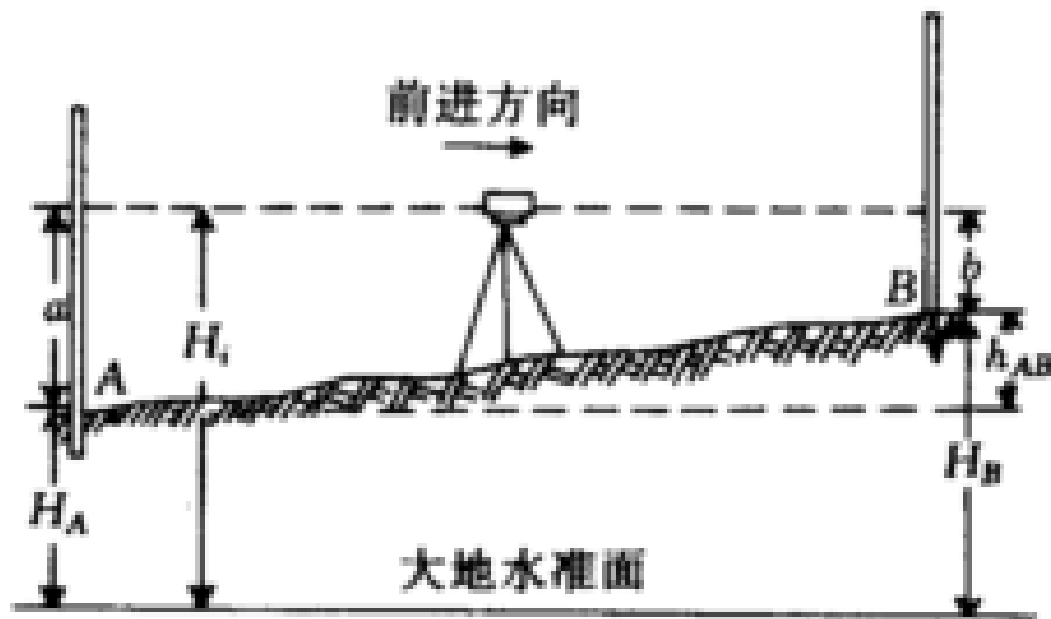


第三章 水准测量

主讲人：马明舟
测绘工程教研室
2015-3

第一节 水准测量的基本原理



- ▶ 一、水准测量的基本概念：
- ▶ 利用水准仪提供一条水平视线，照准两端点处水准尺并截取读数求两点之间的高差，进而由已知点高程推算待定点高程。

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

第一节 水准测量的基本原理

- ▶ **测站**：安置仪器观测的位置
- ▶ **后视点**：前进方向上后面的高程点；
- ▶ **后视尺**：后视点上竖立的水准尺；
- ▶ **后视读数**：水平视线在后视尺上截取的读数；
- ▶ **前视点**：前进方向上前面的高程点；
- ▶ **前视尺**：前视点点上竖立的水准尺；
- ▶ **前视读数**：水平视线在前视尺上截取的读数；
- ▶ **视线高（仪器高、仪高）**：水准仪提供的水平视线到大地水准面的铅垂距离。

$$h = \text{后视读数} - \text{前视读数}$$

第一节 水准测量的基本原理

▶ B点高程的另一种求法：视线高法（仪高法）

▶ （1）求视线高度

$$H_i = H_A + a$$

▶ （2）求B点高程

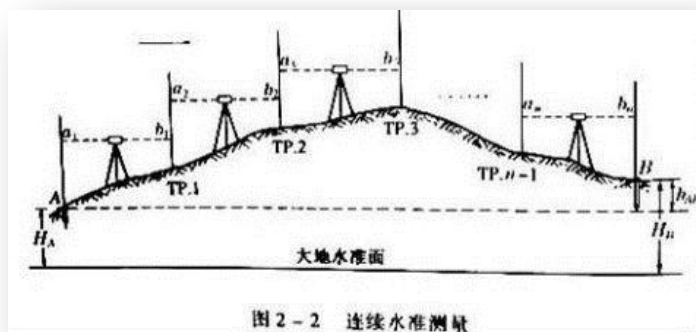
$$H_B = H_i - b$$

高差法适用于安置一次仪器只需求一个前视点的高程时；
仪高法适用于安置一次仪器需求出若干个前视点的高程。

第一节 水准测量的基本原理

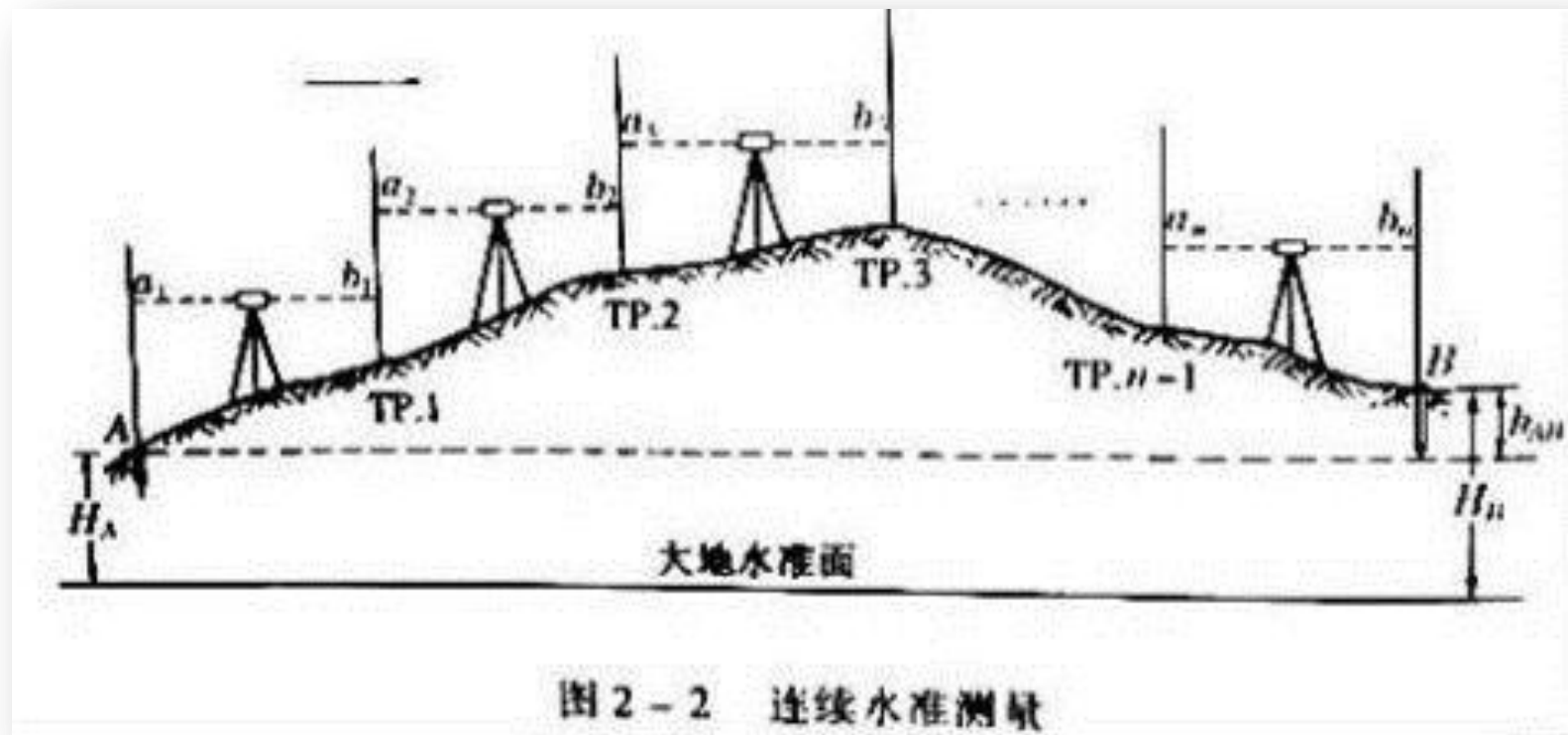
▶ 二、连续水准测量

▶ 当A、B两点之间（1）距离较远 或者（2）高差较大时，安置一次仪器无法直接观测出两点之间的高差。这时，**需要在两点之间加设若干个临时的立尺点，作为传递高程的过渡点，被称为转点（记为TP）**。然后依次在相邻两点之间架设仪器，测定相邻两点之间的高差，进而求得AB两点间所有高差之和，即可得到A点到B点之间的高差，这种方法被称为**连续水准测量**。



第一节 水准测量的基本原理

二、连续水准测量



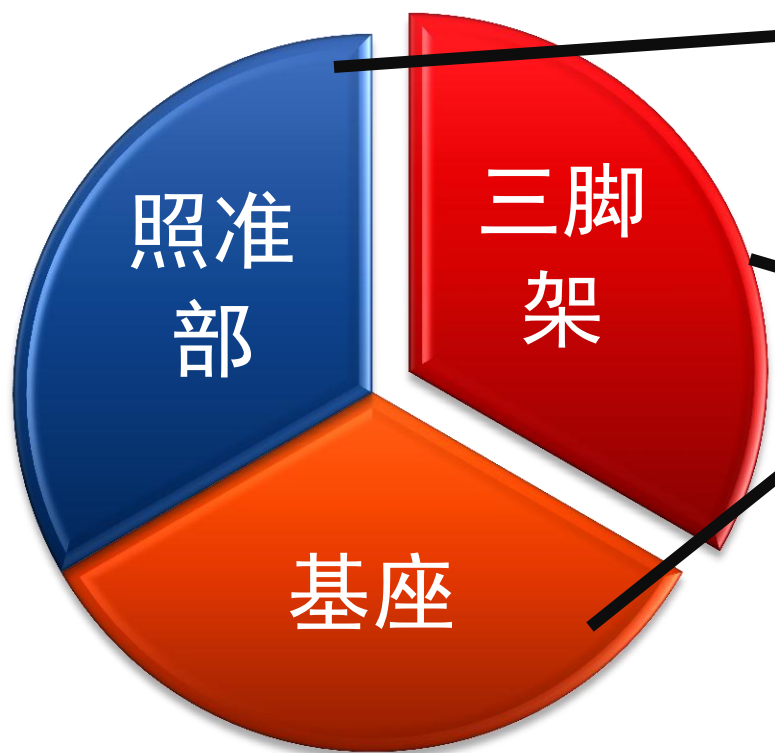
为保证高程传递的正确性，在相邻两站的观测中，转点必须保持稳定不动。

第二节 水准测量的仪器和工具

- ▶ 水准测量的仪器：水准仪
- ▶ 水准测量的工具：水准尺、尺垫
- ▶ 水准仪的型号： DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{10}
- ▶ DS 分别表示“大地测量”和“水准仪”
- ▶ 数字表示该型号仪器每公里水准测量往、返观测高差中数的中误差，单位mm。

