

# 项目一




## 两点间高差测定

### 项目导读

高程测量是指确定地面点高程的测量工作。一点的高程一般是指这点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，又称海拔或绝对高程，高差是两点之间的高程差。测量高程通常采用的方法有水准测量和三角高程测量。其中，水准测量是测定两点间高差的主要方法，也是最精密的方法。

本项目将详细介绍使用水准测量方法来测量台阶的高程。

### 项目仪器与工具

项目仪器与工具	数量（取决于小组数量）	图 例
水准仪	$N$ 台	
三脚架	$N$ 个	
水准尺	$2 \times N$ 把	
尺垫	$2 \times N$ 个	



## 任务一 水准仪的架设

### 任务描述

把学生分为几个小组，每个小组选择学校一个空旷的地方架设水准仪，并测量某点的相对高程。

### 任务目标

熟悉水准仪的构造，水准测量的原理；掌握水准仪的架设方法和使用水准仪进行读数的方法。

### 知识导航

#### 一、水准仪简介

**水准仪**是水准测量中最主要的仪器，其作用是提供一条水平视线（视准轴），并能照准水准尺进行读数。

按构造不同划分，水准仪可分为普通微倾式水准仪、自动安平水准仪与电子水准仪。这里我们主要介绍普通微倾式水准仪，其构造如图 1-1 所示。由图 1-1 可以看出，水准仪主要由望远镜、水准器和基座三部分构成。



图 1-1 普通微倾式水准仪



## 知识链接

**自动安平水准仪**是在望远镜内安装一个自动补偿器代替水准管。仪器经粗平后，由于补偿器的作用，无需精平就可以直接读数，从而简化了操作，提高了观测速度。

**电子水准仪**是一种集电子、光学、图像处理、计算机技术于一体的自动化智能水准仪，电子水准仪的光学系统与自动安平水准仪类似。

如果按精度划分，水准仪可分为  $DS_{05}$ ， $DS_1$ ， $DS_3$ ， $DS_{10}$  等几个等级。其中，DS 为“大地”与“水准仪”的汉语拼音缩写，后面的数字表示每千米水准测量的全中误差。例如， $DS_{05}$  表示每千米水准测量的全中误差为  $\pm 0.5$  mm， $DS_1$  表示每千米水准测量的全中误差为  $\pm 1.0$  mm，这两种等级的水准仪通常用于高等级水准测量； $DS_3$  表示每千米水准测量的全中误差为  $\pm 3.0$  mm， $DS_{10}$  表示每千米水准测量的全中误差为  $\pm 10.0$  mm，这两种水准仪通常用于一般工程测量和地形测量。



## 知识链接

**中误差**：测量时，由于系统和偶然因素的影响，对任何一个量进行观测，总存在着观测误差。由于其中的系统误差可以通过适当的观测方法来消除或通过计算进行改正，因此一般所说的观测误差主要是指偶然误差（也称随机误差）。大量的实践和理论证明，观测误差服从正态分布，为了衡量误差分布的密集或离散的程度，对一系列带有偶然误差的观测值，运用概率统计的方法可消除他们之间的不均值，求出未知量的最可靠值，评定测量成果的精度和质量，测量上就引入了统计学中的标准差，把它称为中误差。测角、测边和测高差都有中误差，但只有高程才有全中误差。

根据环线闭合差和相应环的水准路线周长而计算的中误差，也称水准测量每千米距离的高差中数的全中误差。

## （一）望远镜

**望远镜**是构成水平视线、瞄准目标并对水准尺进行读数的主要部件，它主要由物镜、目镜、调焦透镜、十字丝分划板，如图 1-2 所示。

**物镜**的作用是与调焦透镜配合，使远处的目标在十字丝分划板上形成缩小的实像。转动物镜调焦螺旋，可使不同距离目标的成像清晰地落在十字丝分划板上，此操作称为**调焦或物镜对光**。目镜的作用是将物镜所成的实像与十字丝一起放大成虚像，转动目镜螺旋，可使十字丝影像清晰，此操作称为**目镜对光**。

