



测 量 学

河海大学测绘科学与工程系

贾东振



野外测量的基准面-大地水准面

水准面—假设有个静止的海水面，向陆地延伸形成的封闭曲面。
地球上自由静止的水面都是水准面（无数个）

大地水准面—通过观测，求出平均高度海水面、并延伸通过陆地的不规则封闭曲面。它是重力等位面。（仅有一个）

室内作业的基准面-参考椭球面

由于地表起伏以及地球内质量分布不均匀，所以大地水准面是个**复杂的曲面**。无法准确描述和计算，也难以在其面上处理测量成果。

用一非常接近大地水准面的数学面代替大地水准面，这个面称为**参考（旋转）椭球面**，椭球面所包含的形体称为**参考（旋转）椭球体**。

内外业的参考线和参考面

外业：**铅垂线**和**大地水准面**

内业：**法线** 和**参考椭球面**



为什么要建立测量坐标系

测量工作的基本任务是确定点的空间位置。一个点的空间位置，需要用坐标系中的三个量来确定

如何表示点的空间位置（三维）

= **球面或平面位置（二维）** + **高程（一维）**

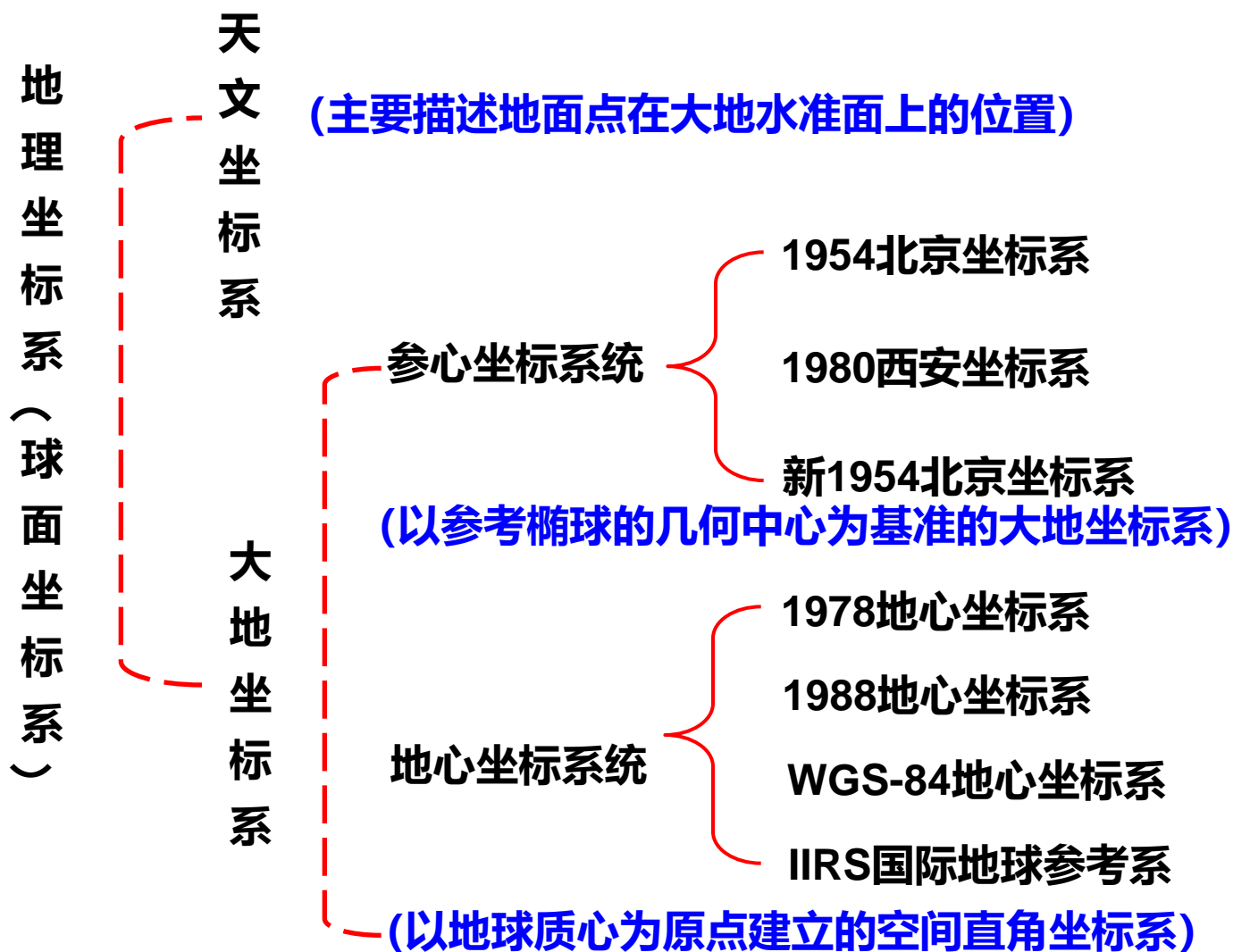
 球面或平面坐标

1. 地理坐标
2. 直角坐标

 高程

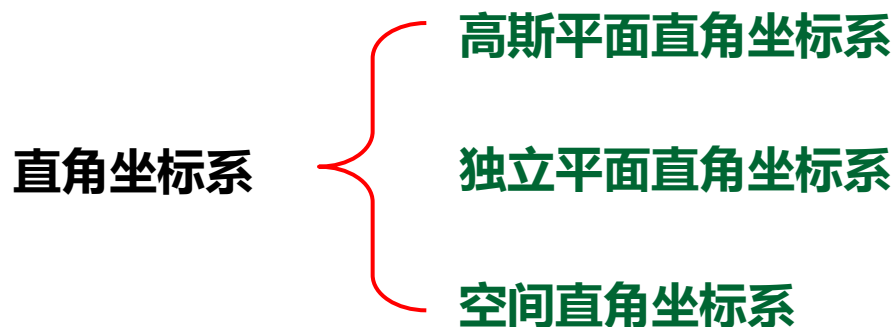
1. 绝对高程
2. 相对高程

大地坐标系的分类



(主要描述地面点在参考椭球面上的位置)

坐直角标系的分类



投影的定义

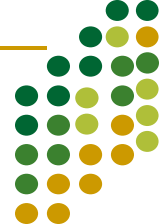
所谓投影就是建立起（椭）球面上的点与平面上的点一一对应的数学关系。

高斯投影分带的规定

- 1、6°分带法：从格林尼治零度经线起每6°为一个投影带，全球共分60个投影带，投影带的中心经度： $L=6N-3$
- 2、3°分带法：从东经1°30'起，每3°为一个投影带，故全球共分120个投影带，投影带的中心经度： $L=3N'$



平面直角坐标系与数学坐标系



相同点

1. 两者都是直角坐标系
2. 角度计量时都是沿从x轴到y轴的方向旋转
3. 数学上的三角公式适用于测量平面坐标系



区别

1. 坐标轴不同：测量坐标系横轴为Y轴；纵轴为X轴；数学坐标系相反；
2. 象限顺序不同：测量平面直角坐标系以顺时针方向开始；
3. 角度方向不同。



测量地面点的基本工作

水平角测量、水平距离测量、高程测量

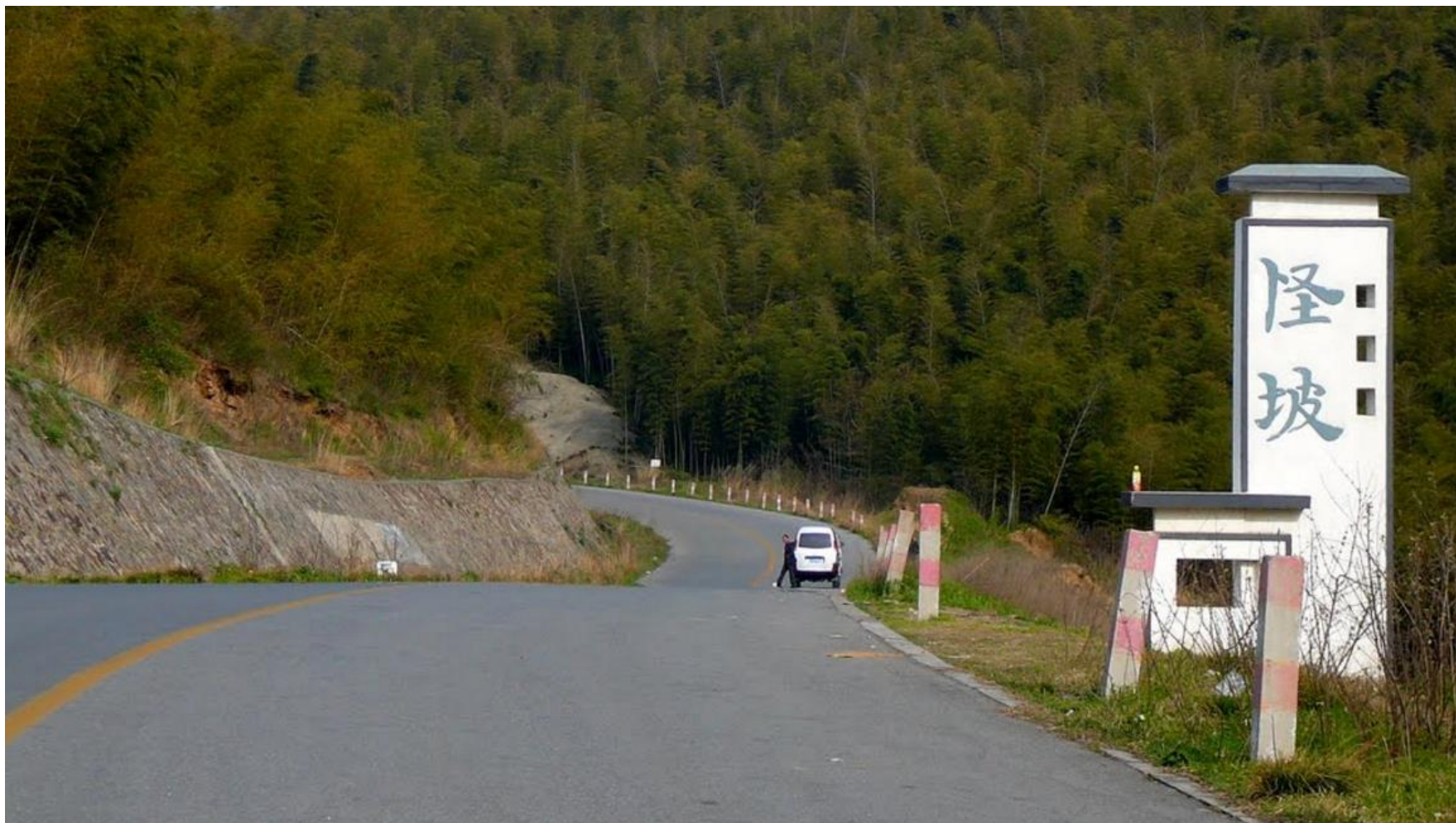
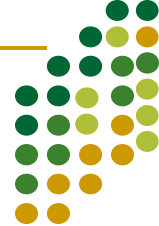


高程测量概念 (Height Measurement)

知点高程，测定该点与未知点的高差，然后计算出未知点的高程的方法。



引子-马鞍山怪坡



引子-马鞍山怪坡



引子-马鞍山怪坡



引子-高程测量的方法分类

1. 水准测量(leveling)
2. 三角高程测量(trigonometric leveling)
3. 气压高程测量(air pressure leveling)
4. GPS测量(GPS leveling)





第二章 水准测量



第一节 水准测量原理



第二节 水准仪及其使用



第三节 水准测量方法



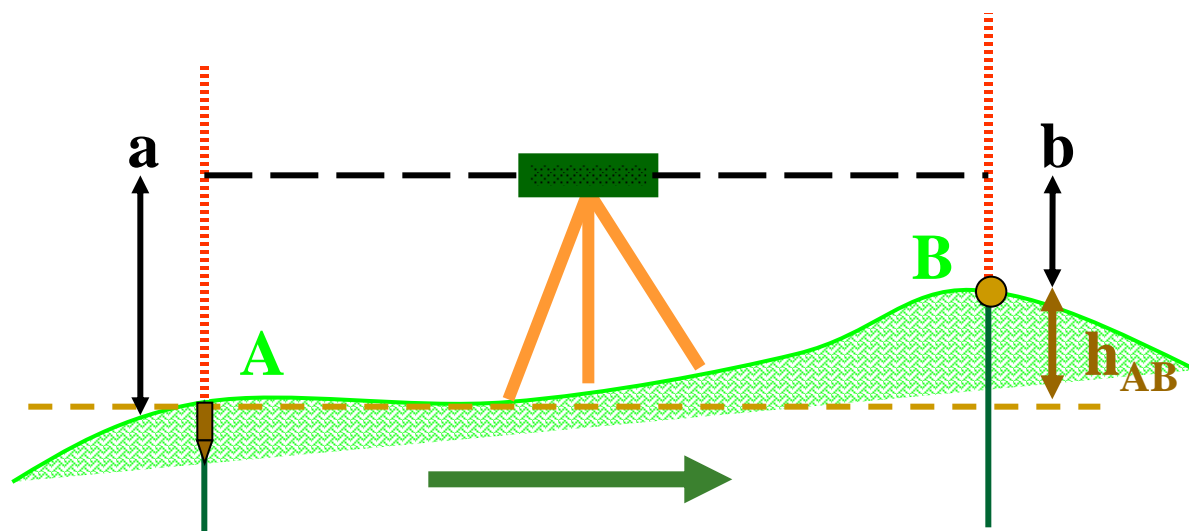
第四节 水准仪的检查和校正



第五节 水准测量误差分析

水准测量的基本原理

原理：利用水准仪提供水平视线，借助水准尺来测定地面上两点的高差，从而由已知点高程推出未知点的高程。



A: 后视点

B: 前视点

a: 后视读数

b: 前视读数

?