第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 一、水准仪的结构和各部件的作用



第二节 水准测量的仪器和工具

- ▶ 一、三脚架
- ▶ 材质：金属或木质
- ▶ 作用：支撑水准仪
- ▶ 构造：
 - ▶ 1.架头中心**连接螺旋**，连接水准仪基座
 - ▶ 2.架腿上有**伸缩螺旋**（**蝶形螺旋**、**蝴蝶螺旋**），调节架腿长度



第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 二、基座

- ▶ 基座呈三角形，中间是一个空心轴套，照准部的竖直轴就插在这个轴套内。当照准部绕竖轴在水平方向内转动时，基座保持不动。基座下部装了一块有弹性的三角底板。脚螺旋分别安置在底板的三个叉口内，底板的中央有一个螺
- ▶ 母，用于和三脚架头上的中心
- ▶ 螺旋连接，从而使水准仪连在
- ▶ 三脚架上。



第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 三、照准部

- ① 望远镜
- ② 水准管
- ③ 圆水准器
- ④ 制动螺旋
- ⑤ 微动螺旋
- ⑥ 微倾螺旋
- ⑦ 照准部底盘

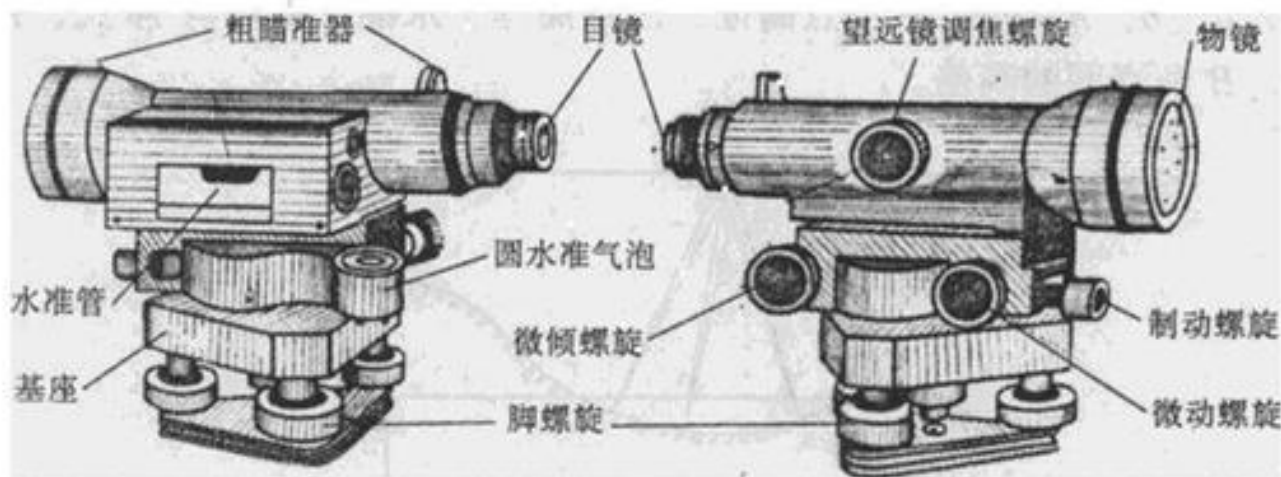


图 3-3

第二节 水准测量的仪器和工具

- ▶ 三、照准部
- ▶ （一）望远镜
- ▶ 外部构造：
- ▶ A.物镜
- ▶ B.目镜
- ▶ C.准星与缺口
- ▶ D.物镜对光螺旋
- ▶ E.目镜对光螺旋

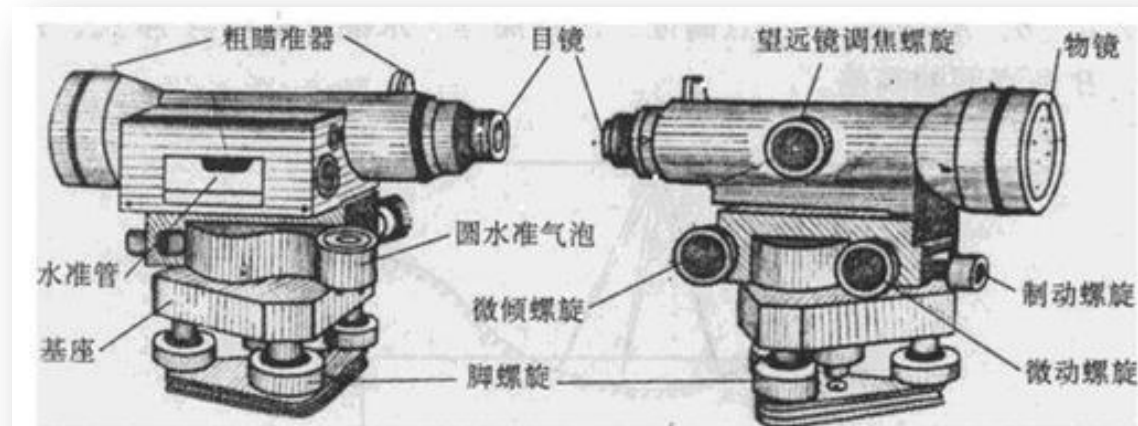


图 3-3

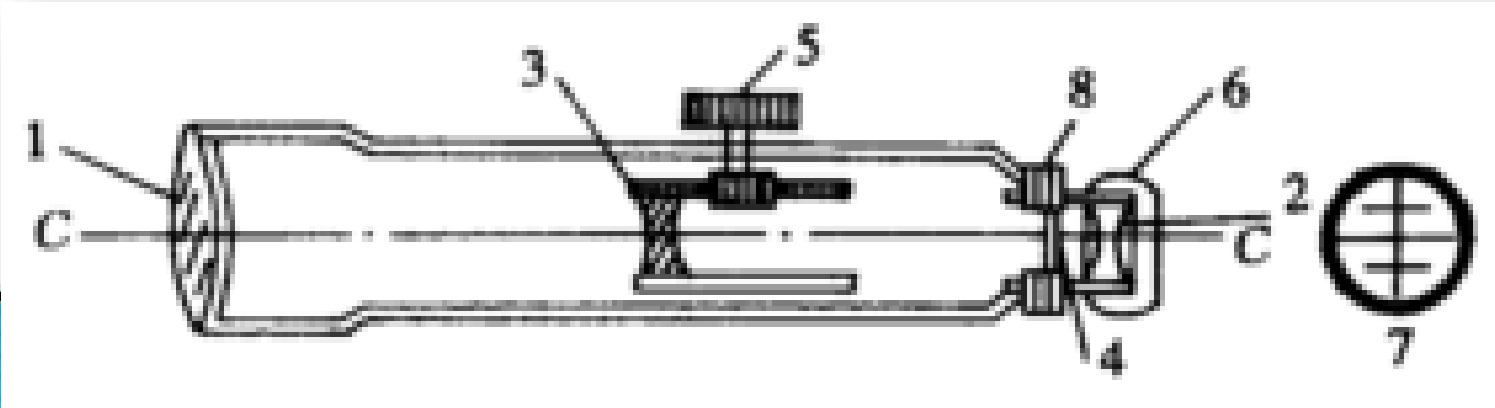
第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 三、照准部

▶ （一）望远镜

▶ 内部构造：

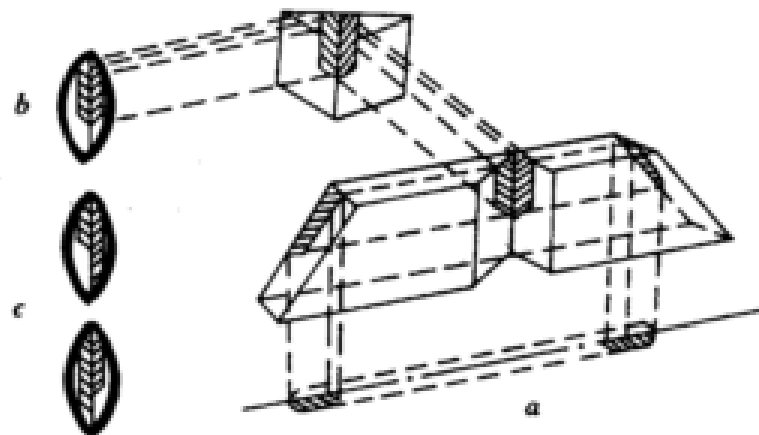
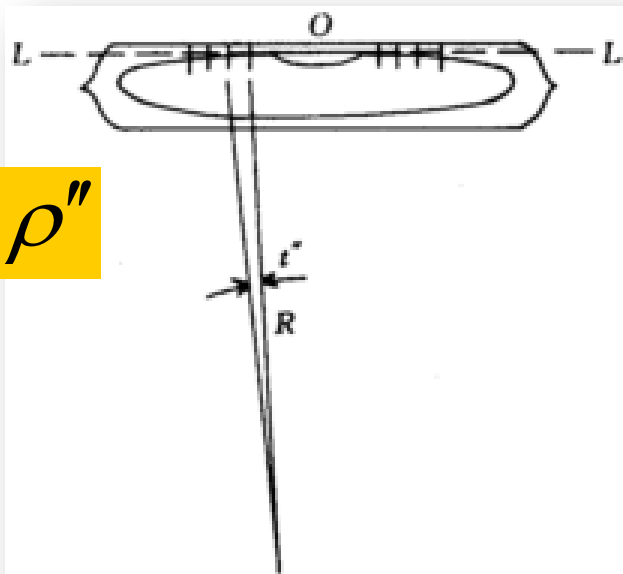
- 1.物镜 2.目镜 3.调焦透镜 4.十字分划板
5.物镜对光螺旋 6.目镜对光螺旋
7.十字丝分划板放大像 8.分划板座止头螺丝