**十字丝分划板**是一块刻有分划线的透明薄平板玻璃片。分划板上两条相互垂直的长丝称为**十字丝**，竖直的一条称为**纵丝**，水平的一条称为**横丝**（又称中丝），与横丝平行的上、



下两条对称的短丝称为**视距丝**，用于测量距离。

十字丝的中点与物镜光心的连线称为**望远镜的视准轴**，水准测量时，就是要调整视准轴水平，用十字丝的中丝读取水准尺上的读数。

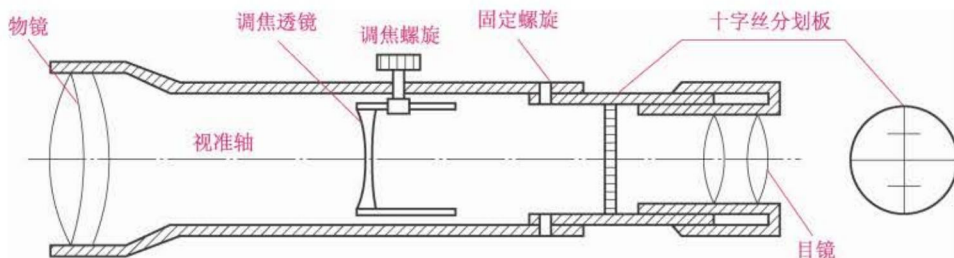


图 1-2 水准仪望远镜

## (二) 水准器

**水准器**用来整平仪器，从而供操作人员判断视准轴是否水平。水准器分为圆水准器和水准管两种，其中，圆水准器的精度较低，故用于水准仪的粗略整平；管水准器的精度较高，故用于水准仪的精确整平。

**圆水准器**为一密闭的玻璃圆盒，其顶面内壁为球面，内装有乙醚溶液，密封后留有气泡。球面中心有圆形分划圈，圆圈的中心为圆水准器的零点，零点与球面球心的连线为圆水准轴（图 1-3 (a)）。当气泡居中时，表示该轴线处于铅锤位置；当气泡偏离零点时，表示轴线呈倾斜状态。气泡中心偏离零点 2 mm，轴线所倾斜的角值称为圆水准器的分划值。DS<sub>3</sub> 型水准仪圆水准器的分划值一般为 8'~10'。

**管水准器**又称水准管，它是一个玻璃管，其纵向内壁被磨成一定半径的圆弧，圆弧的中心点（最高点）为水准管的零点。管内装有乙醚溶液，并留有一个气泡。当气泡位于零点时，称气泡居中，此时水准轴处于水平位置；否则，水准轴处于倾斜位置（图 1-3 (b)）。

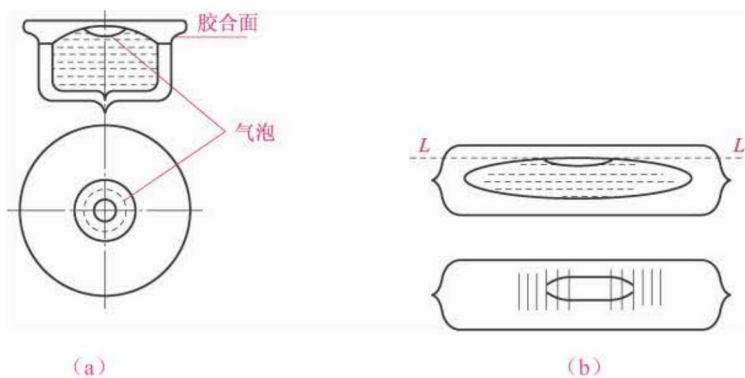


图 1-3 圆水准器和水准管



水准管的两端各刻有间隔 2 mm 的分划线，则 2 mm 间隔圆弧所对应的圆心角称为水准管的分划值。DS<sub>3</sub> 型水准仪水准管的分划值一般为 20'。

为了提高水准管气泡居中的精度，DS<sub>3</sub> 水准仪在水准管的上方安装了符合棱镜系统，它将气泡两端的影像同时显示到望远镜旁边的观察窗中。通过观察窗观察，当两端半边气泡的影像符合时，表明气泡居中；若两影像错开，表示气泡未居中，此时可转动微倾螺旋使气泡影像符合。