$$h_{AB} = a - b$$

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

B点高程计算方法

1. 高差法
2. 视线高法



高差法实例1



先计算两点高差，再计算未知点的高程

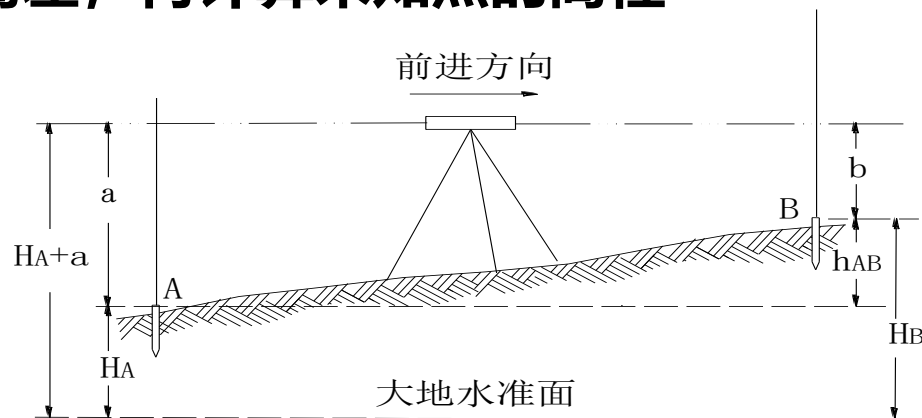


图2.1

例1：图2.1中已知A点高程 $H_A=452.623\text{m}$ ，后视读数 $a=1.571\text{m}$ ，前视读数 $b=0.685\text{m}$ ，求B点高程。

解：第一步：求B点对于A点高差：

$$h_{AB} = a - b = 1.571 - 0.685 = 0.886\text{m}$$

第二步：求B点高程为：

$$H_B = H_A + h_{AB} = 452.623 + 0.886 = 453.509\text{m}$$



高差法实例2

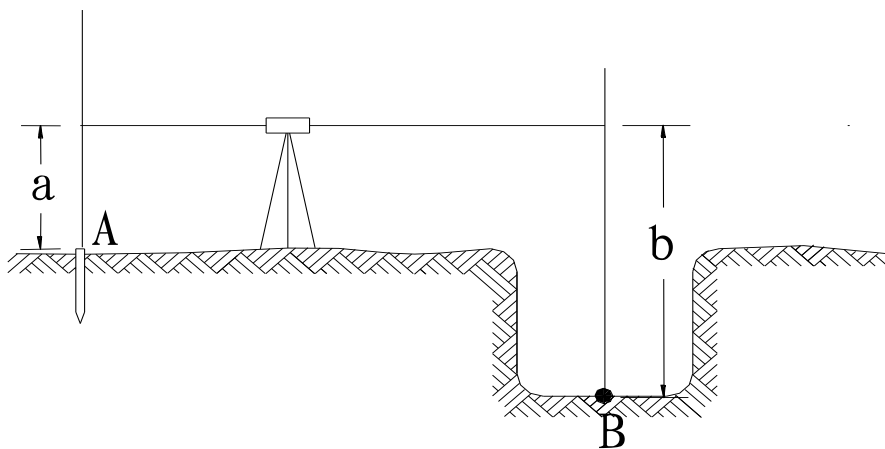


图 2. 2

例2：图2.2中，已知A点桩顶高程为±0.00，后视A点读数 $a=1.217\text{m}$ ，前视B点读数 $b=2.426\text{m}$ ，求B点标高。

解：第一步：求B点对于A点高差：

$$h_{AB}=a-b=1.217-2.426=-1.209\text{m}$$

第二步：求B点高程为：

$$H_B=H_A+h_{AB}=0+(-1.209)=-1.209\text{m}$$

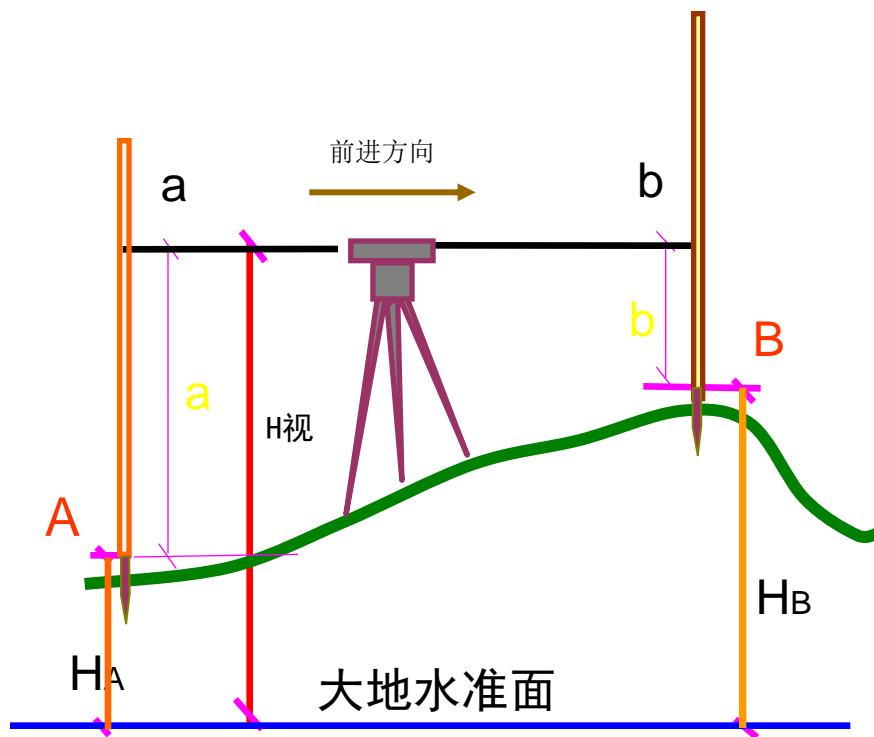


视线高法



视线高：水平视线的高程

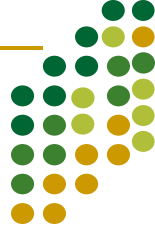
视线高法：先计算出水平视线的高程再计算未知点高程，广泛应用于面水准测量和线路水准测量中



$$H_{\text{视}} = a + H_A$$

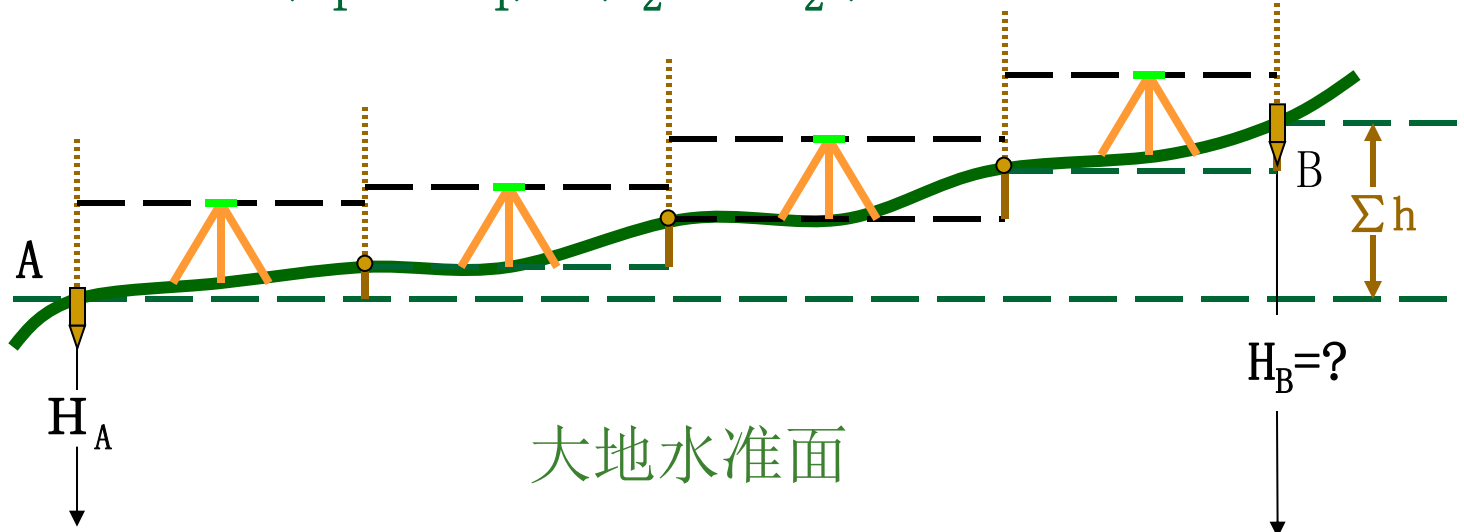
$$H_B = H_{\text{视}} - b$$

连续中间水准测量



中间水准测量：在两点之间连续设置若干次仪器，作为临时传递高程的立尺点，这种方法叫做中间水准测量。（过度的立尺点称为转点，每设置一次仪器称为一个测站）

$$\begin{aligned} h_{AB} &= \sum h = h_1 + h_2 + \cdots \\ &= (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \cdots = \sum a - \sum b \end{aligned}$$