第二节 水准测量的仪器和工具

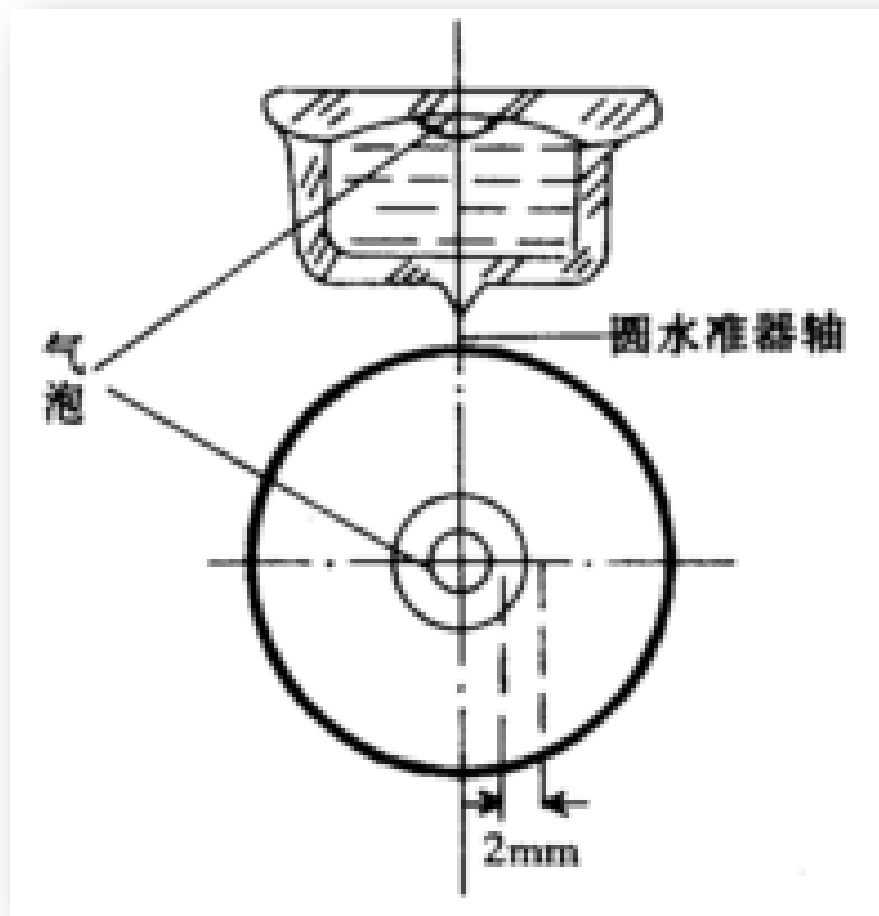
- ▶ 三、照准部
- ▶ (二) 水准器：分为水准管和圆水准器两个部件
- ▶ 1. 水准管（管状水准器、管水准器）

$$\tau'' = 2/R \times \rho''$$



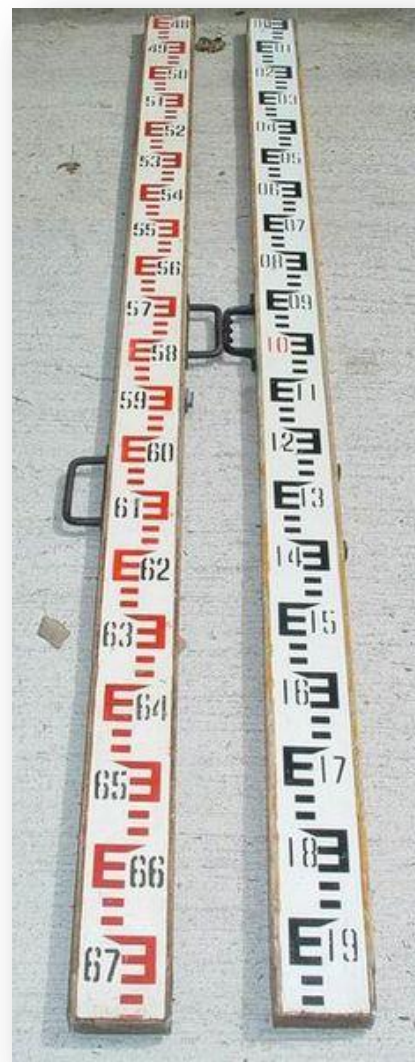
第二节 水准测量的仪器和工具

- ▶ 三、照准部
- ▶ （二）水准器：
- ▶ 2.圆水准器



第二节 水准测量的仪器和工具

- ▶ 四、水准尺和尺垫
- ▶ （一）水准尺
- ▶ 分类：直尺（双面尺）、塔尺、折尺
- ▶ 1. 双面尺
- ▶ 外观：有黑、白两个尺面，尺长2m或3m，基本刻画均为1cm，整分米处有文字注记，黑尺面底端注记从“0”开始，红尺面底端注记从“4.687m”或“4.787m”开始。（公母尺）
- ▶ 用途：三等、四等和等外水准测量、视距测量；



双面尺（倒尺）

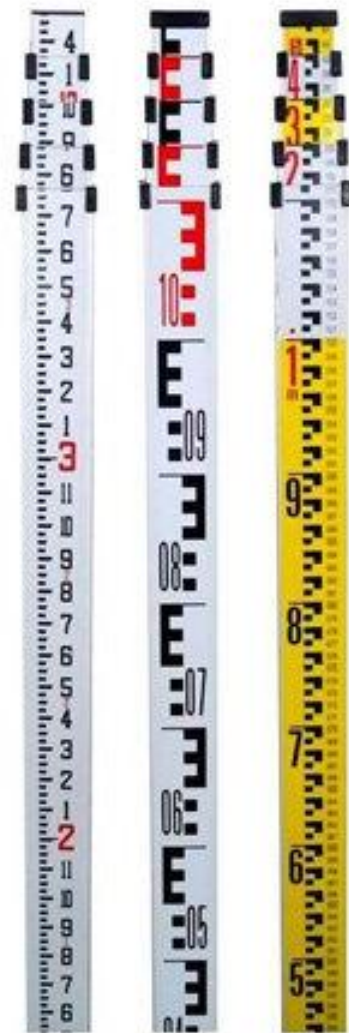
第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 四、水准尺和尺垫

▶ （一）水准尺

▶ 2.塔尺

- ▶ 塔尺是一种可以伸缩的水准尺，材质多以铝合金为主，长度4m或5m规格；**每节尺段后有卡扣固定**，塔尺也有两面，一面与双面尺黑吃面相同，**基本刻画为1cm**，整分米处有数字注记，底端从“0”开始，用于等外水准测量；另一面，**基本刻画为0.5cm**，整理米处有数字注记，底端从“0”开始，用于**施工测设**。



塔尺

第二节 水准测量的仪器和工具

▶ 四、水准尺和尺垫

▶ (二) 尺垫

▶ 尺垫一般是由三角形的铸铁制成，中央有突起的半圆球进行水准测量时，常在转点处放置尺垫，将水准尺底端（零点端）放在半圆球的顶上。

▶ 作用：防止转点处水准尺下沉或位移。

注意

(1) 水准测量施测过程中，相邻两站间转点的尺垫不能移动！

(2) 已知水准控制点和待定高程点上不使用尺垫！



第三节 水准仪的操作

▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：

- ▶ (1) **安**置仪器
- ▶ (2) **粗**略整平
- ▶ (3) **瞄**准目标
- ▶ (4) **精**确整平
- ▶ (5) **读**数

水准仪操作技术要领

安、粗、瞄、精、读

牢记每个步骤的技术要点

第三节 水准仪的操作

- ▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：
- ▶ (1) **安置**仪器
- ▶ A.取距离两水准点距离相等，且地面坚固处，安置水准仪；（**注意：距离相等、地面坚固**）
- ▶ B.先松开脚架的蝶状螺旋，调节脚架的高度，至适合观察的位置即可；（**窍门：脚架打开的高度与胸口平齐**）
- ▶ C.打开脚架，取出仪器，用中心连接螺旋，将水准仪固定在架头，调整脚架位置使圆水准器气泡接近中心位置；（**注意：坚实地面、泥土地面操作差异**）

视频播放

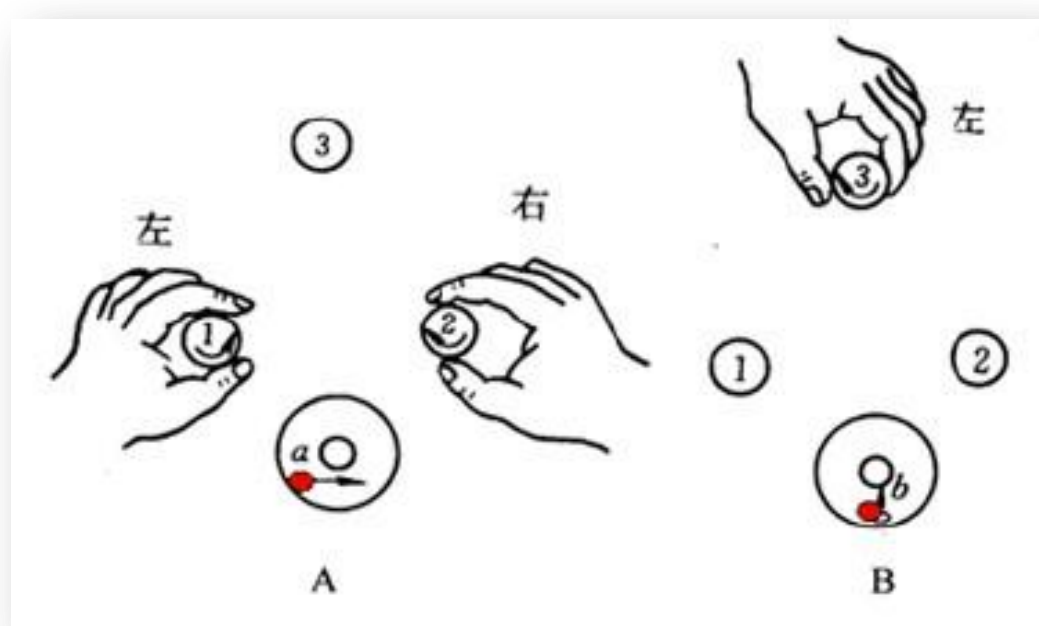
第三节 水准仪的操作

水准仪操作技术要领

安、粗、瞄、精、读

牢记每个步骤的技术要点

- ▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：
- ▶ (2) **粗略整平**
- ▶ 用微倾螺旋置望远镜视准轴水平时，螺旋活动范围有限，所以在安置仪器后先依圆水准器进行粗略整平，简称粗平。
- ▶ **注意：圆水准器气泡移动方向与左手拇指运动一致，称为左手拇指定理。**



