座 (包括旋转轴平台) 三大部分组成, 见图 2-3。

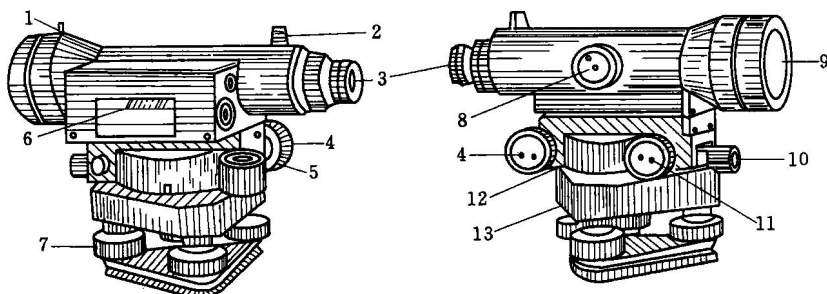


图 2-3 DS_3 型微倾水准仪

1—准星; 2—缺口; 3—目镜; 4—微倾螺旋; 5—圆水准器; 6—水准管; 7—脚螺旋; 8—物镜对光螺旋; 9—物镜; 10—水平制动螺旋; 11—水平微动螺旋; 12—旋转轴平台; 13—基座

1. 望远镜

望远镜是用以照准目标和对准水准尺进行读数的设备。它由物镜、调焦透镜、十字丝分划板及目镜组成。镜筒外面装有准星, 用来初步瞄准目标。目标通过物镜在望远镜形成倒立的小物像 (实像); 转动物镜对光螺旋, 调焦透镜则随之前后移动, 使物像落到十字丝平面上。再经过目镜的放大作用, 使物像和十字丝同时放大成虚像。放大后的虚像与眼睛直接看到目标大小之比值, 就是望远镜的放大率。 DS_3 型水准仪的望远镜放大率为 30 倍。

十字丝分划板是一块圆形平板玻璃, 上面刻着相互正交的十字丝, 装在金属的十字丝环内。竖丝和中间横丝用来照准水准尺和读取读数, 其交点称为十字丝中心。十字丝中心与物镜光心的连线称为视准轴。上下两根横丝用来测量距离, 称为视距丝。

2. 水准器

水准器是标志视线是否水平、竖轴是否铅垂的装置。水准器有两种: 圆水准器和水准管。水准管装在望远镜的左侧, 供读数时判断视准轴是否精确水平; 圆水准器装在轴座上, 用于判断视准轴粗略水平。

(1) 圆水准器。圆水准器顶面的内壁磨成圆球面, 顶面中央刻有一个小圆圈, 圆圈的中心称为圆水准器的零点, 零点与球心的连线为圆水准器轴, 如图 2-4 所示。当气泡中心与圆圈中心重合时, 表示气泡居中, 圆水准轴处于竖直 (铅垂) 位置, 水准仪的竖轴也大致处于竖直位置。 DS_3 型水准仪圆水准器分划值一般为 $10'/2\text{mm}$ 。由于分划值较大, 则灵敏度较低, 只能用于判断水准仪的粗略整平, 为仪器精确置平创造条件。

(2) 水准管, 如图 2-5 所示。水准管是由玻璃管制成, 又称管水准器。其纵向内壁



研磨成一定曲率半径的圆弧，管内充以酒精和乙醚的混合液，并留有空间形成一个小长气泡，因气泡较轻，故处于管内最高处。

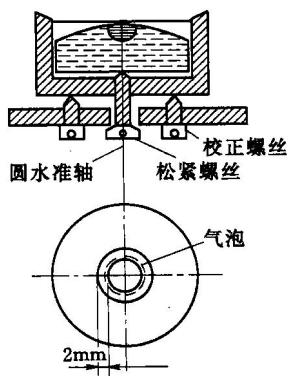


图 2-4 圆水准器

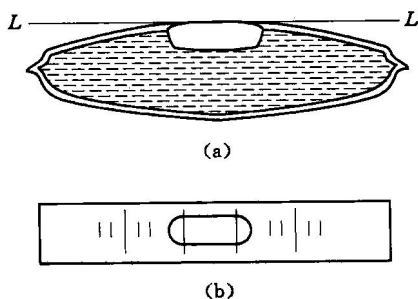


图 2-5 水准管

水准管圆弧中点称为水准管的零点，通过零点的圆弧切线 LL 称为水准管轴。水准管表面刻有 2mm 间隔的分划线，并与零点相对称。当气泡的中点与水准管的零点重合时，称为气泡居中，表示水准管轴水平。若保持视准轴与水准管轴平行，则当气泡居中时，视准轴也应位于水平位置。DS₃ 型水准仪水准管的分划值一般为 $20''/2\text{mm}$ ，表明气泡移动一格 (2mm)，水准管轴倾斜 $20''$ 。