水准测量使用到的仪器与设备-水准仪与水准尺

水准测量所使用的
仪器为水准仪，所
使用的工具为水准
尺和尺垫。

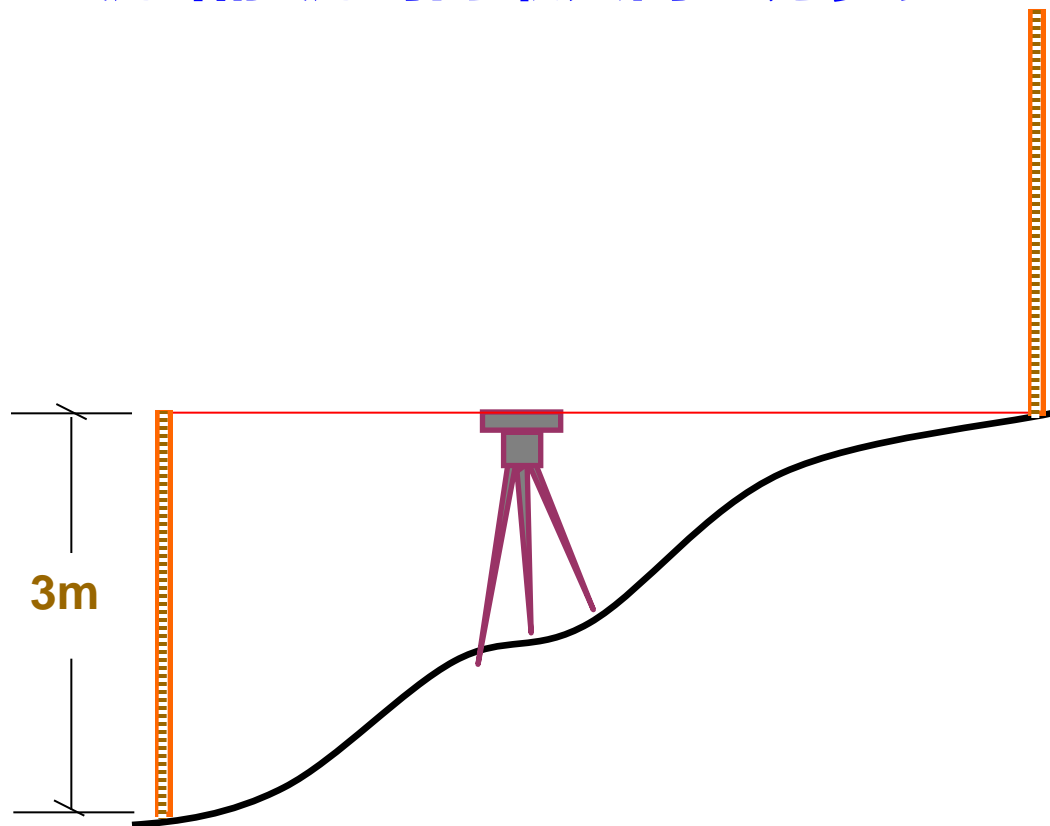


水准仪与尺垫





问题：一测站能测到的最大高差为多少？



如果水准尺长度为3米, 则能观测的最大高差为3米, 而不是6米。如：后视为3米, 前视为0米



第二章 水准测量



第一节 水准测量原理



第二节 水准仪及其使用



第三节 水准测量方法

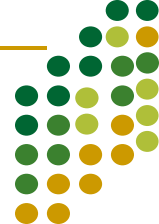


第四节 水准仪的检查和校正



第五节 水准测量误差分析

一、水准仪



定义

- 为水准测量提供水平视线的仪器。

水准仪的分类

- 水准仪按其精度划分为四个等级：

精密水准仪 DS05、DS1；普通水准仪DS3、DS10。

D—大地测量；S—水准仪；后面的数字代表仪器的测量精度（每公里往返测高差中数的中误差，即精度,单位:mm）。

- 水准仪按其构造可分为以下几种：

微倾式水准仪、自动安平水准仪、电子（数字）水准仪

- 目前，普通工程测量中最常用的水准仪是：

DS3水准仪（或DS3自动安平水准仪）

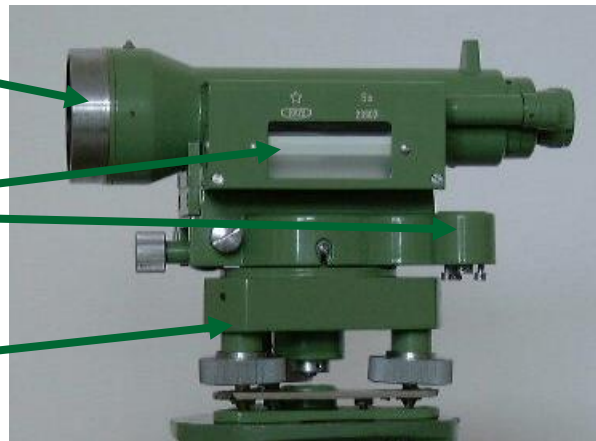
水准仪的结构

DS₃型
水准仪

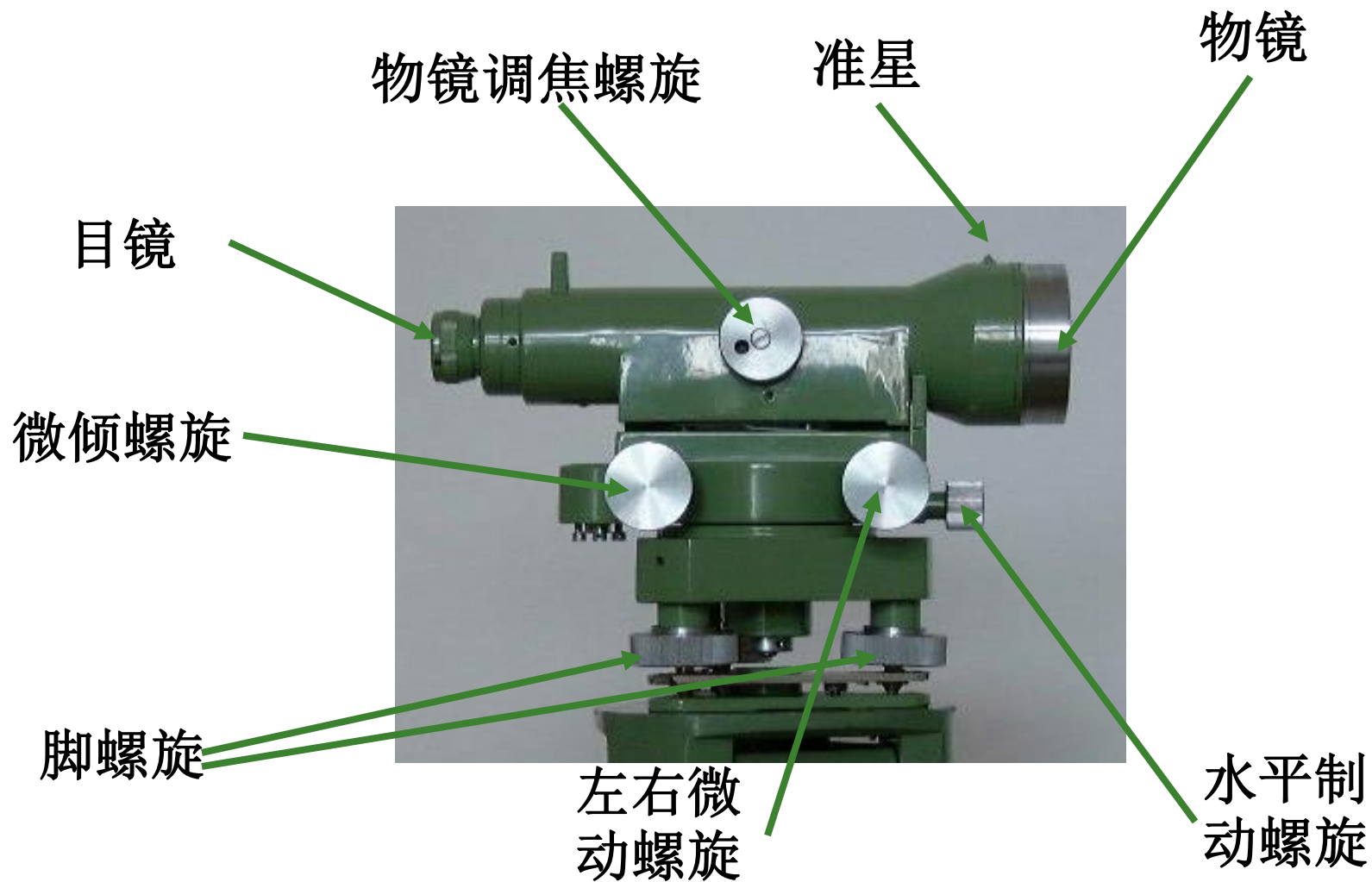
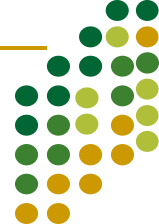
望远镜

水准器

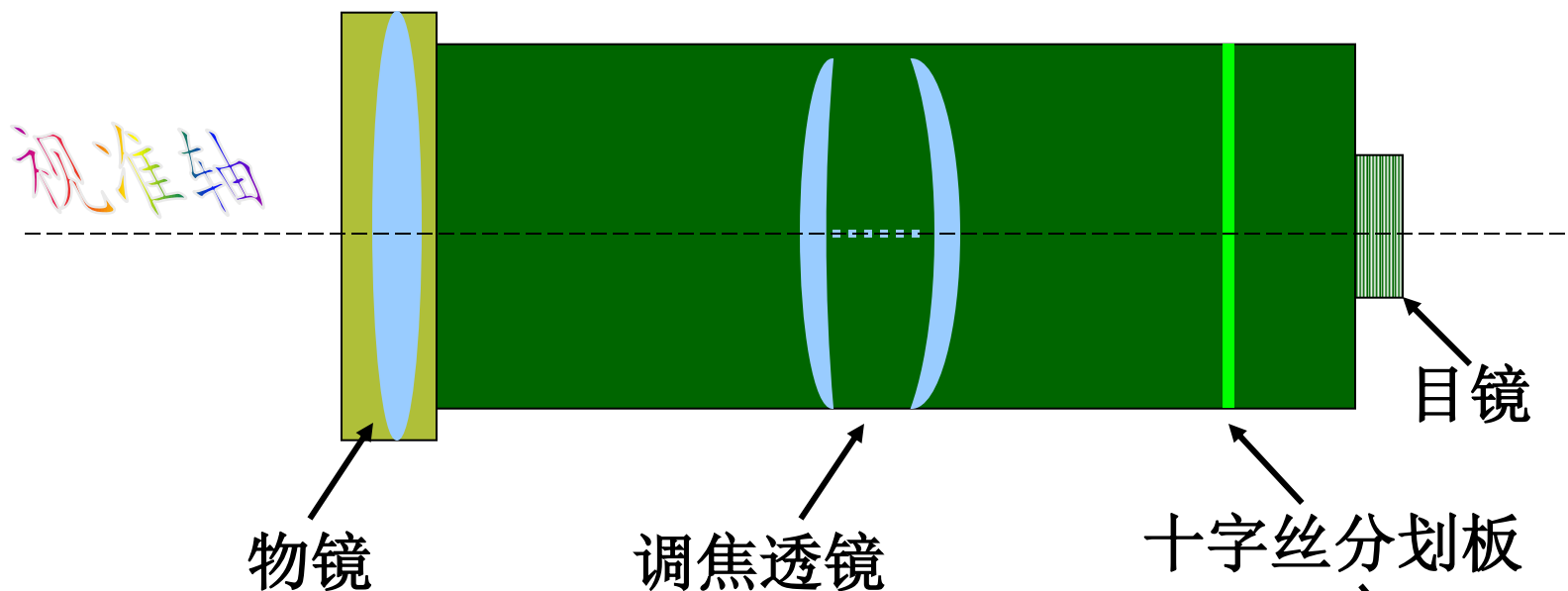
基座



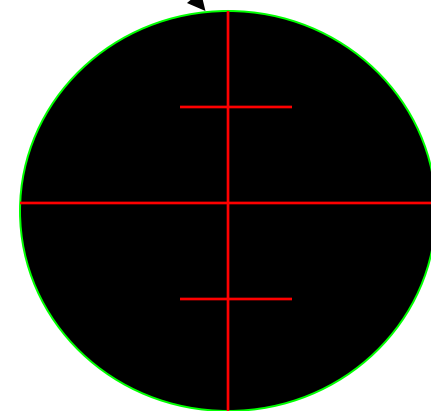
水准仪的结构（续）



1 望远镜



- 物 镜：目标成像
- 目 镜：把十字丝和目标像放大
- 调焦镜：使远近不同的目标均成像于十字丝分划板上
- 十字丝：横丝、竖丝（上丝、中丝、下丝）
- 视准轴：十字丝分划中心与物镜光心的连线。



2水准器

➤ 是用以指示视线水平或竖轴是否竖直的装置。

➤ 水准器

- 长水准管
- 圆水准器

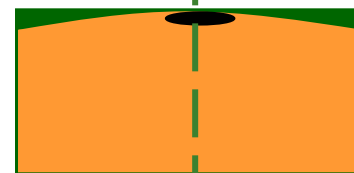
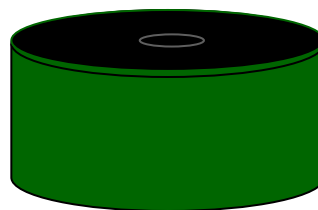