视频播放

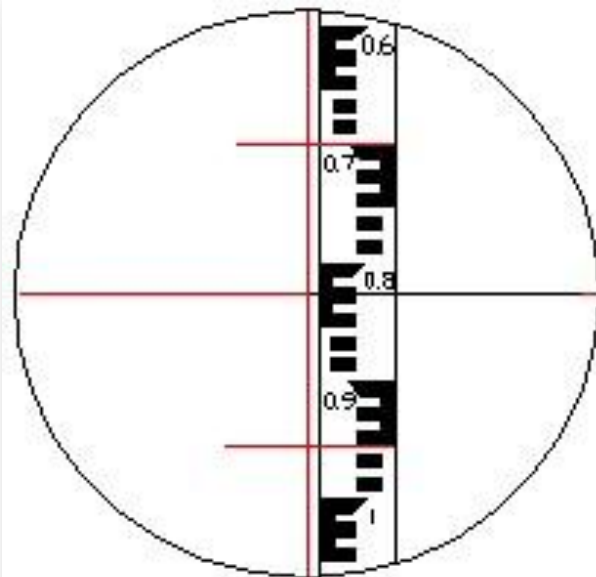
第三节 水准仪的操作

水准仪操作技术要领

安、粗、瞄、精、读

牢记每个步骤的技术要点

- ▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：
- ▶ (3) **瞄**准目标
 - ▶ A. 松开**制动螺旋**，将望远镜对准远处浅色墙壁或天空；
 - ▶ B. 目镜调焦：转动**目镜对光螺旋**，使十字丝成像清晰；
 - ▶ C. 瞄准目标：转动**照准部**，用**准星缺口**对准水准尺目标后，旋紧**制动螺旋**；
 - ▶ D. 物镜调焦：转动物镜对光螺旋，使水准尺目标成像清晰，再转动**微动螺旋**，使十字丝的竖丝靠近水准尺的一侧，检查水准尺是否倾斜。



第三节 水准仪的操作

水准仪操作技术要领

安、粗、瞄、精、读

牢记每个步骤的技术要点

▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：

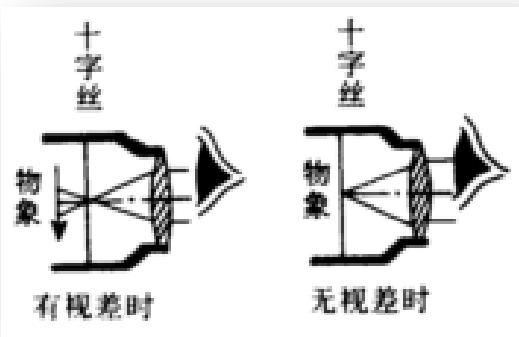
▶ (3) **瞄**准目标

▶ **瞄准目标后，应注意消除视差！**

▶ **视差：**是物镜调焦过程中，水准尺目标成像未落在十字丝分划板上而产生的视觉位移，会影响读数的精度，因此必须消除！

▶ **判断视差方法：**在目镜上下移动眼睛，若横丝读数位置发生改变，则存在视差。

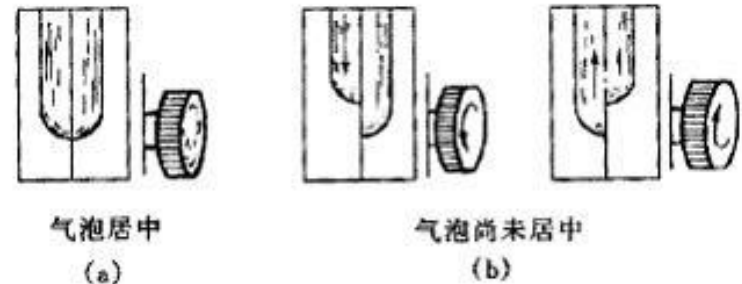
▶ **消除方法：**反复调节目镜对光螺旋、物镜对光螺旋至视差消除为止！



第三节 水准仪的操作

- ▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：
- ▶ (4) **精**确整平
- ▶ **方法**：转动微倾螺旋，使水准管气泡严格居中（符合水准泡视镜中的两边的气泡影像对齐或称符合）从而使望远镜的视线精确水平。
- ▶ **具体操作步骤**：用眼睛看着水准管气泡观察镜，边用右手旋转微倾螺旋。气泡影像精确符合后方达到精平的目的。由于气泡的移动有惯性，所以转动微倾螺旋的速度不能太快，特别在符合水准器的两端气泡影像将要对齐的时候尤要放慢。

注意观察左侧气泡移动位置与螺旋转动方向的关系！



水准仪操作技术要领

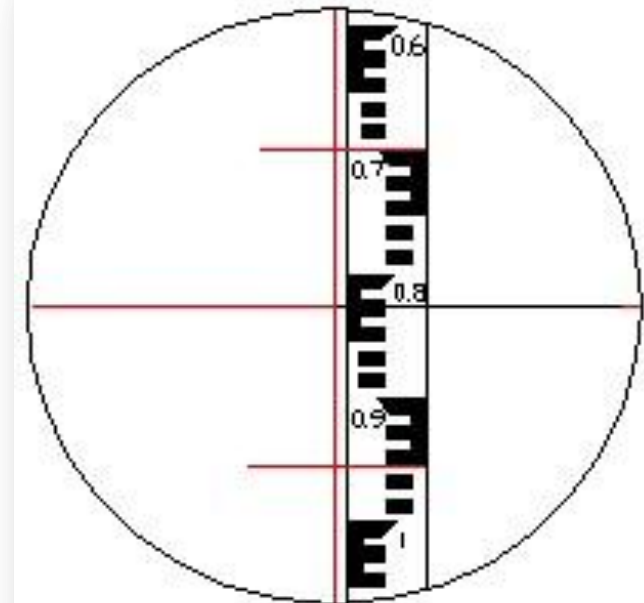
安、粗、瞄、精、读

牢记每个步骤的技术要点

第三节 水准仪的操作

- ▶ 水准仪的操作包括了五个步骤：
- ▶ (5) **读数**
- ▶ 仪器精平后使可用十字丝的中横丝在水准尺上的读数。读数时应由小往大的方向读取读数，依次判读米、分米、厘米位，估读毫米，读数以毫米为单位四位整数，不足一米应读 $0 \times \times \times$ 。

图中的水准尺读数是多少？



第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 水准测量的工作包括外业测量和内业数据处理两个环节。
- ▶ 外业工作包括：
 - ▶ (1) **外业踏勘**，已知高程点的检查，待定高程点位的选择，水准路线设计；
 - ▶ (2) **水准路线测量**，三四等水准测量采用**双面尺法**，等外水准测量采用**两次仪器高法**施测，记录并检核外业数据。
- ▶ 外业人员构成：
 - ▶ 立尺员**2人**，观测员**1人**，记录员**1人**。

第四节 水准测量及成果整理



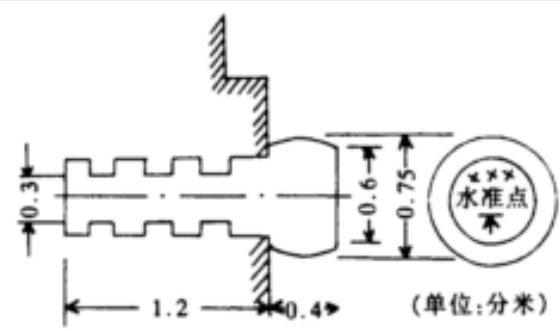
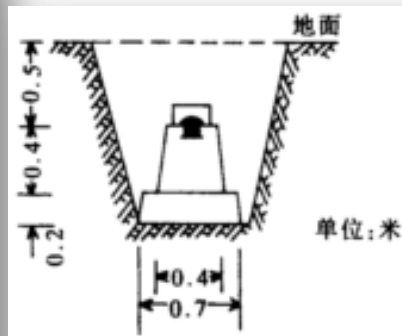
一、水准点和水准路线

(一) 水准点

定义：用水准测量的方法测定的高程控制点，称为水准点（*Benchmark*）。

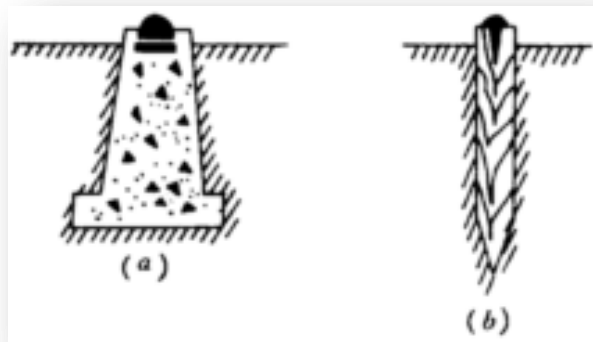
水准点有永久性和临时性两种。

永久性水准点为混凝土结构，顶部有半球形金属标志。



第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 一、水准点和水准路线
- ▶ （一）水准点
- ▶ 临时性水准点可用露出地面的坚硬岩石、或用大木桩等打入地下，桩顶钉以半球状铁钉。



- ▶ **注意：**水准点埋设以后，应绘出水准点与附近固定建筑物或其他地物的关系图，并写明水准点的编号，称之为**点之记**。其用途是**便于日后寻找水准点位置**。