### （三）基座

在基座中，制动螺旋用于固定仪器；脚螺旋用于调节圆水准器气泡的居中；微动螺旋用于使望远镜在水平面内做微小转动，以精确瞄准目标；微倾螺旋可使望远镜在竖直面内微动，从而使水准管内气泡影像符合。

## 二、水准尺与尺垫

**水准尺**是水准测量中用于高差量度的标尺，制造水准尺的材料有优质木材、合金材和玻璃钢等几种，长度有 2 m、3 m、5 m 等。水准尺按类型不同，可分为整尺、折尺、塔尺等；按精度高低可分为普通水准尺和精密水准尺。

普通水准尺多用木料、铝材和玻璃钢制成，其尺长多为 3 m，两根为一副，且为双面（黑、红面）刻划，每隔 1 cm 印刷有黑白或红白相间的分划，每分米处注有数字，如图 1-4（a）所示。

对一对水准尺而言，黑、红面注记的零点不同。两尺中黑面尺的底端从零开始注记读数，而红面尺的底端分别从常数 4 687 mm 和 4 787 mm 开始，称为尺常数  $K$ （用于检核），即  $K_1 = 4.687 \text{ m}$ ， $K_2 = 4.787 \text{ m}$ 。

水准测量中有许多地方需要设置转点（中间点），为防止观测过程中尺子下沉而影响读数的准确性，应在转点处放一**尺垫**，如图 1-4（b）。尺垫一般由平面为三角形的铸铁制成，下面有三个尖脚，便于踩入土中，使之稳定。上面有一突起的半球形小包，立水准尺于球顶，尺底部仅接触球顶最高的一点。当水准尺转动方向时，尺底的高程不会改变。

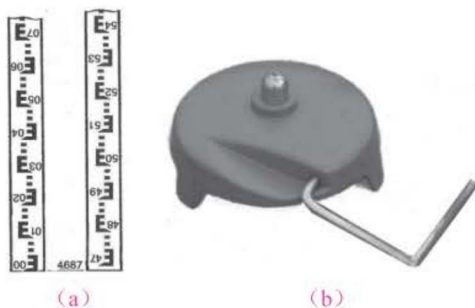


图 1-4 水准尺与尺垫



### 三、水准测量的原理

水准测量是获得点高程的常用测量手段，也是高程测量精度最高的一种方法。水准测量是应用几何原理，用水准仪建立一条与高程基准面平行的视线，借助于水准尺来测定地面两点间的高差，从而计算出待定点的高程。

如图 1-5 所示，若已知  $A$  点的高程为  $H_A$ （称已知高程点），现在要测定  $B$  点的高程  $H_B$ （称为待测高程点），则只要测定  $A, B$  两点间的高差  $h_{AB}$  即可。则  $B$  点高程为

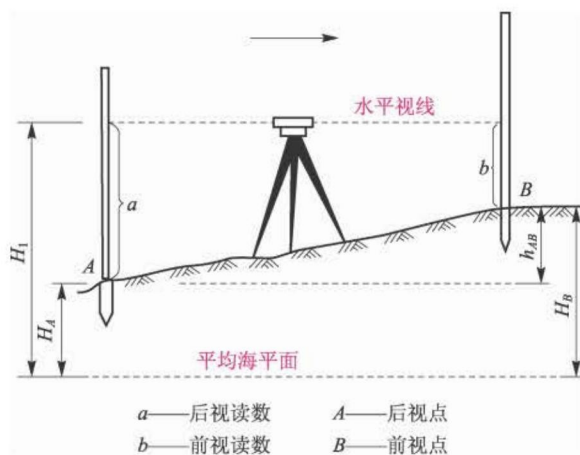


图 1-5 水准测量的原理

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

而要测定  $h_{AB}$ ，可在  $A, B$  点间  $O$  处（称为测站）安置一台水准仪，然后通过水准仪的视线在  $A$  点（称为后视点）水准尺（称为后视尺）上读数，记为  $a$ （称为后视读数）；在  $B$  点（称为前视点）水准尺（称为前视尺）上读数，记为  $b$ （称为前视读数）。则