长水准管

长水准管轴

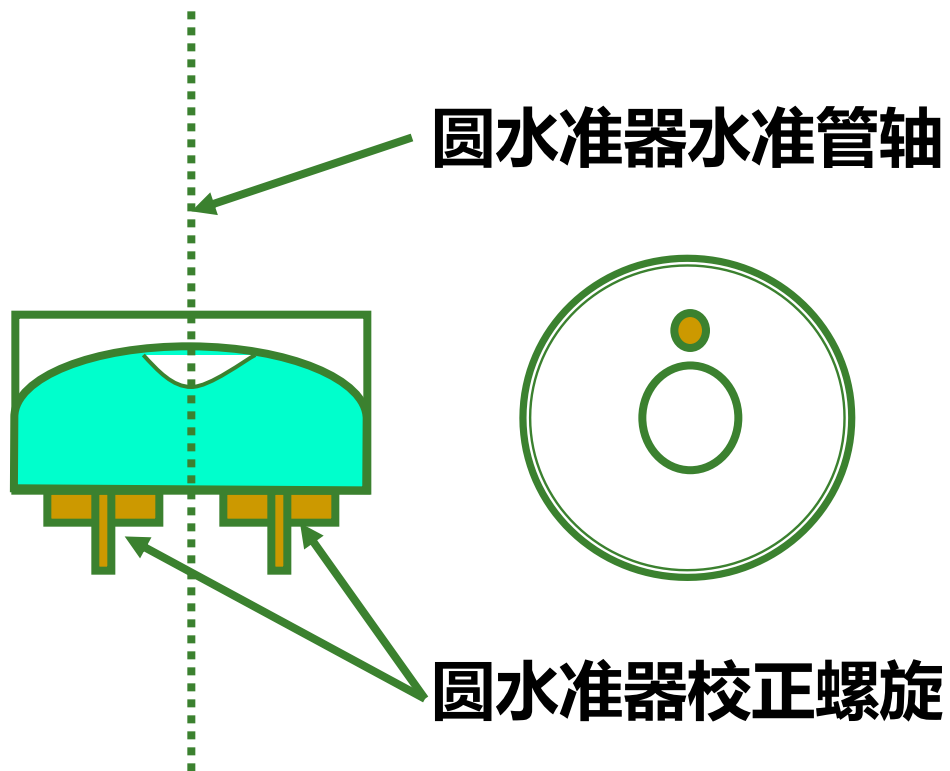
圆水准器

圆水准器轴



圆水准器

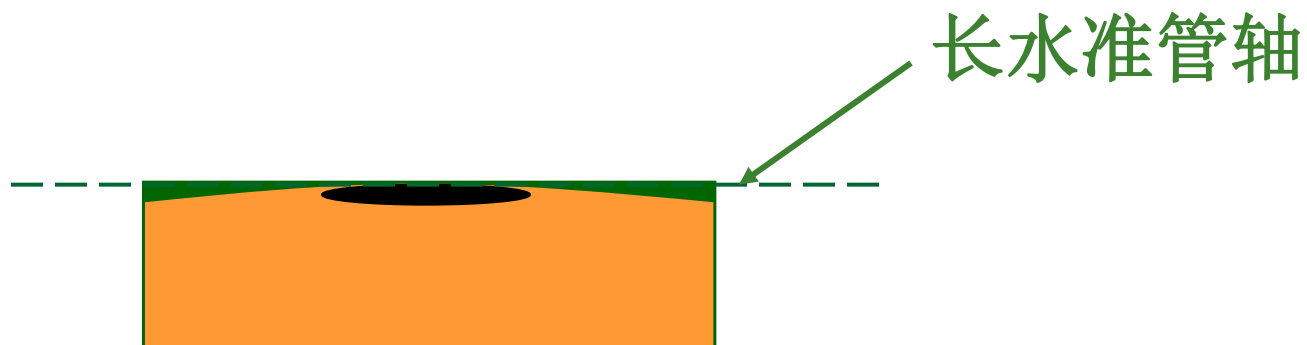
作用：粗略整平



分划值：8'~30'/2mm

长水准管

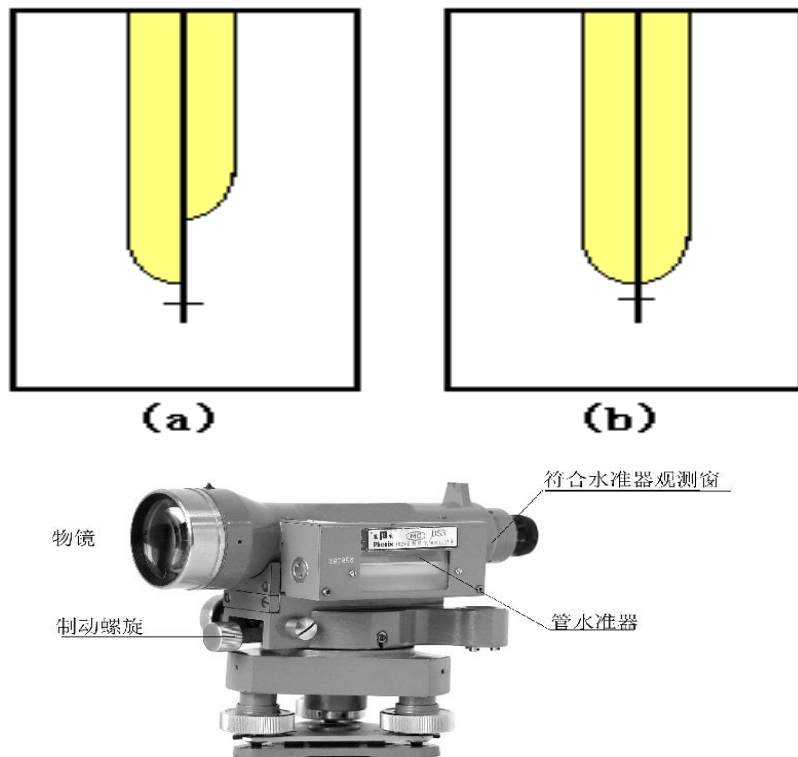
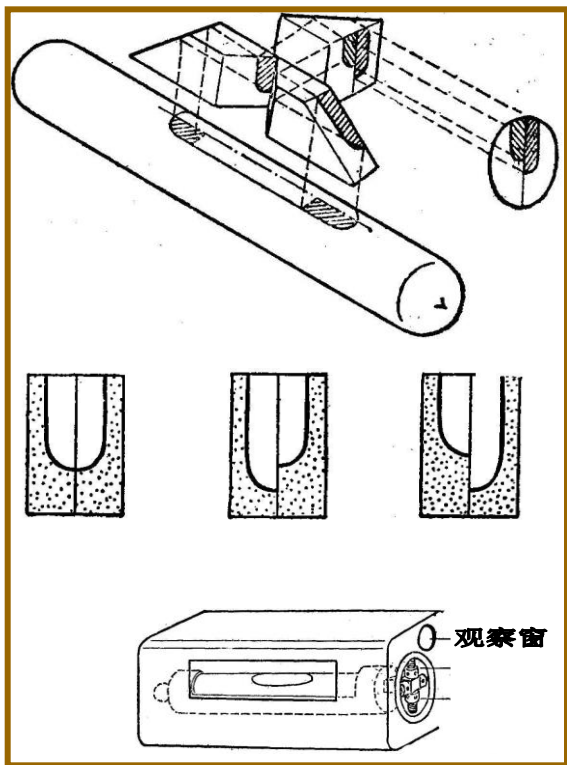
作用：精确整平



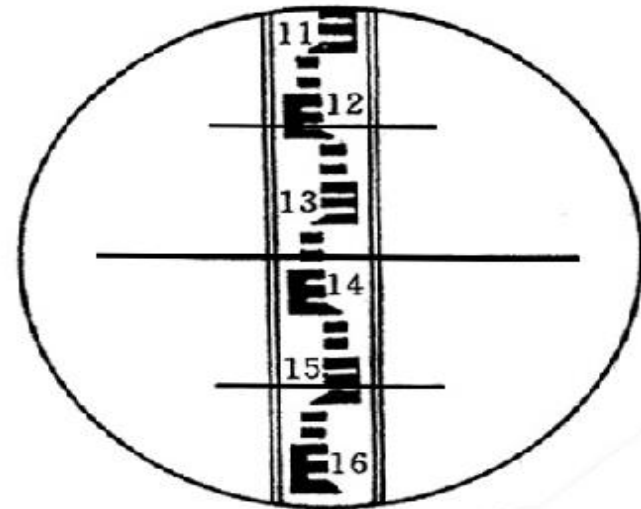
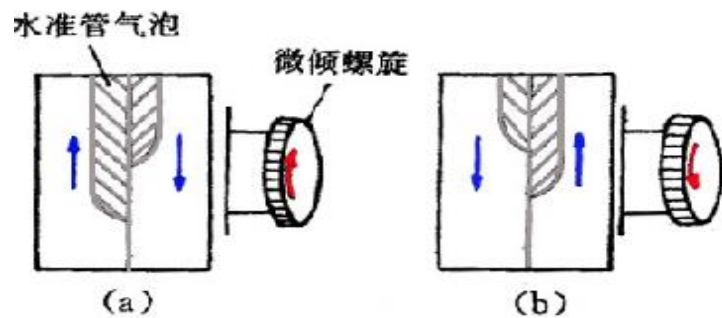
分划值：30"/2mm

符合水准器

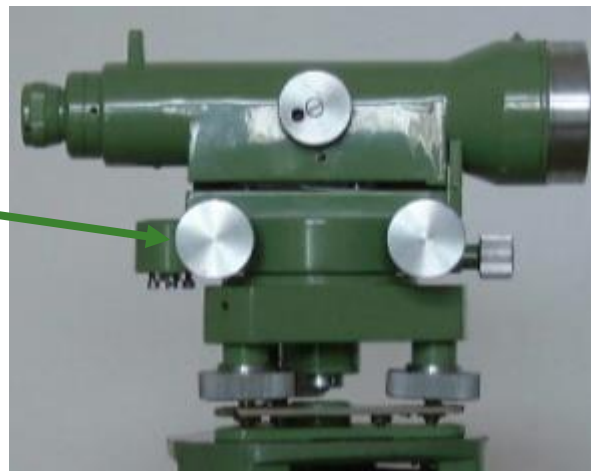
为了提高气泡居中的精度，在水准管的上面安装一套棱镜组，使两端各有半个气泡的像被反射到一起。当气泡居中时，两端气泡的图像就能符合。这种水准器称为符合水准器。



符合水准器精平方法

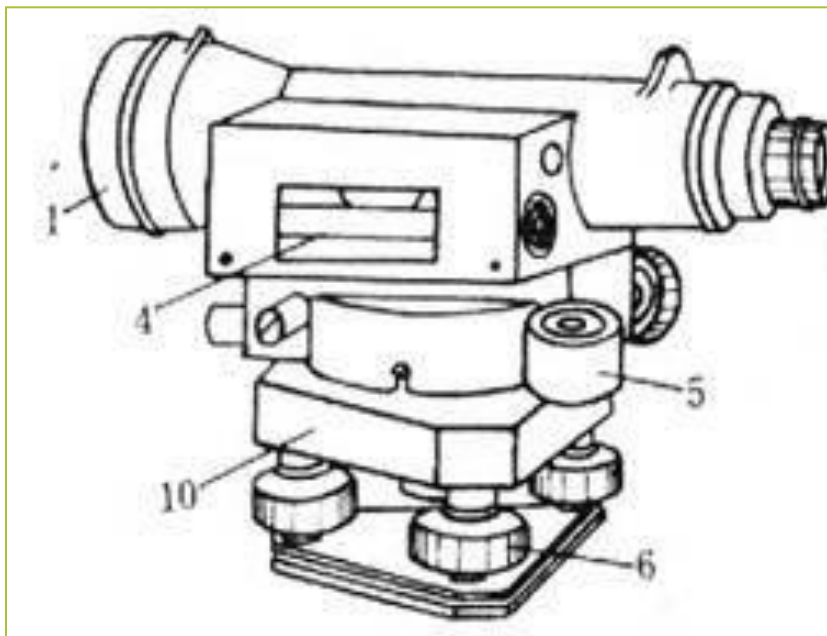


微倾螺旋



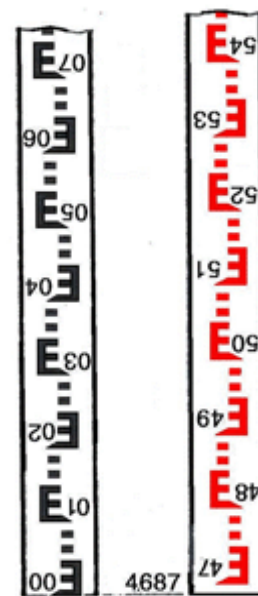
3基座

主要由轴座、脚螺旋和连接板组成，作用是支承仪器的上部并能使仪器的上部在水平方向转动。脚螺旋用于粗平，使圆水准器气泡居中



二、水准尺

- 黑面为主尺，起点为零。
- 红面为辅尺，起点为4.687m和4.787m。



三、尺垫

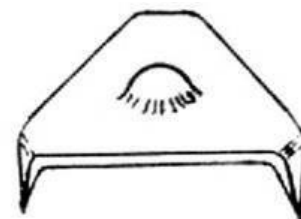


定义

由顶部有一突起半球形，下面有三个尖脚的铸铁制成的水准尺支撑体

作用

传递高程，用于支承标尺，防止水准尺出现位移和下沉



可用范围

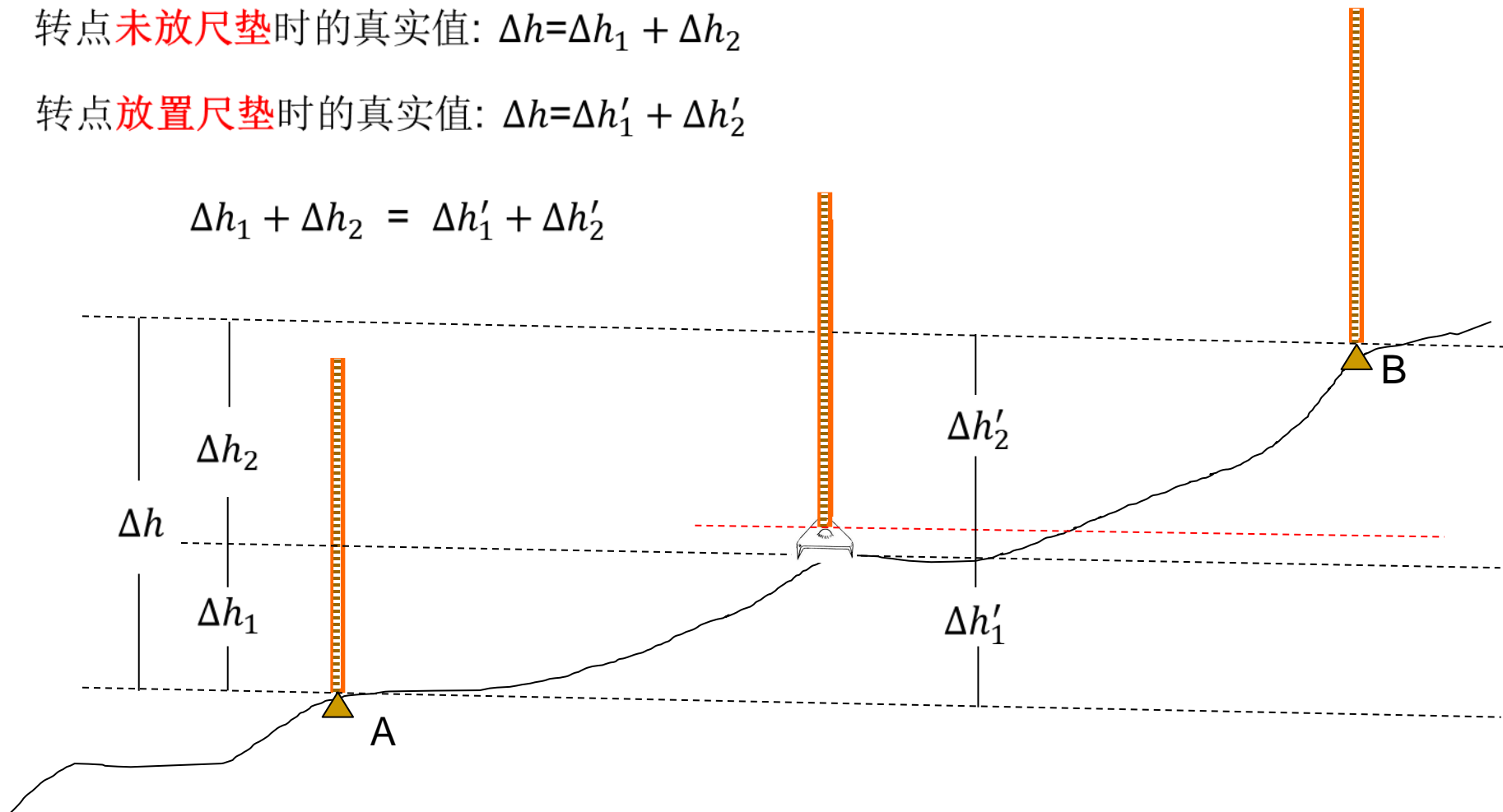
尺垫可应用范围：用于连续水准测量，其原因是由于两点间**距离过远或高差过大**不能一次测出其高差需设立一些临时立尺点，作为高程传递过渡点，使用过程中不能移动。