第四节 水准测量及成果整理

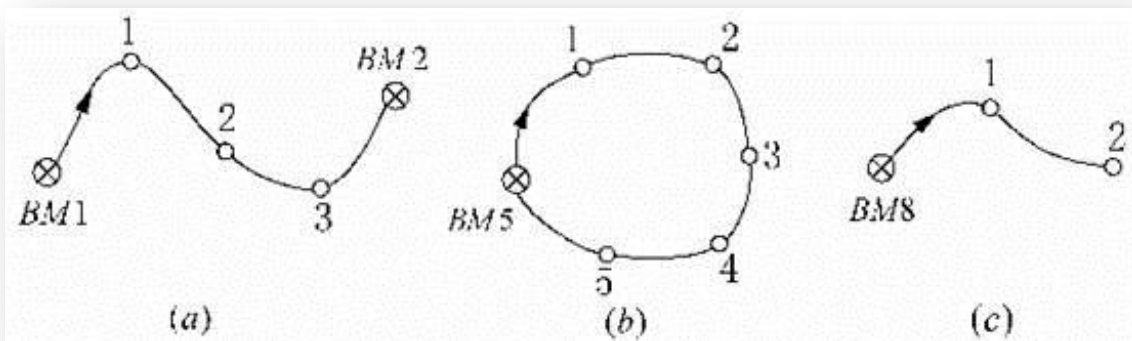
▶ 一、水准点和水准路线

▶ (一) 水准路线

▶ **水准测量所经过的路线，称为水准路线** (*Leveling Line*)。水准路线的作用是为水准测量提供精度检核的条件。

▶ 根据已知高程水准点的分布情况和实际需要，水准路线一般布成以下几种形式：

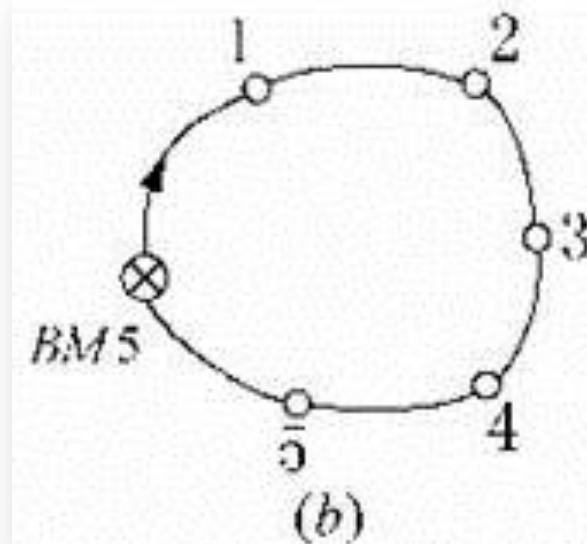
- ▶ 1. 闭合水准路线
- ▶ 2. 附和水准路线
- ▶ 3. 支水准路线



第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 一、水准点和水准路线
- ▶ (一) 水准路线
- ▶ 1. 闭合水准路线
- ▶ 特点：从一个已知高程的水准点出发，沿新建的水准点进行水准测量，最后又回到已知高程的水准点。

理论上，整条闭合水准路线的高差之和应该等于0。

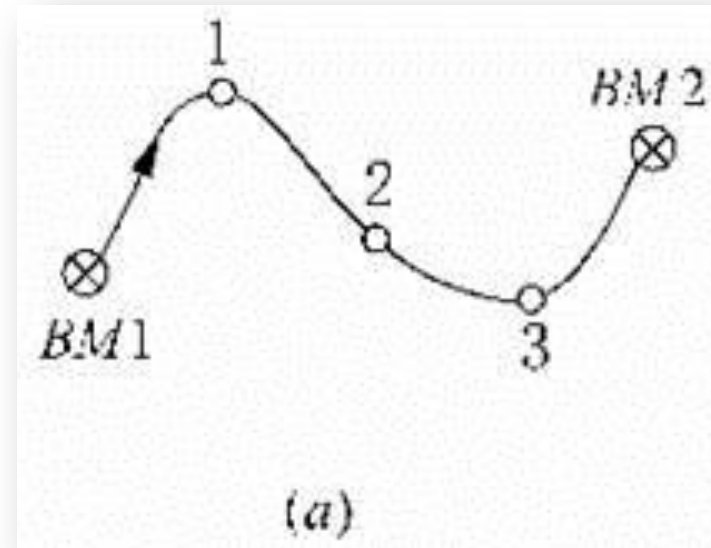


第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 一、水准点和水准路线
- ▶ (一) 水准路线
- ▶ 2. 附和水准路线
- ▶ 从一个已知高程的水准点出发，沿新建的水准点进行水准测量，最后附和到另一个已知高程的水准点。

理论上，整条附和
水准路线的高差之
和应该等于

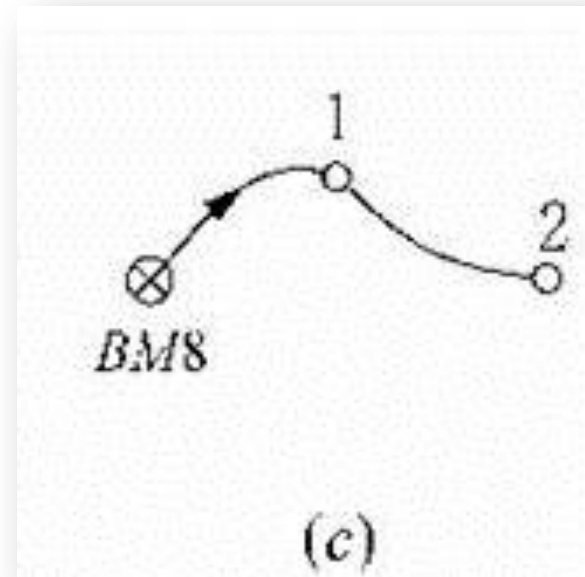
$$H_{终} - H_{始}$$



第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 一、水准点和水准路线
- ▶ （一）水准路线
- ▶ 3.支水准路线
- ▶ 从一个已知高程的水准点出发，沿新建的水准点进行水准测量，最后**没有附和到任何已知高程的水准点**。

支水准路线缺少检核的条件，因此施测过程中，采用往返观测的方法，是闭合水准路线的特例。



第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 一、水准点和水准路线
- ▶ (二) 水准路线
- ▶ 4. 水准网
- ▶ 以上三种水准测量路线的共性是从开始到终了都是一条路线，故将这样水准测量路线称为**单一水准路线**。
- ▶ 如果单一水准路线构成网状，称为**水准网**。单一路线相互连接的点称为**结点**。

水准网平差及数据成果计算过程较复杂，本课程中暂不涉及，具体方法在误差理论与测量平差课程中讲授！

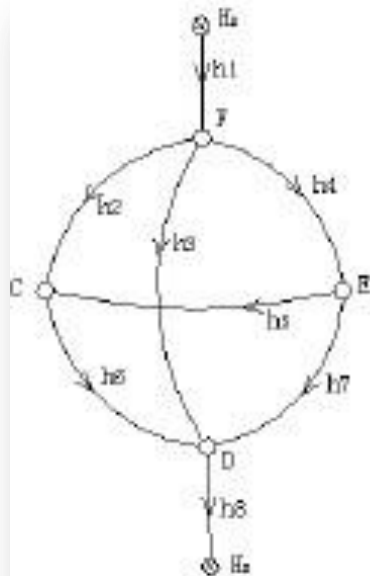


图 1-4

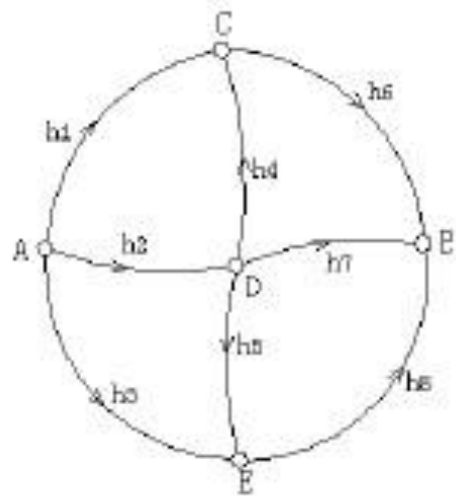


图 1-5

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 二、水准测量方法
- ▶ （一）测段与测站
- ▶ 1.水准路线上从一个水准点到另一个水准点的全部测量工作称为**一个测段**。
- ▶ 2.两水准点之间距离较远或高差较大时，无法安置一次仪器就测定两点高差，需要在两点之间增加转点，采用连续水准测量的方法来传递高程。每架设仪器观测两点间高差的过程，称为**一个测站**。

水准路线、测段和测站之间的关系：

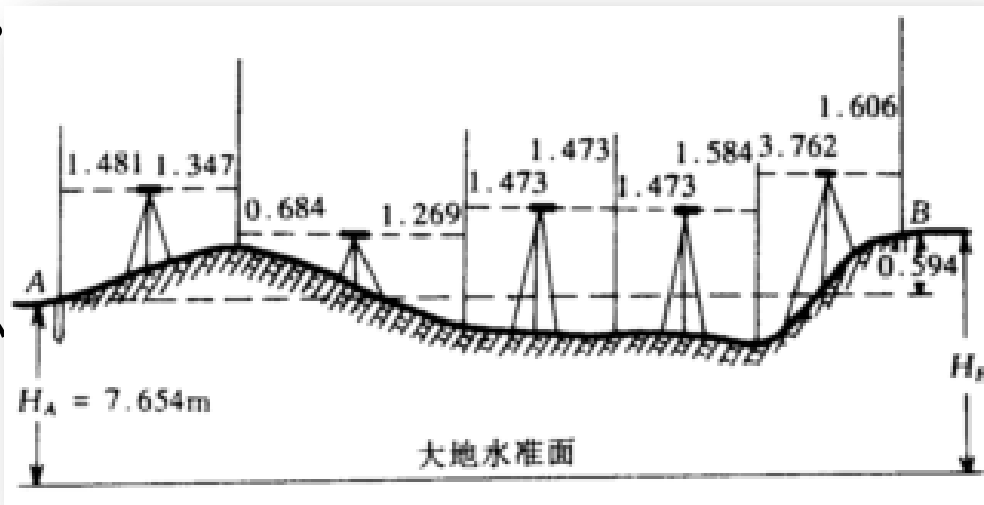
- （1）一条水准路线上至少有一个以上的测段；
- （2）一个测段上至少有一个以上的测站。

第四节 水准测量及成果整理

二、水准测量方法

(二) 一个测段上的连续水准测量工作

- ▶ AB是水准路线上一个测段，A→B是水准路线的前进方向；
- ▶ 1.首先在A点处竖立水准尺，A为后视点；前进100m-150m，设立转点1，放置尺垫，在尺垫顶部竖立水准尺，1为前视点。
- ▶ 2.在A和1之间大致相等的位置安置仪器，粗平后，先瞄准后视尺，精平后读数1481，再瞄准前视尺，精平后读数1347，记录员记入数据并计算A1两点间高差为+0.134m。
- ▶ 3.第一测站观测完成，然后以第一测站的前视点为第二测站的后视点，继续向前按照1、2步骤，分别测定第二、三、四、五测站，继而求出AB两点间高差。