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

其中，若  $a > b$ ， $h_{AB}$  为正值，表示  $B$  点高于  $A$  点；反之，若  $a < b$ ， $h_{AB}$  为负值，则  $B$  点低于  $A$  点。根据式（1-1）和式（1-2）可得

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + a - b \quad (1-3)$$

用上式求待测点高程的方法叫做高差法。

### 任务实施

**步骤 1** ▶ 安置三脚架，并将水准仪固定到三角架上。



(1) 各个小组在台阶前分别选择一个空旷的地方安置三脚架。先拿起三脚架，松开三脚架架腿上三个伸缩螺旋和伸缩固定扳手，抽出架腿上的活动腿，将其调整至适当高度（使三脚架大致与肩平齐），然后拧紧伸缩螺旋，扣住伸缩固定扳手，如图 1-6 所示。

(2) 张开架腿，使脚尖大致呈等边三角形，摆动架腿使架头大致水平，踩实三脚架，如图 1-6 所示。

(3) 将水准仪用架头上的中心连接螺旋固定在脚架上，并使基座连接板三边与架头三边对齐，如图 1-7 所示。



图 1-6 三脚架认识



图 1-7 架设水准仪

**步骤 2** ▶ 粗平水准仪。主要是通过调整水准仪的脚螺旋，使圆水准器气泡居中，以使水准仪竖轴大致铅直。



(1) 任选两个脚螺旋 1, 2, 双手相向等速转动这对脚螺旋, 使气泡移动至与 1, 2 连线垂直且过零点的直线上, 如图 1-8 (a) 所示。

(2) 转动另一个脚螺旋 3, 使圆水准器中的气泡移动到零点位置 (小圆圈内), 如图 1-8 (b) 所示。

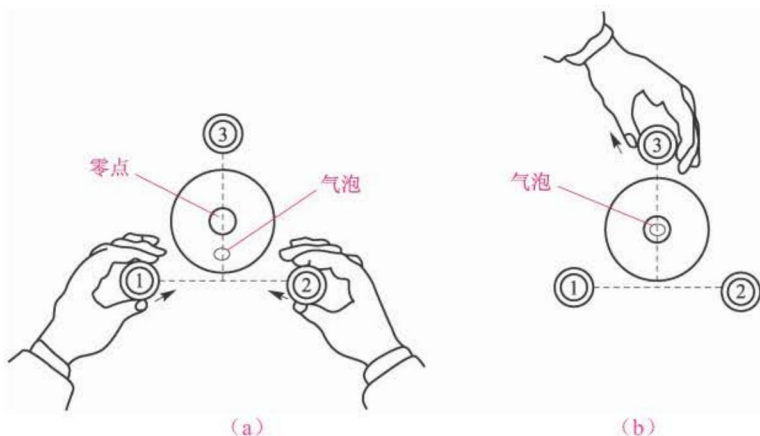


图 1-8 粗平

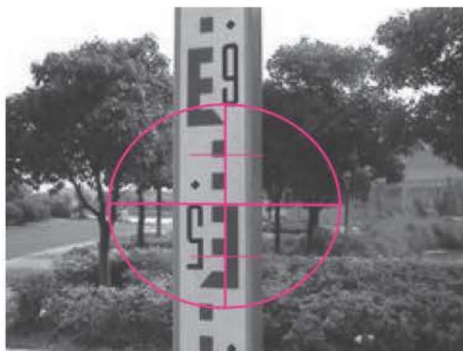
**步骤 3** ▶ 瞄准水准尺。主要是通过使望远镜对准水准尺, 清晰地看到目标和十字丝成像, 以便准确地进行水准尺读数。

(1) 在离水准仪几米的地方, 先将尺垫踩实, 将水准尺立在尺垫的半球顶端, 然后站在尺后, 双手握住把手, 两臂紧贴身躯, 借助尺上水准器气泡 (气泡居中即为已竖直) 将尺竖立在水准尺上, 如图 1-9 (a) 所示。