问题1：为什么转点放尺垫不影响两点高差

转点未放尺垫时的真实值： $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$

转点放置尺垫时的真实值： $\Delta h = \Delta h'_1 + \Delta h'_2$

$$\Delta h_1 + \Delta h_2 = \Delta h'_1 + \Delta h'_2$$

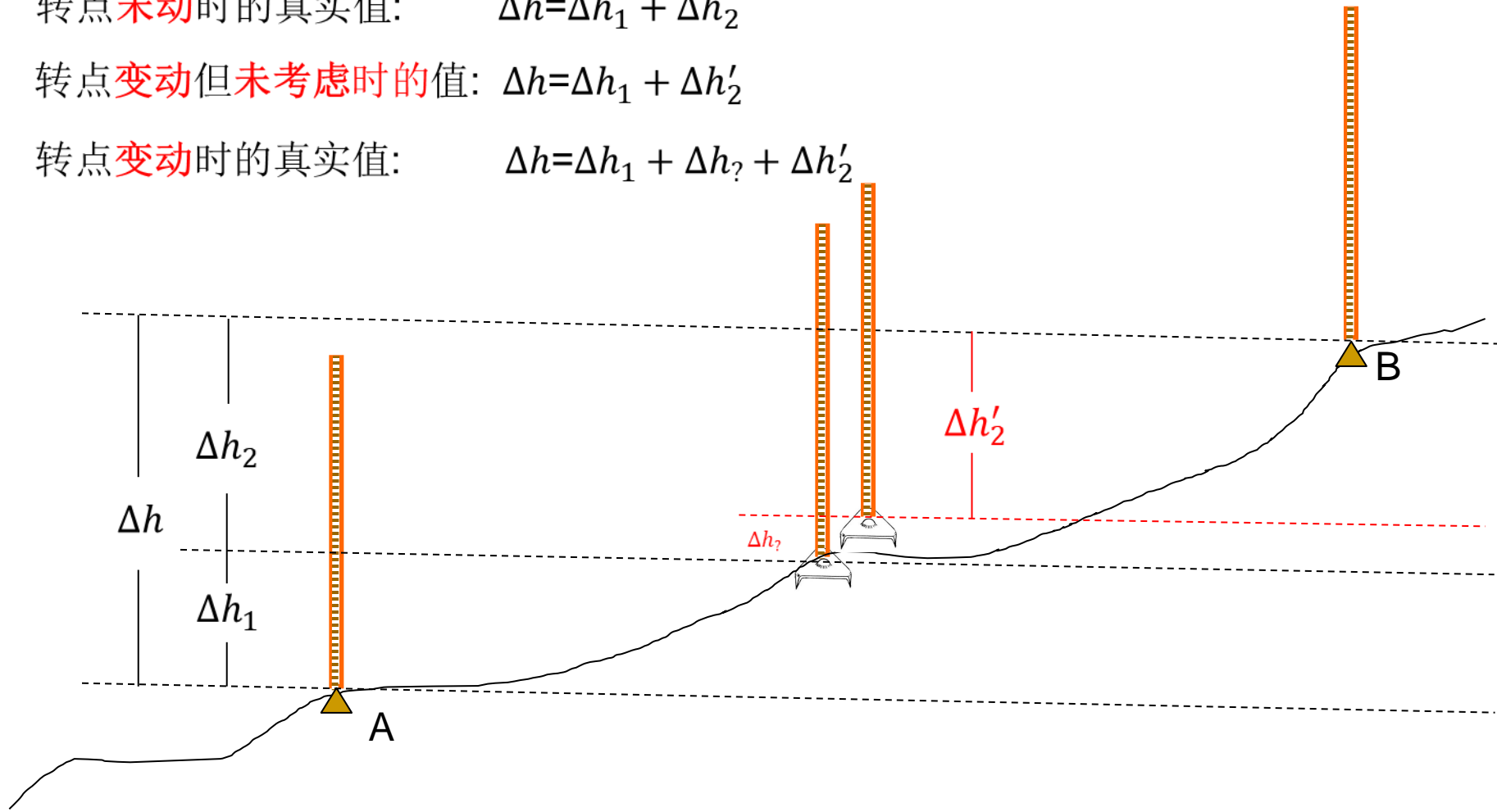


问题2：为什么转点的尺垫不能移动

转点未动时的真实值： $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$

转点变动但未考虑时的值： $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h'_2$

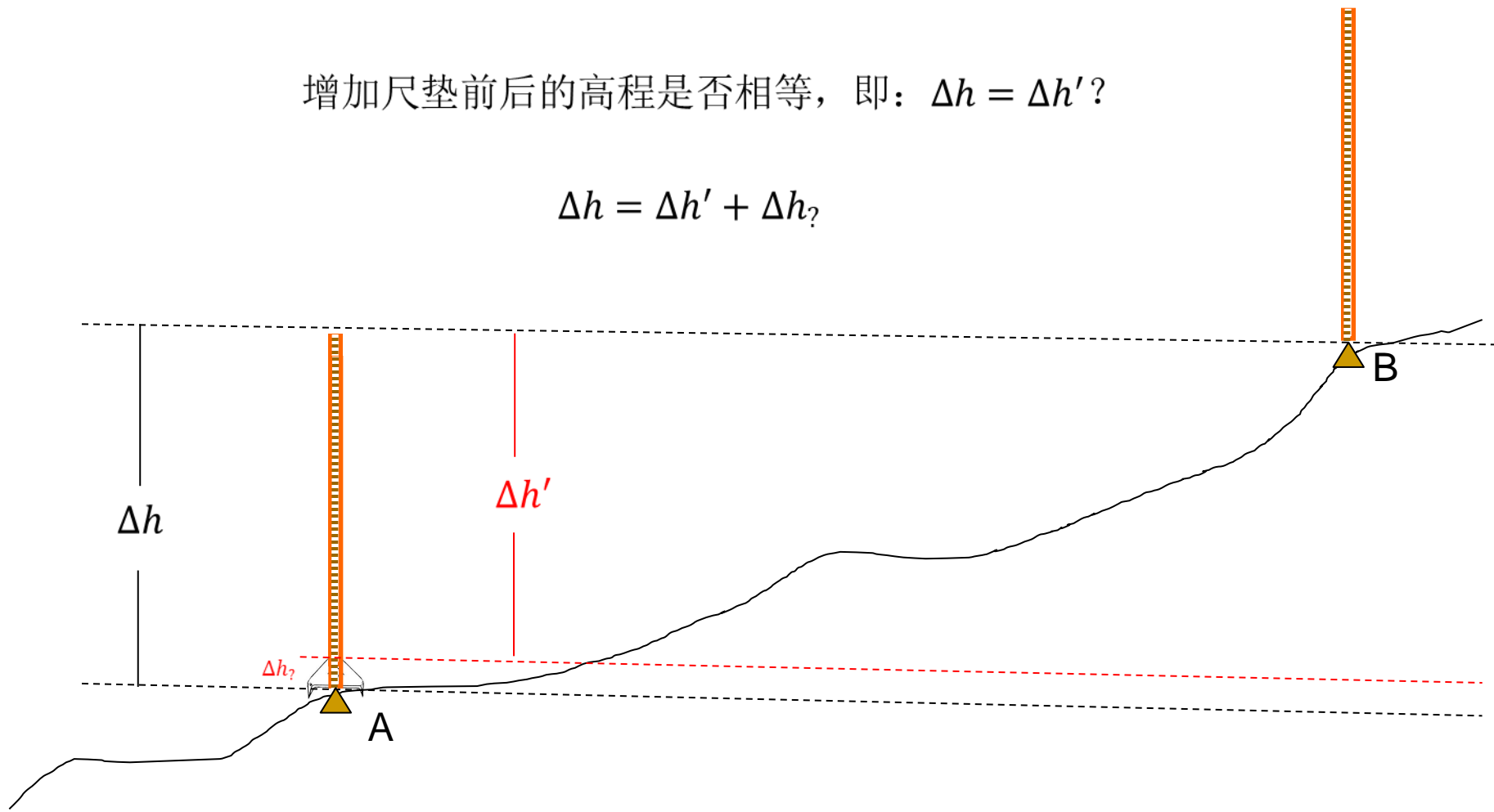
转点变动时的真实值： $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_? + \Delta h'_2$



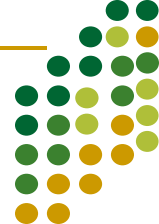
问题3：为什么已知点和待求点不能放尺垫

增加尺垫前后的高程是否相等，即： $\Delta h = \Delta h'$ ？

$$\Delta h = \Delta h' + \Delta h_?$$



四、水准仪的使用

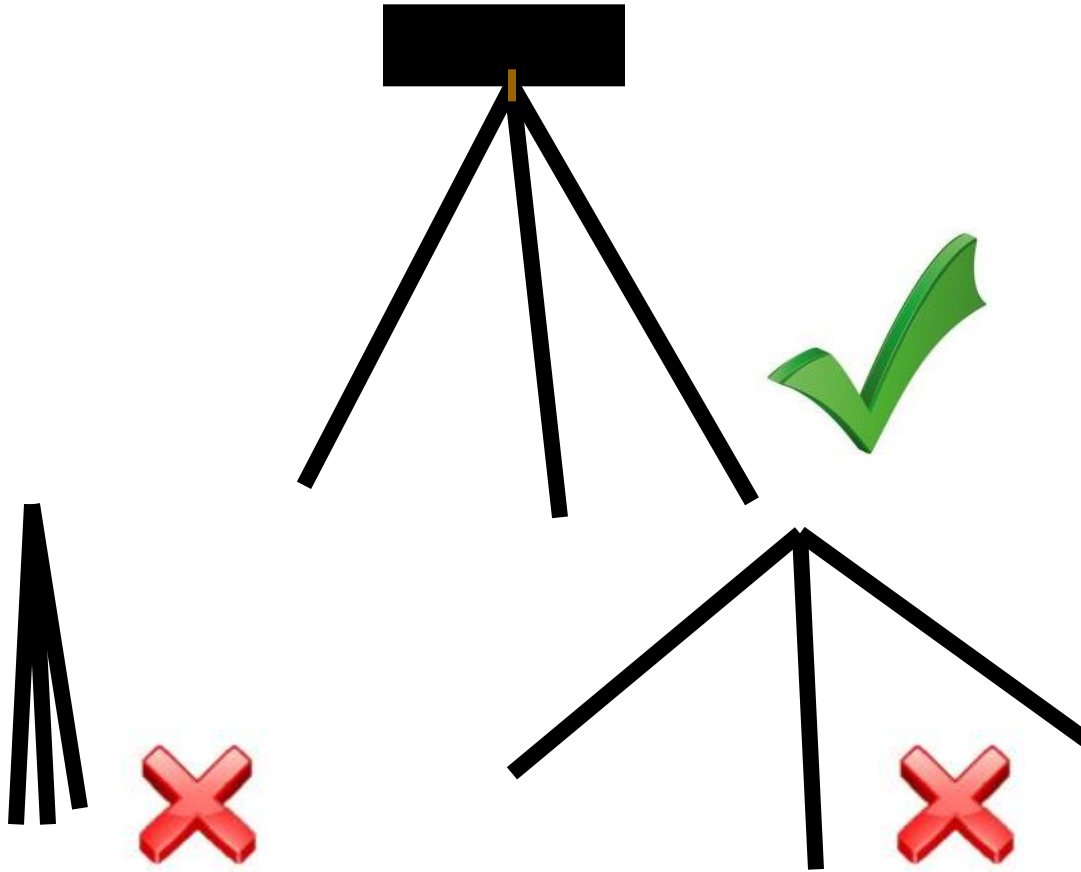


使用水准仪进行高差测量的步骤

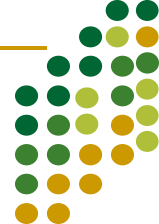
1. 安置：安置三脚架和水准仪
2. 粗平：使圆水准器气泡居中
3. 瞄准：粗瞄和精瞄
4. 精平：使长水准管气泡居中
5. 读数：用中丝读数