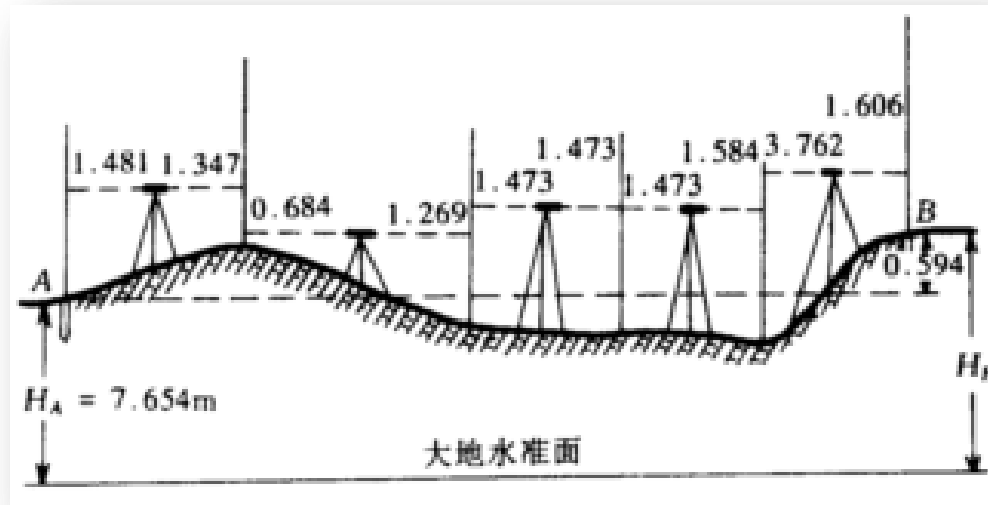
测站	点号	水准尺读数		高差 h米	平均高差	改正后 高差	高程 H米
		后视	前视				
1	BMA	1.134					
	TP1		1.677	-0.543			
2	TP1	1.444					
	TP2		1.324	+0.120			
3	TP2	1.822					
	TP3		0.876	+0.946			
4	TP3	1.820					
	TP4		1.435	+0.385			
5	TP4	1.422					
	BMB		1.304	+0.118			
Σ		7.642	6.616	+1.026			

西安北斗星联测绘
www.xabdxl.com

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 二、水准测量方法
- ▶ (二) 一个测段上的连续水准测量工作
- ▶ 注意：按照上述方法进行水准测量，如果在一个测站上的观测、记录或计算有错误，那错误将会传递给整个测段，乃至整条水准路线，观测的数据就不准确。

如何解决
这个问题？



第四节 水准测量及成果整理

解决方法：在一测站上进行两次高差观测，相互检核

- ▶ 二、水准测量方法
- ▶ (三) 两次仪器高法
- ▶ 适用范围：等外水准测量。
- ▶ 具体的步骤：
 - ▶ (1) 在一测站上安置一次仪器，测出两点间的一组高差；
 - ▶ (2) 改变仪器高度，再测出这两点间的一组高差；
 - ▶ (3) 要求：两次仪器高度变化应大于10cm。

两次仪器高法在一个测站上观测顺序的口诀：
后-前-后-前

精度要求：两组高差之差不得超过6mm

表 2-1 水准测量记录(两次仪器高法)

测站	点号	水准尺读数(mm)		高差(m)	平均高差(m)	高程(m)	备注
		后视	前视				
1	BM-A	1134				13.428	
		1011					
	TP1		1677	-0.543	(0.000)		
			1554	-0.543	-0.543		
2	TP1	1444					
		1624					
	TP2		1324	+0.120	(+0.004)		
			1508	+0.116	+0.118		
3	TP2	1822					
		1710					
	TP3		0876	+0.946	(0.000)		
			0764	+0.946	+0.946		
4	TP3	1820					
		1923					
	TP4		1435	+0.385	(+0.002)		
			1540	+0.383	+0.384		
5	TP5	1422					
		1604					
	BM-D		1308	+0.114	-0.002		
			1488	+0.116	+0.115	14.448	
检核计算	Σ	15.514	13.474	2.040	1.020		

注意：(1) 起始点只有后视读数，结束点只有前视读数，中间点既有后视读数又有前视读数。

(2) $\Sigma a - \Sigma b = \Sigma h$ ，只表明计算无误，不表明观测和记录无误。

第四节 水准测量及成果整理

解决方法：在一测站上进行两次高差观测，相互检核

▶ 二、水准测量方法

▶ （四）双面尺法

▶ 适用范围：三等、四等水准测量。

▶ 具体的步骤：（注：必须用双面尺）

▶ （1）在一测站上安置一次仪器，测出两点间的一组高差（黑面）；

▶ （2）变换尺面，再测出这两点间的一组高差（红面）。

第四节 水准测量及成果整理

解决方法：在一测站上进行两次高差观测，相互检核

- ▶ 二、水准测量方法
- ▶ (四) 双面尺法
- ▶ 精度要求：

等级	仪器类型	标准视线长度 (m)	后前视距差 (m)	后前视距差累计 (mm)	黑红面读数差 (mm)	黑红面所测高差之差 (mm)	检测间歇点高差之差 (mm)
三等	S ₃	75	2.0	5.0	2.0	3.0	3.0
四等	S ₃	100	3.0	10.0	3.0	5.0	5.0

第四节 水准测量及成果整理

▶ 二、水准测量方法

▶ （四）双面尺法

▶ 观测和记录的顺序

▶ 三等：

- ▶ 1. 照准**后**视标尺**黑**面，按视距丝（上、下）、中丝读数；
- ▶ 2. 照准**前**视标尺**黑**面，按中丝、视距丝（上、下）读数；
- ▶ 3. 照准**前**视标尺**红**面，按中丝读数；
- ▶ 4. 照准**后**视标尺**红**面，按中丝读数。

▶ 四等：

- ▶ 1. 照准**后**视标尺**黑**面，按视距丝（上①、下②）、中丝③读数；
- ▶ 2. 照准**后**视标尺**红**面，按中丝④读数；
- ▶ 3. 照准**前**视标尺**黑**面，按视距丝（上⑤、下⑥）、中丝⑦读数；
- ▶ 4. 照准**前**视标尺**红**面，按中丝⑧读数。

测站 编号	点号	后尺下丝	前尺下丝	方向及 尺号	水准尺读数		K+黑 -红	高差 中数	高程
		后尺上丝	前尺上丝		黑面	红面			
		后 距	前 距						
		后前距差 d	累计差 Σd						
		(1)	(5)	后	(3)	(4)	(13)	(18)	
		(2)	(6)	前	(7)	(8)	(14)		
		(9)	(10)	后-前	(15)	(16)	(17)		
		(11)	(12)						
1	BM ₁	1.571	0.744	后 47	1.384	6.171	0	+0.8325	43.578
		1.197	0.358	前 46	0.551	5.239	-1		
	TP ₁	37.4	38.6	后-前	+0.833	+0.932	+1		
		-1.2	-1.2						
2	TP ₁	2.121	2.201	后 46	1.934	6.921	0	-0.0745	
		1.747	1.816	前 47	2.008	6.796	-1		
	TP ₂	37.4	38.5	后-前	-0.074	-0.175	+1		
		-1.1	-2.3						
3	TP ₂	1.919	2.053	后 47	1.726	6.515	0	-0.1405	
		1.534	1.676	前 46	1.866	6.554	-1		
	TP ₃	38.5	37.7	后-前	-0.140	-0.041	+1		
		+0.8	-1.5						
4	TP ₃	1.965	2.141	后 46	1.832	6.519	0	-0.1745	
		1.700	1.874	前 47	2.007	6.793	+1		
	TP ₄	26.5	26.7	后-前	-0.175	-0.274	-1		
		-0.2	-1.7						

第四节 水准测量及成果整理

二、水准测量方法

(四) 双面尺法

测站上的高差计算和检核

- ▶ (1) 计算后视距离⑨ = (① - ②) × 0.1
- ▶ (2) 计算前视距离⑩ = (⑤ - ⑥) × 0.1
- ▶ (3) 计算视距差⑪ = ⑨ - ⑩ (注意±号)
- ▶ (4) 计算累计视距差⑫ = 上一站累计视距差 + ⑪
- ▶ (5) 计算前视红黑尺面读数差⑬ = ③ + K_前 - ④
- ▶ (6) 计算后视红黑尺面读数差⑭ = ⑦ + K_后 - ⑧
- ▶ **注意：两把尺子红尺K值不同，应在记录表中标注**
 - ▶ **⑬、⑭两项需 ≤ ±4mm**

等级	仪器类型	标准视线长度(m)	后前视距差(m)	后前视距差累计(mm)
三等	S ₃	75	2.0	5.0
四等	S ₃	100	3.0	10.0

测站 编号	点号	后尺下丝	前尺下丝	方向及 尺号	水准尺读数		K+黑 -红	高差 中数	高程
		后尺上丝	前尺上丝		黑面	红面			
		后 距	前 距						
		后前距差 d	累计差 Σd						
		(1)	(5)	后	(3)	(4)	(13)	(18)	
		(2)	(6)	前	(7)	(8)	(14)		
		(9)	(10)	后-前	(15)	(16)	(17)		
		(11)	(12)						
1	BM ₁	1.571	0.744	后 47	1.384	6.171	0	+0.8325	43.578
		1.197	0.358	前 46	0.551	5.239	-1		
	37.4	38.6	后-前	+0.833	+0.932	+1			
	-1.2	-1.2							
2	TP ₁	2.121	2.201	后 46	1.934	6.921	0	-0.0745	
		1.747	1.816	前 47	2.008	6.796	-1		
	37.4	38.5	后-前	-0.074	-0.175	+1			
	-1.1	-2.3							
3	TP ₂	1.919	2.053	后 47	1.726	6.515	0	-0.1405	
		1.534	1.676	前 46	1.866	6.554	-1		
	38.5	37.7	后-前	-0.140	-0.041	+1			
	+0.8	-1.5							
4	TP ₃	1.965	2.141	后 46	1.832	6.519	0	-0.1745	
		1.700	1.874	前 47	2.007	6.793	+1		
	26.5	26.7	后-前	-0.175	-0.274	-1			
	-0.2	-1.7							