(2) 将水准仪望远镜朝向明亮背景, 转动目镜调焦螺旋, 使十字丝影像清晰; 然后旋松制动螺旋, 通过望远镜上的缺口和准星初步瞄准水准尺, 随即拧紧制动螺旋, 如图 1-9 (b) 所示。



(a)



(b)

图 1-9 瞄准水准尺





(3) 转动物镜调焦螺旋, 使水准尺影像清晰, 然后转动微动螺旋, 使十字丝竖丝与水准尺分划线一侧边缘重合, 如图 1-9 (b) 所示。



### 知识链接

如不仔细进行上述对光, 将会导致水准尺的影像与十字丝影像不共面, 二者的影像不能同时看清, 这种现象称为**视差**。检查视差的方法是: 眼睛在目镜处上下微微移动, 若二者的影像产生相对运动, 则视差存在。

消除视差的方法是: 反复、仔细、认真地进行目镜、物镜对光, 直到二者影像无相对运动为止。视差对瞄准、读数均有影响, 务必加以消除。

**步骤 4** ▶ 精平。如图 1-10 (a) 所示, 调节微倾螺旋, 透过水准管放大镜观察水准管气泡, 使其两半弧影像符合成一光滑圆弧, 这时视准轴已精确水平。图 1-10 (b), (c) 中水平管气泡形状显示水准仪未精平。

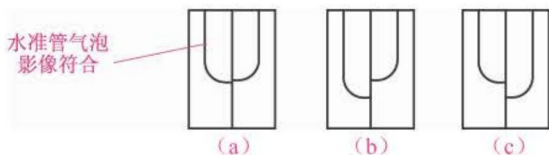


图 1-10 精平水准仪

**步骤 5** ▶ 读数。在读数前应判明水准尺的注记、分划特征和零点常数, 以免读错。望远镜十字丝的中丝所对的水准尺的读数即为需要读取的相对高程读数。

读数时要按从小到大的顺序读取, 并依次读取分米、厘米、毫米, 其中, 毫米为估读。如图 1-11 所示, 水准尺上“E”形的最长边为分米的整数位 (如 19 分米、20 分米), 相邻两分米之间被分为 10 等分, 每一黑色条或白色条的边缘均为厘米整数位。读数时可先根据中丝所在位置读出“分米”数, 然后将其转换为“米”数。

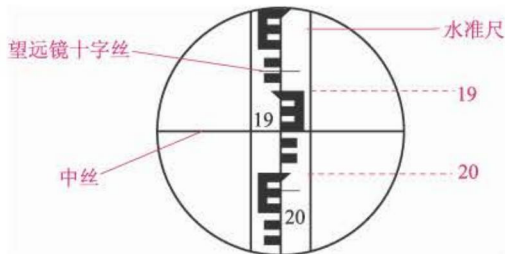


图 1-11 水准尺读数

例如, 本例中的“分米”读数为 19 分米, 则记为 1.9 m; 接下来再根据中丝所在位置读出“厘米”数。在本例中, 中丝处于 4 厘米与 5 厘米之间, 则读数记为 0.04 m; 最后估



读不足 1 厘米的“毫米”数，本例约为 8 mm（即 0.008 m）。综合起来读数为 1.948 m。



### 提示

仪器精平后应马上读数，速度要快，以减少气泡移动引起的读数误差。

### 任务考核

考核内容	考核分值（满分 100 分）	考核评分
水准仪构造的熟悉程度	30 分	
三脚架的安置	10 分	
粗平	15 分	
水准尺的扶正	10 分	
视差的消除方法	15 分	
精平	10 分	
水准尺的读数	10 分	

### 巩固训练

1. 水准仪由哪些部分组成的？各自的作用是什么？
2. 简述水准测量的原理。
3. 简述水准仪架设的步骤。
4. 视差是什么？怎么消除视差？
5. 简述水准尺的读数方法。

## 任务二 使用水准仪测量台阶高程

### 任务描述

把学生分为几个小组，每个小组在空阔的场地上通过已知水准点，根据水准测量的方法测出台阶某点的高程。