1、安置：安置三脚架和水准仪



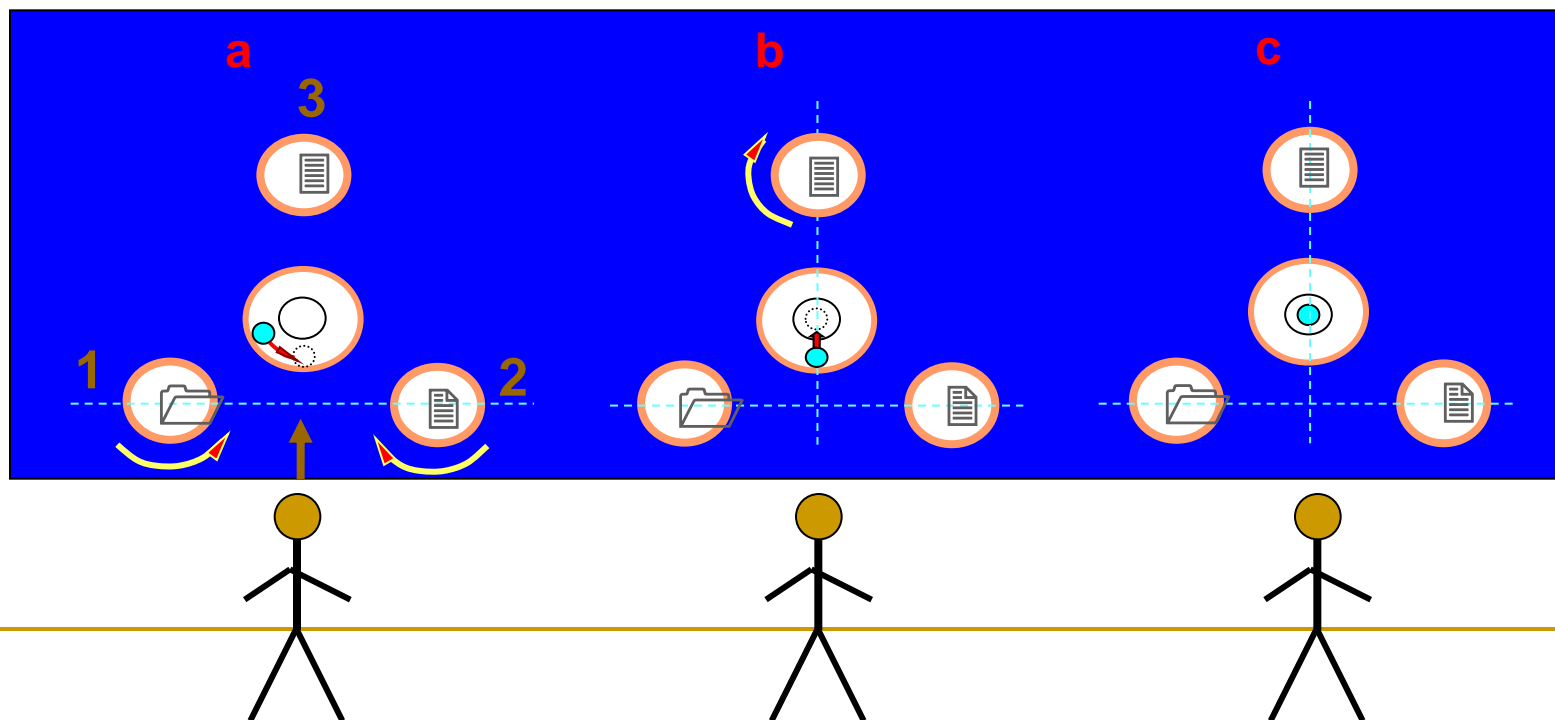
2、粗平：调节脚螺旋，使圆水准器气泡居中



目的：使仪器竖轴铅直

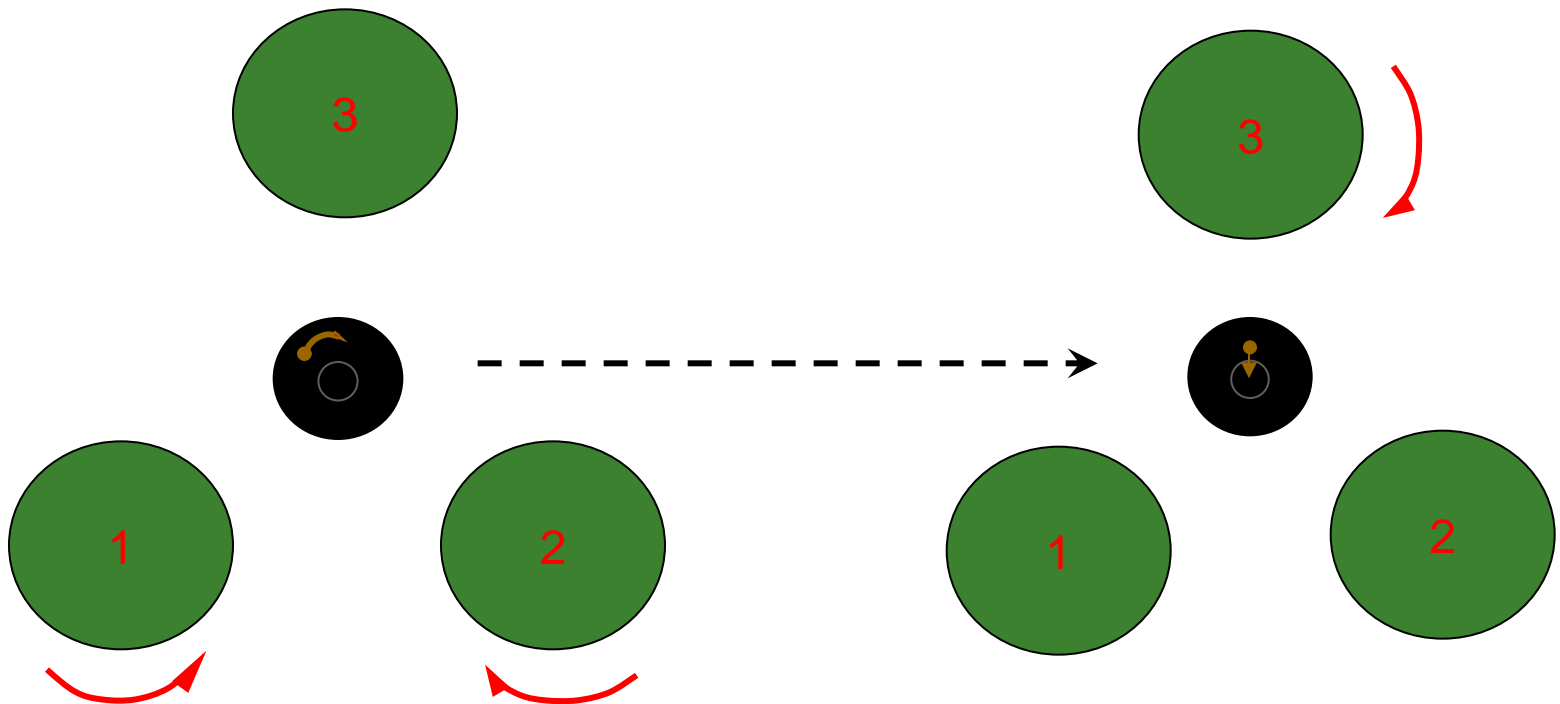
方法：对向转动脚螺旋1、2—使气泡移至1、2方向中间—转动脚螺旋3，使气泡居中。

遵循左手大姆指法则：气泡移动的方向始终和左手大姆指移动的方向一致。

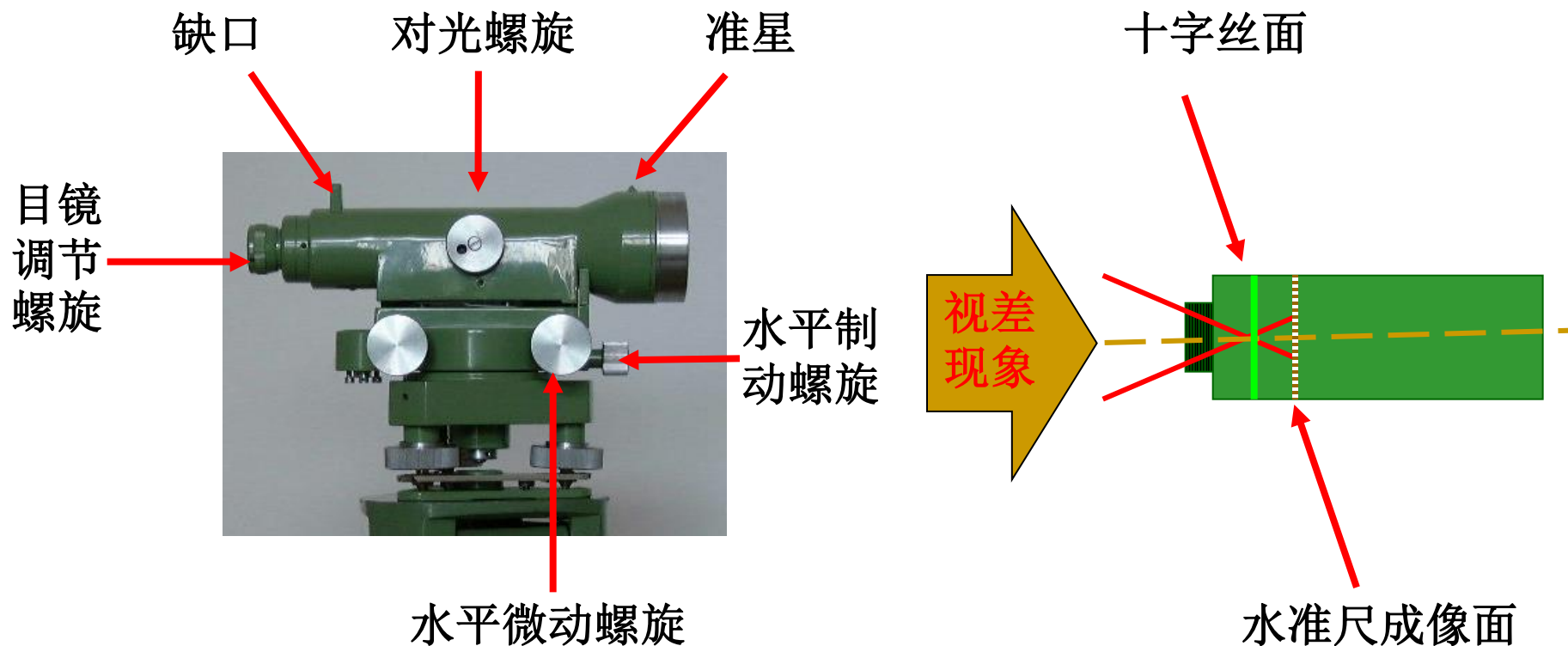




气泡移动方向与左手大拇指移动方向相同



3、照准：粗瞄、对光、精瞄和消除视差



视差的定义

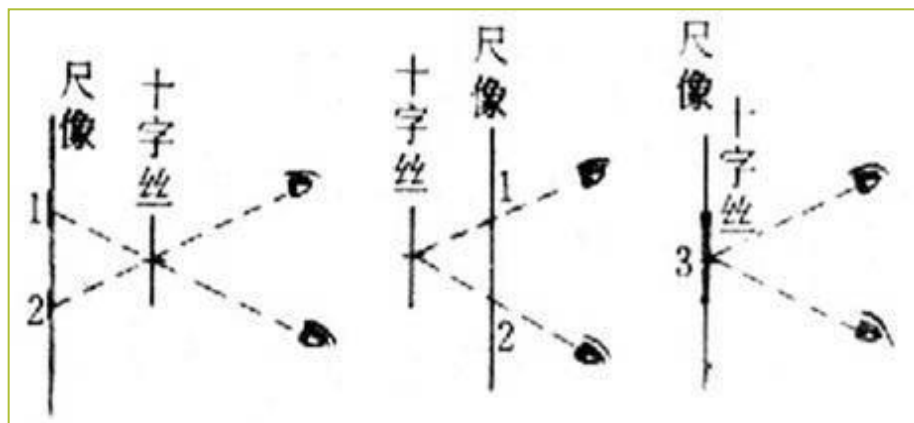
当观测时把眼睛稍作上下移动，如果尺像与十字丝有相对的移动，即读数有改变，这一现象叫视差。

产生视差的原因

目标像平面与十字丝平面不重合。

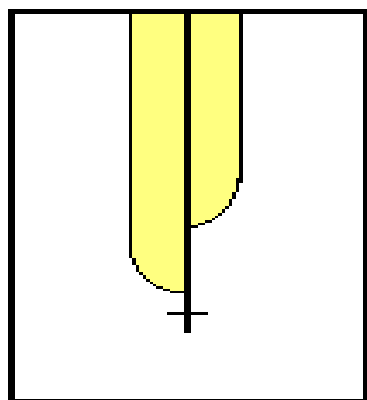
消除视差的方法

首先转动**目镜调焦螺旋**使十字丝清晰，转动**望远镜**瞄准水准尺，再转动**物镜调焦螺旋**使目标清晰。反复交替调节目镜和物镜对光螺旋，直到不再出现尺像和十字丝有相对移动为止。

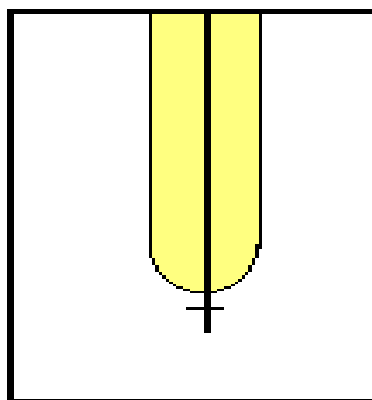


视差必须消除！！

4、精平：使长水准管气泡居中

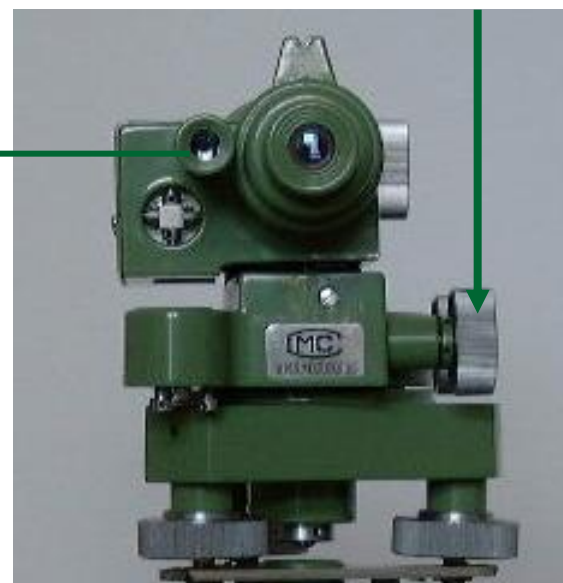


(a)

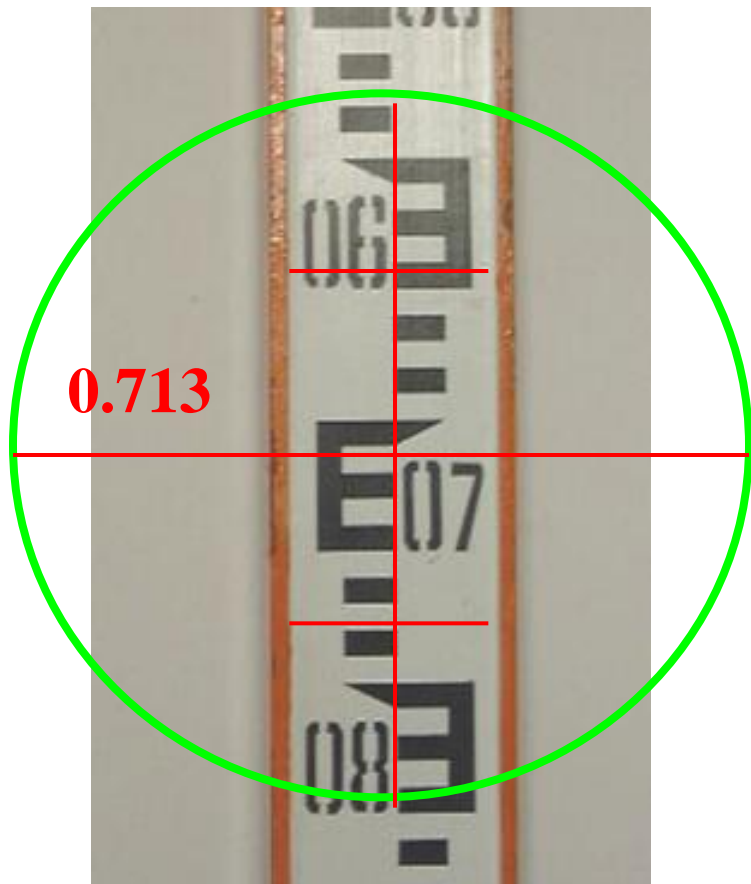


(b)