第四节 水准测量及成果整理

▶ 二、水准测量方法

▶ (四) 双面尺法

▶ 测站上的高差计算和检核

▶ (7) 计算黑尺面高差 $\textcircled{15} = \textcircled{3} - \textcircled{7}$

▶ (8) 计算红尺面高差 $\textcircled{16} = \textcircled{4} - \textcircled{8}$

▶ (9) 计算红黑尺面高差之差 $\textcircled{17} = \textcircled{13} - \textcircled{14}$

▶ 检核: $\textcircled{17} \leq \pm 5\text{mm}$ (四等) / $\pm 3\text{mm}$ (三等)

▶ 且: $\textcircled{17} = \textcircled{15} - \textcircled{16} \pm 100$

▶ **后视47: $\textcircled{15} - \textcircled{16} - 100$; 后视46: $\textcircled{15} - \textcircled{16} + 100$**

▶ (10) 计算本站平均高差 $\textcircled{18} = (\textcircled{15} + \textcircled{16} \pm 100) / 2$

测站 编号	点号	后尺下丝	前尺下丝	方向及 尺号	水准尺读数		K+黑 -红	高差 中数	高程
		后尺上丝	前尺上丝		黑面	红面			
		后 距	前 距						
		后前距差 d	累计差 Σd						
		(1)	(5)	后	(3)	(4)	(13)	(18)	
		(2)	(6)	前	(7)	(8)	(14)		
		(9)	(10)	后-前	(15)	(16)	(17)		
		(11)	(12)						
1	BM ₁	1.571	0.744	后 47	1.384	6.171	0	+0.8325	43.578
		1.197	0.358	前 46	0.551	5.239	-1		
	TP ₁	37.4	38.6	后-前	+0.833	+0.932	+1		
		-1.2	-1.2						
2	TP ₁	2.121	2.201	后 46	1.934	6.921	0	-0.0745	
		1.747	1.816	前 47	2.008	6.796	-1		
	TP ₂	37.4	38.5	后-前	-0.074	-0.175	+1		
		-1.1	-2.3						
3	TP ₂	1.919	2.053	后 47	1.726	6.515	0	-0.1405	
		1.534	1.676	前 46	1.866	6.554	-1		
	TP ₃	38.5	37.7	后-前	-0.140	-0.041	+1		
		+0.8	-1.5						
4	TP ₃	1.965	2.141	后 46	1.832	6.519	0	-0.1745	
		1.700	1.874	前 47	2.007	6.793	+1		
	TP ₄	26.5	26.7	后-前	-0.175	-0.274	-1		
		-0.2	-1.7						

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 三、普通水准测量成果整理
- ▶ 成果整理包括：

测量记录整理

测站计算检核

高差闭合差计算与调整

各点高程计算

第四节 水准测量及成果整理

▶ 三、普通水准测量成果整理

▶ (一) 高差闭合差计算

▶ 1. 闭合差的概念：观测值与重复观测值，或与已知点的已知数据的不符值。

▶ 2. 整条水准路线的高差闭合差记作 f_h

▶ (1) 闭合水准路线上 $\sum h_{理} = 0$

▶ \therefore 一条闭合水准路线的

$$f_h = \sum h_{测} - \sum h_{理} = \sum h_{测}$$

第四节 水准测量及成果整理

▶ 三、普通水准测量成果整理

▶ (一) 高差闭合差计算

▶ (2) 附和水准路线上 $\sum h_{\text{理}} = H_{\text{终}} - H_{\text{始}}$

▶ 所以：一条附和水准路线的

$$f_h = \sum h_{\text{测}} - \sum h_{\text{理}} = \sum h_{\text{测}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}})$$

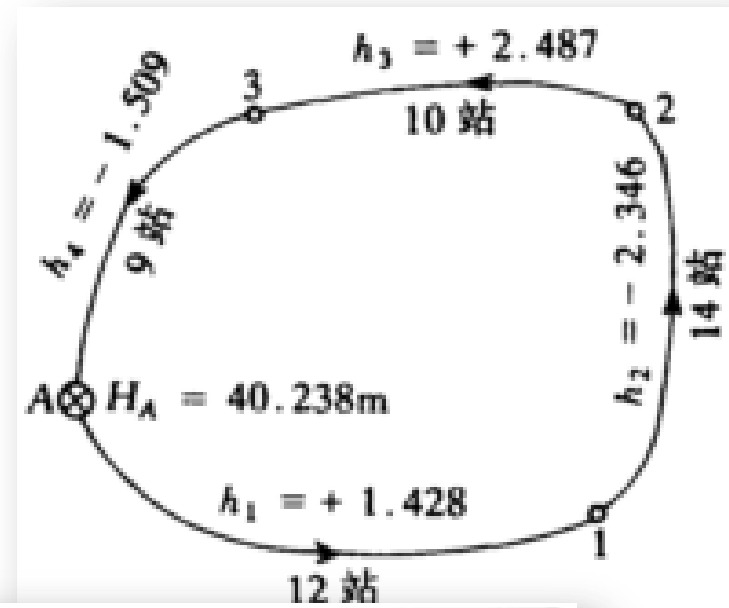
▶ 闭合差不可避免，但要控制在一定限度范围内，即高差闭合差容许误差（图根水准）：

$$f_{h\text{容}} = \pm 12\sqrt{n}\text{mm}$$

$$f_{h\text{容}} = \pm 40\sqrt{L}\text{mm}$$

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 三、普通水准测量成果整理
 - (二) 高差闭合差的调整及各点高程计算
- ▶ 1. 绘制水准路线施测图，
- ▶ 填写水准测量内业计算表



点号	测段中测站数	实测高差 (m)	改正数 (mm)	改正后高差 (mm)	高程 (m)	点号
A	12	+1.428	-16	+1.412	40.238	A
1	14	-2.346	-19	-2.365	41.650	1
2	10	+2.487	-13	+2.474	39.285	2
3	9	-1.509	-12	-1.521	41.759	3
A					40.238	A
Σ	45	$f_A = +0.060$	-60	0.000		

辅助计算 $f_{A容} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{45} = \pm 80\text{mm}$

$|f_A| < |f_{A容}|$ 成果合格

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 三、普通水准测量成果整理
- ▶ (二) 高差闭合差的调整及各点高程计算
- ▶ 2. 计算高差闭合差及高差闭合差容许误差

点号	测段中测站数	实测高差 (m)	改正数 (mm)	改正后高差 (mm)	高程 (m)	点号
A	12	+1.428	-16	+1.412	40.238	A
1					41.650	1
2	14	-2.346	-19	-2.365	39.285	2
3	10	+2.487	-13	+2.474	41.759	3
A	9	-1.509	-12	-1.521	40.238	A
Σ	45	$f_h = +0.060$	-60	0.000		

辅助计算
 $f_{h容} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{45} = \pm 80\text{mm}$
 $|f_h| < |f_{h容}|$ 成果合格

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 三、普通水准测量成果整理
- ▶ (二) 高差闭合差的调整及各点高程计算
- ▶ 3. 计算高差改正数 $v_{\text{改}} = -f_h / n$ 或 $v_{\text{改}} = -f_h / L$
- ▶ 每个测段上高差改正数 $v_i = v_{\text{改}} \times n_i$ 或 $v_i = v_{\text{改}} \times L_i$

点号	测段中测站数	实测高差 (m)	改正数 (mm)	改正后高差 (mm)	高程 (m)	点号
A	12	+1.428	-16	+1.412	40.238	A
1	14	-2.346	-19	-2.365	41.650	1
2					39.285	2
3	10	+2.487	-13	+2.474	41.759	3
	9	-1.509	-12	-1.521		
A	45	$f_h = +0.060$	-60	0.000	40.238	A
Σ						
辅助计算	$f_{\text{允}} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{45} = \pm 80\text{mm}$ $ f_h < f_{\text{允}} $ 成果合格					

第四节 水准测量及成果整理

- ▶ 三、普通水准测量成果整理
- ▶ (二) 高差闭合差的调整及各点高程计算
- ▶ 4. 计算各测段改正后的高差 $h_{i\text{改}}$

$$\color{red}\triangleright h_{i\text{改}} = h_i + v_i$$

点号	测段中测站数	实测高差 (m)	改正数 (mm)	改正后高差 (mm)	高程 (m)	点号
A	12	+1.428	-16	+1.412	40.238	A
1	14	-2.346	-19	-2.365	41.650	1
2					39.285	2
3	10	+2.487	-13	+2.474	41.759	3
A	9	-1.509	-12	-1.521	40.238	A
Σ	45	$f_h = +0.060$	-60	0.000		
辅助计算	$f_{\text{允许}} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{45} = \pm 80\text{mm}$ $ f_h < f_{\text{允许}} $ 成果合格					

第四节 水准测量及成果整理

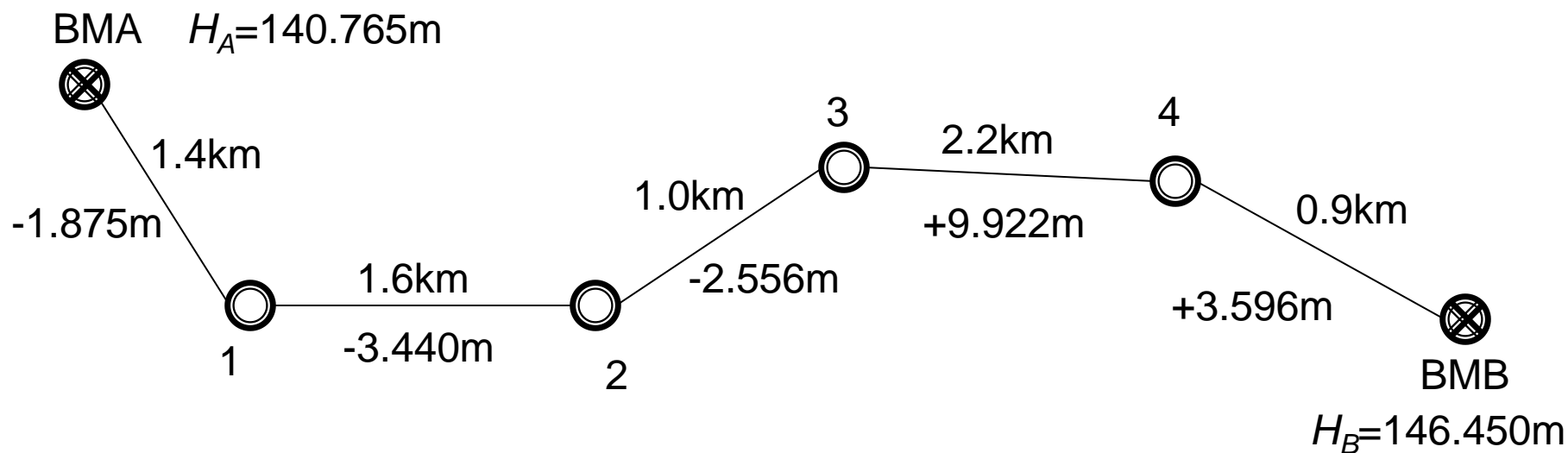
- ▶ 三、普通水准测量成果整理
- ▶ (二) 高差闭合差的调整及各点高程计算
- ▶ 5. 计算各点高程 H_i

$$\blacktriangleright H_{\text{后}} = H_{\text{前}} + h_i \text{改}$$

点号	测段中测站数	实测高差 (m)	改正数 (mm)	改正后高差 (mm)	高 程 (m)	点号
A	12	+1.428	-16	+1.412	40.238	A
1					41.650	1
2	14	-2.346	-19	-2.365	39.285	2
3	10	+2.487	-13	+2.474	41.759	3
A	9	-1.509	-12	-1.521	40.238	A
Σ	45	$f_h = +0.060$	-60	0.000		
辅助计算	$f_{\text{容}} = \pm 12 \sqrt{n} = \pm 12 \sqrt{45} = \pm 80\text{mm}$ $ f_h < f_{\text{容}} $ 成果合格					