为提高水准管气泡居中精度，DS₃ 型水准仪的水准管上方安装有一组符合棱镜，通过符合棱镜的反射作用，把水准管气泡两端的影像反映在望远镜旁的水准管气泡观察窗内，当气泡两端的两个半像符合成一个圆弧时，就表示水准管气泡居中，若两个半像错开，则表示水准仪气泡不居中，此时可转动位于目镜下方的微倾螺旋，使气泡两端的半像严密吻合（即居中），达到仪器的精确置平。这种配有符合棱镜的水准器，称为附合水准器。它不仅便于观察，同时可以使气泡居中精度提高。

3. 基座

仪器的下面部分称为基座，包括三角形的轴座、三个脚螺旋，三角形压板和连接板。仪器上部通过竖轴插入轴座内，由基座承托，整个仪器用连接螺旋与三脚架连接。

(二) 自动安平水准仪

自动安平水准仪是借助一种补偿装置取代符合水准器。安置仪器，通过概略整平，使圆水准气泡居中后，十字丝交点能自动得到视线水平状态下的读数。

1. 自动安平的原理

如图 2-6 所示，水准轴水平时在水准尺读数为 a ，当视准轴倾斜一个小角 α 时，此时视线读数为 a' ，(a' 不是水平视线读数)。为了使得十字丝中丝读数仍为水平视线的读数 a ，在望远镜的光路上增设一个补偿器，使得通过物镜光心的水平视线经过补偿器装置的光学元件后偏转一个 β 角，仍旧成像于十字丝中心，即

$$f\alpha = d\beta \quad (2-6)$$

由于 α 和 β 都是很小的角度，当式 (2-6) 成立时，就能达到自动补偿的目的。

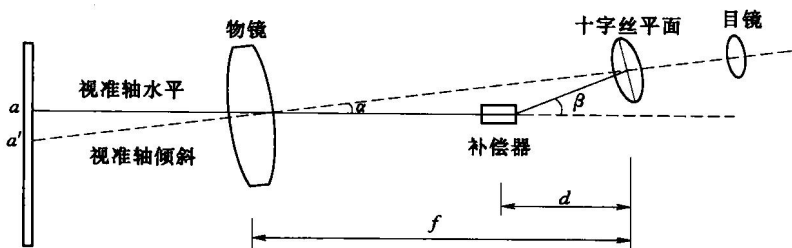


图 2-6 自动安平补偿器的原理

2. 自动安平水准仪的使用

使用自动安平水准仪时只要将仪器圆水准器气泡居中（粗略整平），即可瞄准水准尺进行读数。国产 DSZ₃ 型自动安平水准仪圆水准器的分划值为 $8'/2\text{mm}$ ，补偿器作用范围为 $\pm 8'$ ，所以只要使圆水准器气泡居中并不越出圆水准器中央小黑圆圈范围，补偿器就会产生自动安平的作用。但使用自动安平水准仪仍应认真进行粗略整平。由于补偿器相当于一个重力摆，不管是空气阻尼或者磁性阻尼，其重力摆静止稳定约需 2s，故瞄准水准尺约过 2s 后再读数为好。

有的自动安平水准仪配有一个键或自动安平钮，每次读数前应按一下键或按一下钮才能读数，否则补偿器不会起作用，如果先后两次掀动按钮读数结果相同，说明补偿性能良好。如果无此按钮，可先读取水准尺上的一个读数，然后稍许微动靠近目镜或物镜下面的脚螺旋，再读取读数，如果读数不变，则仪器正常，否则须要进行修理。

二、水准尺

水准尺又称为标尺，采用干燥且伸缩性小的木材、玻璃钢或其他材料制成。按其构造形式可分为整体尺和塔尺两种。

整体尺，如图 2-7 (a) 所示，尺长 3m，大都是双面尺，即分红、黑两面。黑面分划为黑白相间，是主尺；红面分划为红白相间，是辅尺。双面水准尺总是成对使用，一对双面尺的黑面底部都是从零起算，而红面的底部则分别从 4.687m 和 4.787m 起算。在仪器视线高度不变的情况下，读取同一水准尺的黑、红两面读数，其差值应为常数 4.678 或 4.787，以此来检查读数是否正确。

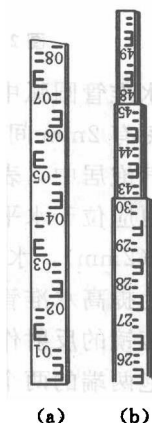


图 2-7 水准尺

(a) 整体尺；(b) 塔尺

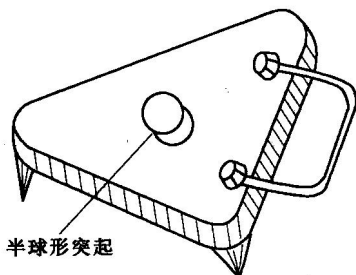


图 2-8 尺垫

塔尺，如图 2-7 (b) 所示，尺长 3~5m，由 3 节套装而成，可以伸缩，携带方便，但接头容易松动、损坏，稳定性较差，影响精度。在较高精度的水准测量中不适合使用。

为了便于扶尺和保证尺的竖直，在水准尺侧面大都装上扶尺和圆水准器。

三、尺垫

尺垫一般是用生铁铸成的，其平面形状一般为三角