微倾螺旋



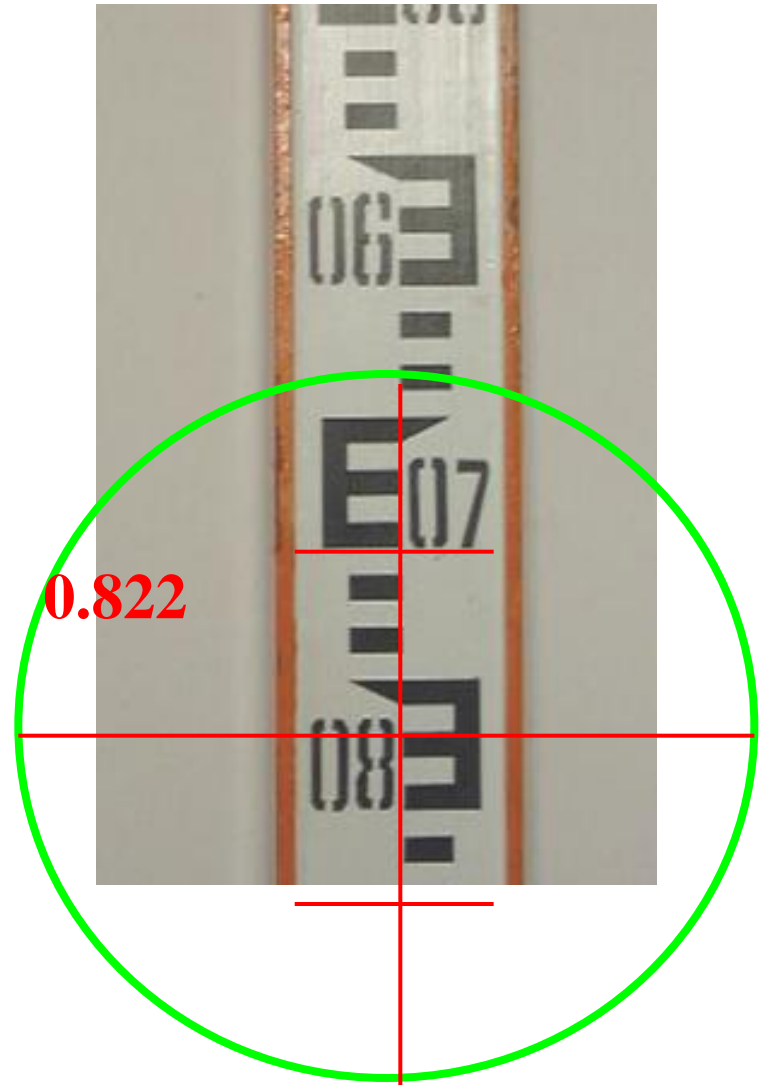
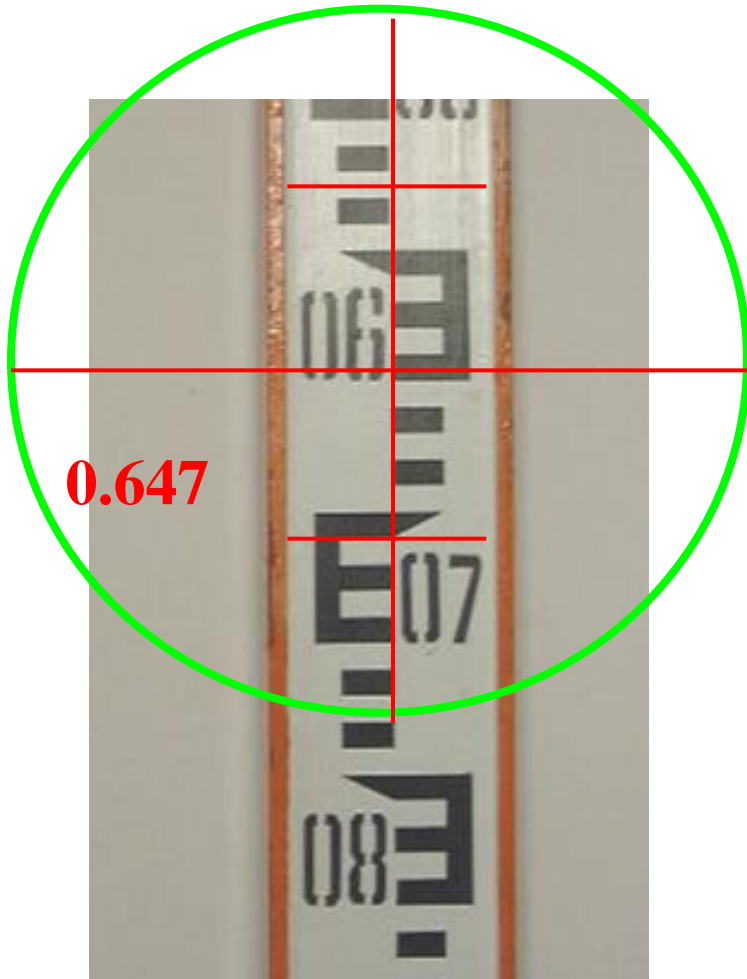
5、读数：用中丝读数



读数时注意事项：

1. 在进行另一根标尺读数前，应使**符合水准气泡重新居中**。自动安平水准仪不需要进行精平。
2. 读数在尺面上按由**小到大的方向**，读出米、分米、厘米、并仔细**估读毫米数**。
3. 仪器若成倒像的，从上往下读；若成正像，即从下往上读

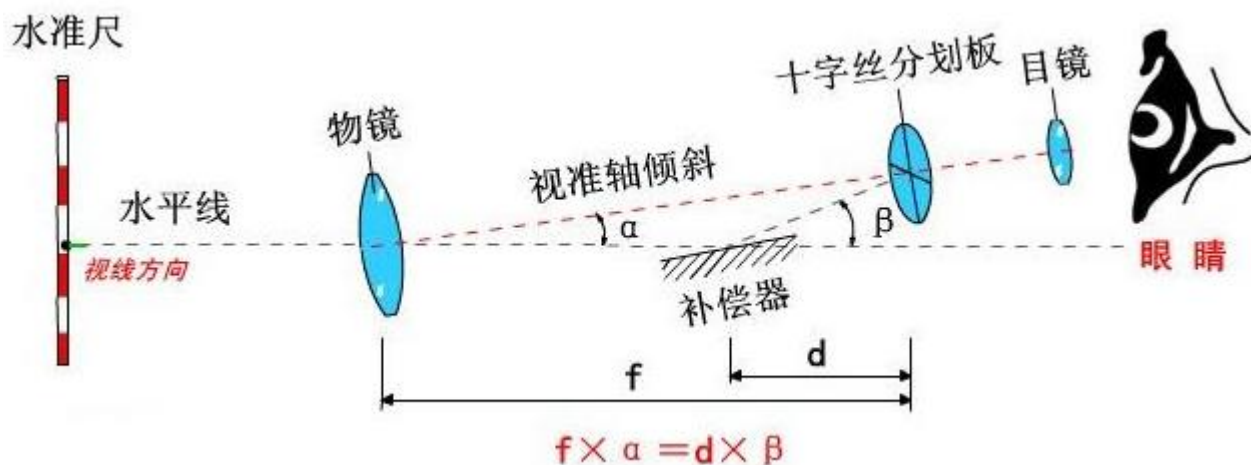
水准仪读数实例:



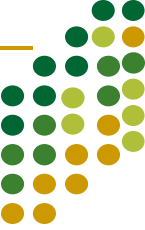
五、自动安平水准仪

定义

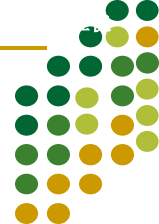
是指在一定的竖轴倾斜范围内，利用补偿器自动获取视线水平时水准标尺读数的水准仪。是通过安置一“补偿器”实现自动安平。



自动安平水准仪视线安平原理



六、电子水准仪-数字水准仪



- 具有自动安平功能。
- 自动显示水平视线读数和视距。
- 通过物镜获取水准尺图象，通过仪器的处理系统，将图象信息转换成数字显示。
- 能与计算机实现数据通讯。
- 基本避免了人为的观测误差（视差、水准器精平误差、瞄准误差、估读数误差）。

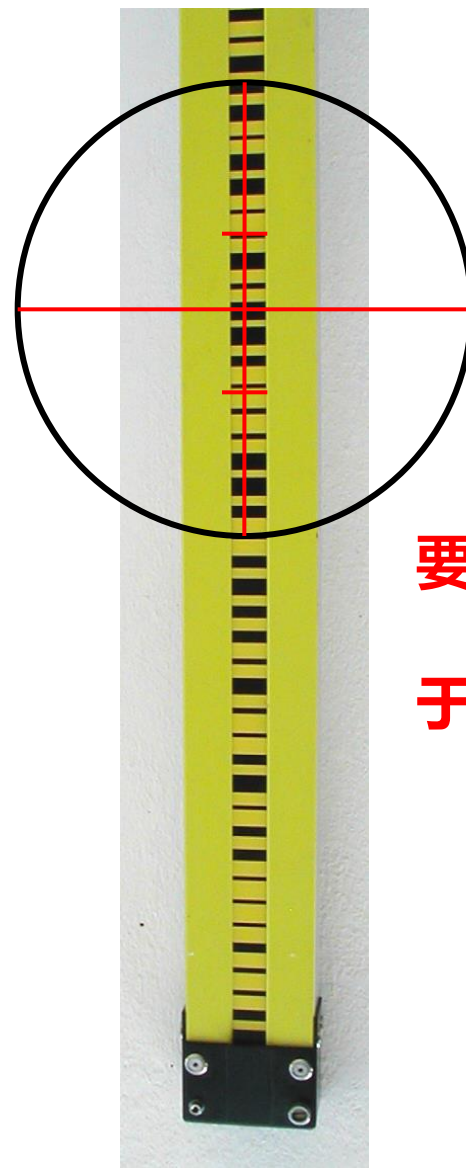
电子水准仪图

条码尺

测量键



电子水准仪的瞄准



**要求竖丝位
于条码带上**

七、水准仪认识与实习（实验一）



➤ 实验目的

- (1) 了解DS3型水准仪的基本构造，认清主要部件的名称、性能和作用。
- (2) 练习水准仪的正确安置、照准和读数。

➤ 方法和步骤：

- (1) 安置仪器
 - (2) 认识仪器部件
 - (3) 粗略整平、精确整平
 - (4) 水准仪操作
 - (5) 观测和读数练习
-

视差的定义

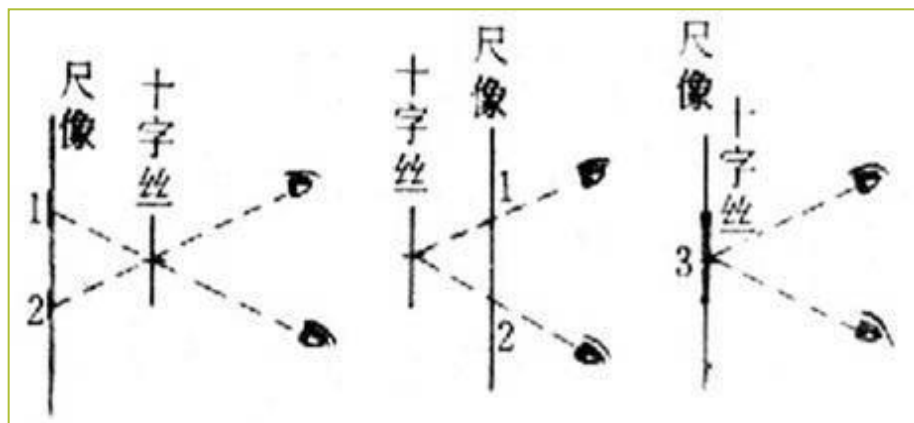
当观测时把眼睛稍作上下移动，如果尺像与十字丝有相对的移动，即读数有改变，这一现象叫视差。

产生视差的原因

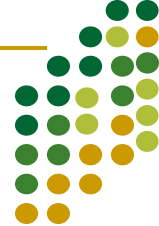
目标像平面与十字丝平面不重合。

消除视差的方法

首先转动**目镜调焦螺旋**使十字丝清晰，转动**望远镜**瞄准水准尺，再转动**物镜调焦螺旋**使目标清晰。反复交替调节目镜和物镜对光螺旋，直到不再出现尺像和十字丝有相对移动为止。