作业：

- ▶ 完成下例附和水准路线测量成果整理



第五节 水准测量误差来源及注意事项



第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 一、仪器误差

▶ 1. i 角误差

▶ 误差来源：

▶ 水准仪视准轴不平行于水准面。

▶ 消除方法：

▶ 每站观测时，仪器安置于两点中间位置，不易偏差过大（视距差、累计视距差）。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 一、仪器误差

▶ 2. 水准尺误差

▶ 误差来源：

▶ ①水准尺刻划不均匀、尺长变化、弯曲；

▶ ②水准尺零点误差。

▶ 消除方法：

▶ ①严格检定水准尺，合格后方可使用；

▶ ②水准路线的总站数应为偶数站，以抵消零点误差。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 二、观测误差

▶ 1.水准管气泡居中误差

▶ 误差来源：

▶ 来源：水准管气泡未严格居中，导致视准轴与水平面平行产生的测量误差；

▶ 影响：当视距为100m，水准管气泡偏移2mm时，读书误差约为0.7mm。

▶ 消除方法：

▶ ①每次架站的位置应位于前后视点中间的位置；

▶ ②读数前均应注意让气泡影像严密符合。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 二、观测误差

▶ 2.视差误差

▶ 误差来源：

▶ 来源：水准尺的像未准确落在十字丝分划板上；

▶ 判定方法：上下移动视线，中丝读数位置移动；

▶ 影响：DS3水准仪，视距100m时，视差误差约为1mm。

▶ 消除方法：

▶ 每次读数前，若视差存在，应反复调节目镜对光螺旋、物镜对光螺旋至视差消除为止。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

- ▶ 二、观测误差
- ▶ 3.在水准尺上读数的估读误差
- ▶ 误差来源：
 - ▶ 来源：人眼的视觉分辨率及水准尺刻划的粗细；
 - ▶ 影响：DS3水准仪，视距100m时，估读误差约为1.4mm。
- ▶ 消除方法：
 - ▶ 不同等级的水准测量，对视距的最大长度有严格的规定。

等级	仪器类型	标准视线长度 (m)	后前视距差 (m)
三等	S ₃	75	2.0
四等	S ₃	100	3.0

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 二、观测误差

▶ 4.水准尺倾斜的误差

▶ 误差来源：

▶ 来源：水准尺未竖直竖立；

▶ 影响：随着读数的增大和倾角，而误差增大。

▶ 消除方法：

▶ ①平地：保证水准尺竖直竖立。

▶ ②山地：使用附带有圆水准器的水准尺，确保观测时水准尺气泡居中。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 三、外界因素

▶ 1. 仪器下沉（上升）

▶ 误差来源：

▶ 来源：观测过程中仪器下沉，使视线降低，从而使观测高差产生误差；

▶ 消除方法：

▶ ①安置仪器位置，宜为**坚固地面**；

▶ ②一测站的观测顺序为“**后-前-前-后**”

▶ ③**三、四等水准测量，检核红黑尺面读数差。**

第五节 水准测量误差来源及注意事项

▶ 三、外界因素

▶ 2.水准尺下沉（上升）

▶ 误差来源：

▶ 来源：观测过程中水准下沉，使读数变大，从而使观测高差产生误差；

▶ 消除方法：

- ▶ ①转点时尽量选择土质坚硬的地点安置尺垫，并踩实
- ▶ ②两次仪器高法和双面尺法等往返观测取中数的观测方法减弱其影响。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

- ▶ 三、外界因素
- ▶ 3.地球曲率对水准测量的影响
- ▶ 误差来源：
 - ▶ 来源：大地水准面是曲面，较长的视距上不平行于视准轴线；
 - ▶ 影响：当前后视点相距200m时，误差约为0.8mm
 - ▶ 消除方法：
 - ▶ ①三四等水准测量严格控制视距长度；
 - ▶ ②等外水准测量可忽略。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

- ▶ 三、外界因素
- ▶ 4.大气折光对水准测量的影响
- ▶ 误差来源：
 - ▶ 晴天在日光的照射下，靠近地面的温度高，空气密度较上层（1.5m以上）稀。水准测量时，视线将由疏媒质折向密媒质而向上弯曲，视线离地面愈近折射也就愈大，使得尺上的读数增大。
- ▶ 消除方法：
 - ▶ 一般规定视线必须高出地面一定高度（例如0.3m）以减少大气折光影响。。

第五节 水准测量误差来源及注意事项

- ▶ 三、外界因素
- ▶ 5.强阳光直射对水准测量的影响
- ▶ 误差来源：
 - ▶ 强阳光直射会使仪器不同部位的部件受热不同，而产生不均匀变化影响仪器整平。
- ▶ 消除方法：
 - ▶ 观测时要注意撑伞遮阳。

第六节 自动安平水准仪

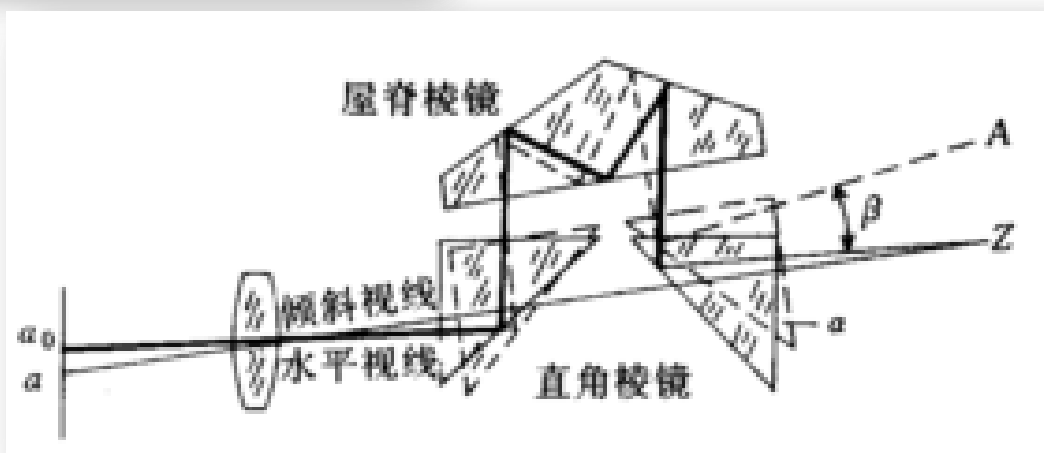
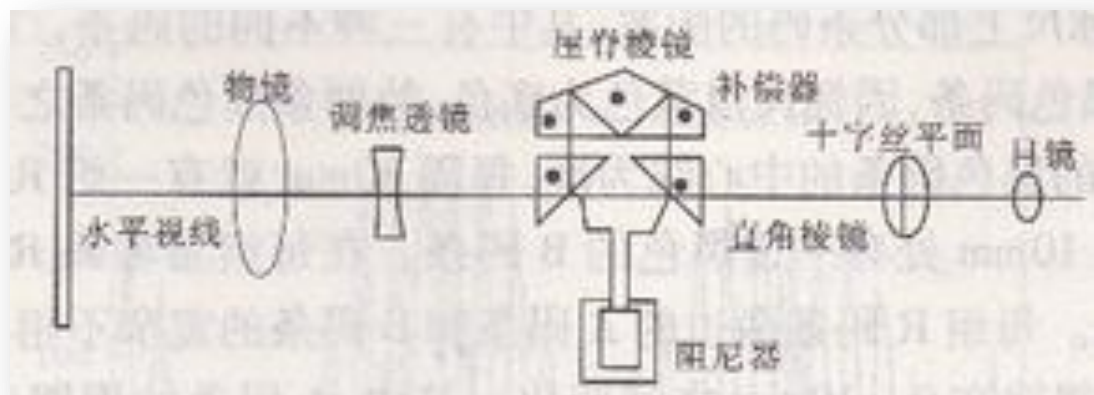
- ▶ 用微倾式水准仪进行高差观测时，在圆水准气泡居中后，读数之前还要用微倾螺旋使水准管气泡居中（即“精平”）。由于水准管气泡灵敏度较高，故精平工作时间较长。
- ▶ 自动安平水准仪在测站只需粗平，利用自动安平补偿器代替水准管，使视准轴自动处于水平状态，即可读取标尺上的读数。而且对于地面的微小震动、风力及温度等外界因素所引起的视线微小倾斜，亦可迅速而自动地给予“补偿”，使视线始终保持水平状态，从而提高了观测速度和精度。

第六节 自动安平水准仪



第六节 自动安平水准仪

- 自动安平补偿器的原理：



第六节 自动安平水准仪

自动安平水准仪没有水准管装置，因此，其操作过程相比较微倾式光学水准仪，没有精确整平的步骤，在准确瞄准目标并消除视差后即可读数。

操作仪器的步骤：**安、粗、瞄、读**

第三章 水准测量

- » 结束，到此我们已经掌握了测量高程的重要方法，接下来，继续努力，让我们来学习角度的测量方法和仪器工具！