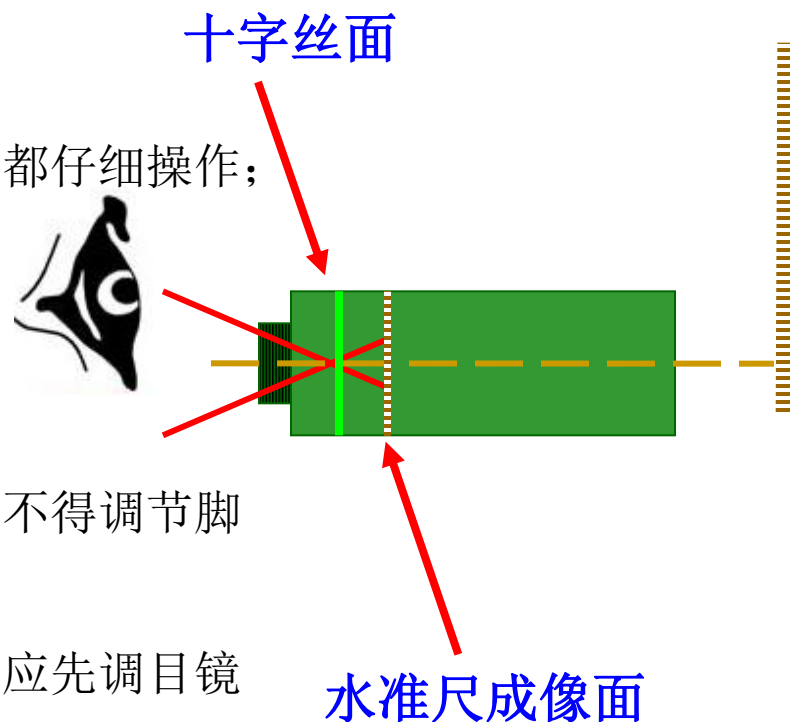


视差必须消除！！



水准仪认识与实习总结

1. 大部分同学提前到达;
2. 仪器领取的规范和秩序性还需要提高;
3. 三脚架的摆放存在问题;
4. 实习做的非常认真, 多个小组每一位同学都仔细操作;
5. 仪器的保护问题还有欠缺
6. 十字丝划板上十字丝消失问题
7. 读数时手扶仪器或者脚架问题
8. 换读水准尺时符合水准应该重新整平, 但不得调节脚螺旋
9. 如何发现和消除视差, 消除视差的顺序: 应先调目镜再调物镜





复习一

使用水准仪进行高差测量的步骤

1. 安置：安置三脚架和水准仪
2. 粗平：使圆水准器气泡居中
3. 瞄准：粗瞄和精瞄（消除视差）
4. 精平：使长水准管气泡居中
5. 读数：用中丝读数

第二章 水准测量



第一节 水准测量原理



第二节 水准仪及其使用



第三节 水准测量方法



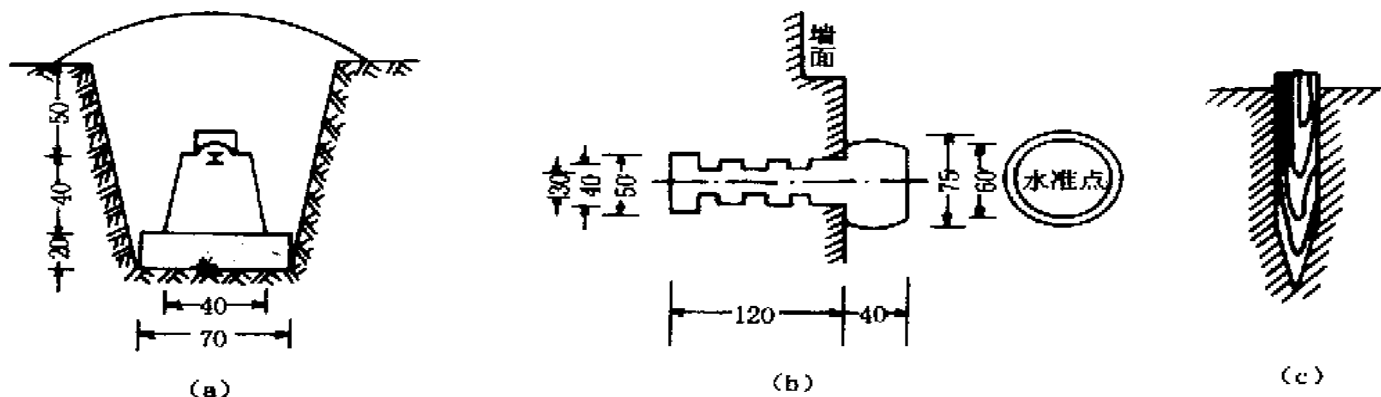
第四节 水准仪的检查和校正



第五节 水准测量误差分析

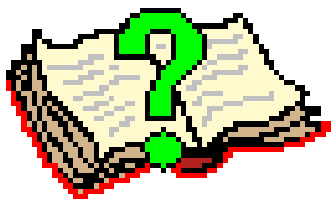
一、水准点

事先埋设标志在地面上，用水准测量方法建立的高程控制点(Bench Mark), 常以BM表示。水准点分为永久性和临时性两种，其顶部通常为凸起的半球面，用于放置水准尺。

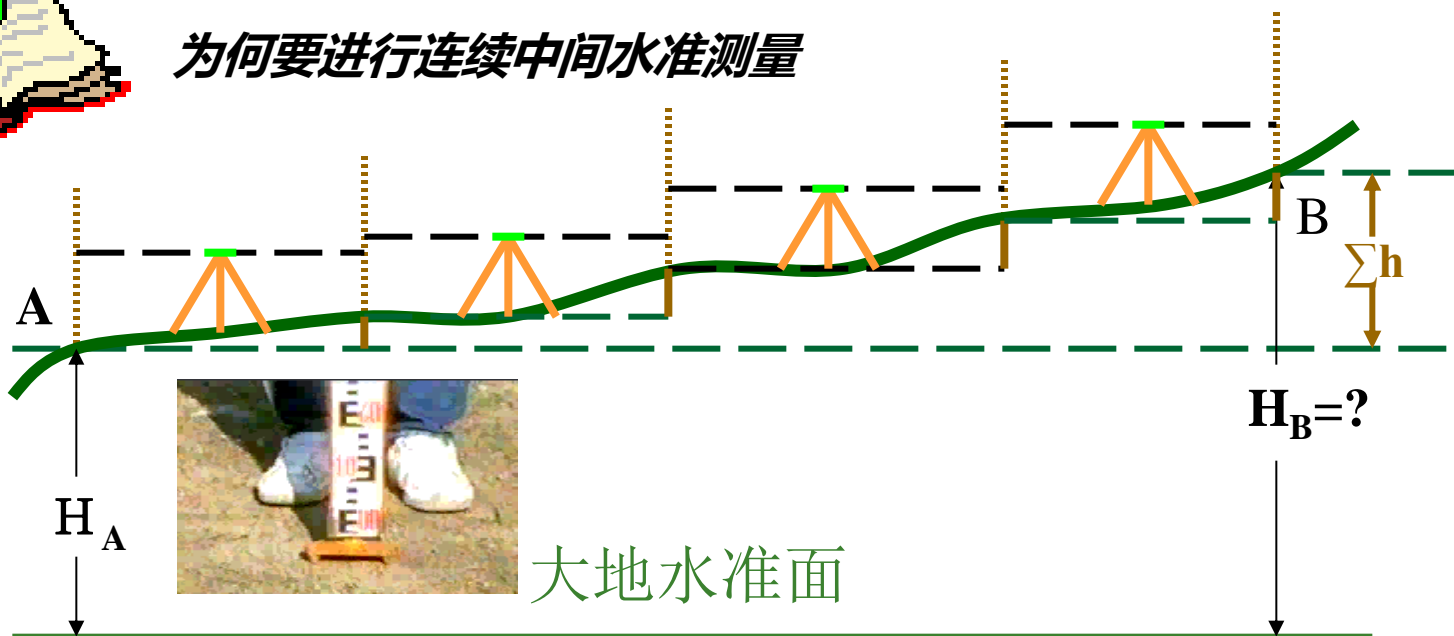


水准点选点要求：设在土质坚硬、稳定，能保存，便于引测、寻找且不易遭到破坏的地方，选点后进行编号，绘制“点之记”。

连续中间水准测量的实施



为何要进行连续中间水准测量



• 每测站高差:

$$h_i = a_i - b_i$$

• 各测站高差之和:

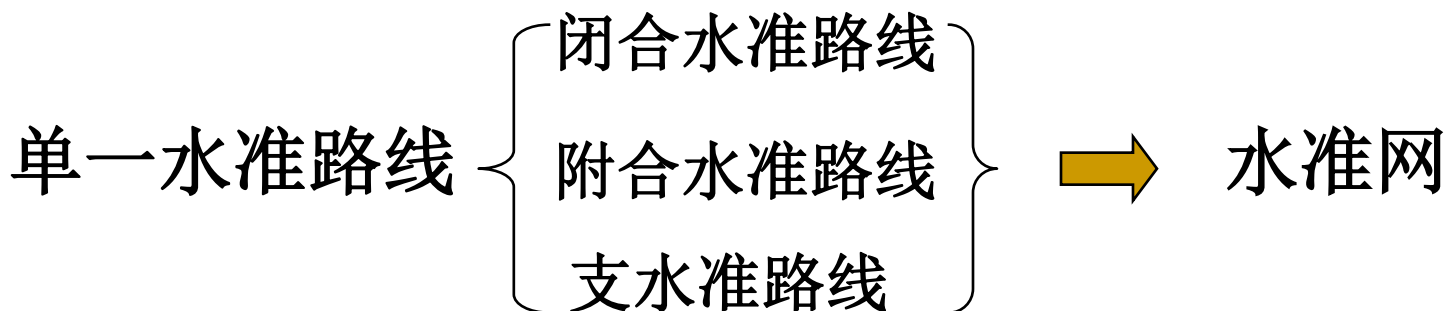
$$h_{AB} = \sum h_i = \sum a_i - \sum b_i$$

• 待定点B点高程:

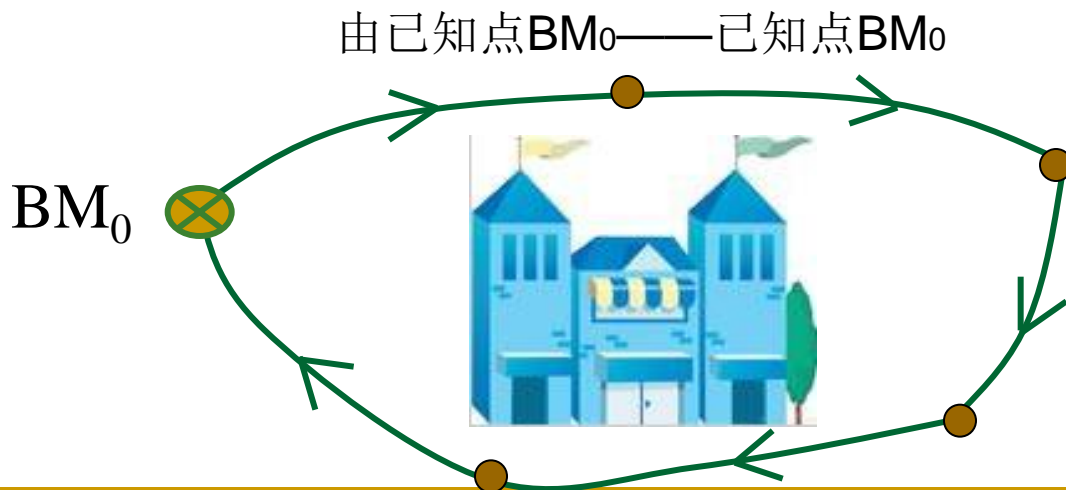
$$H_B = H_A + h_{AB}$$

二、水准路线布设形式

水准路线布设形式

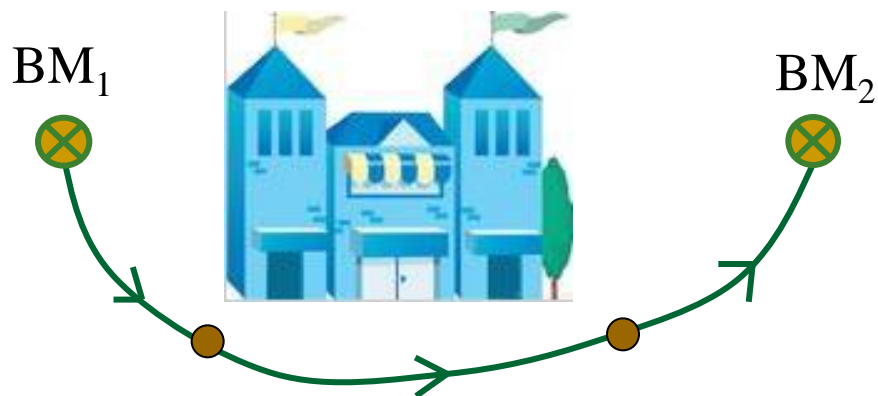


水准路线布设形式1-闭合水准路线



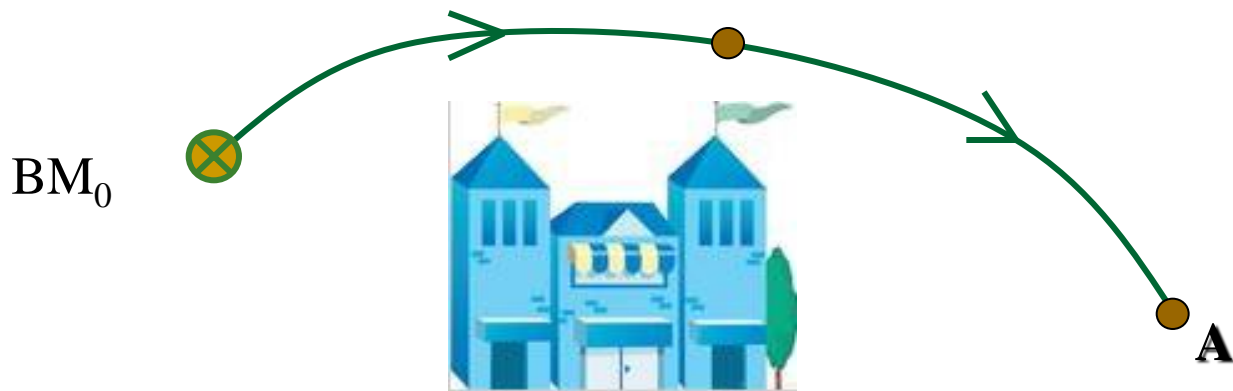
水准路线布设形式2-符合水准路线

由已知点BM1——已知点BM2



水准路线布设形式3-支水准路线

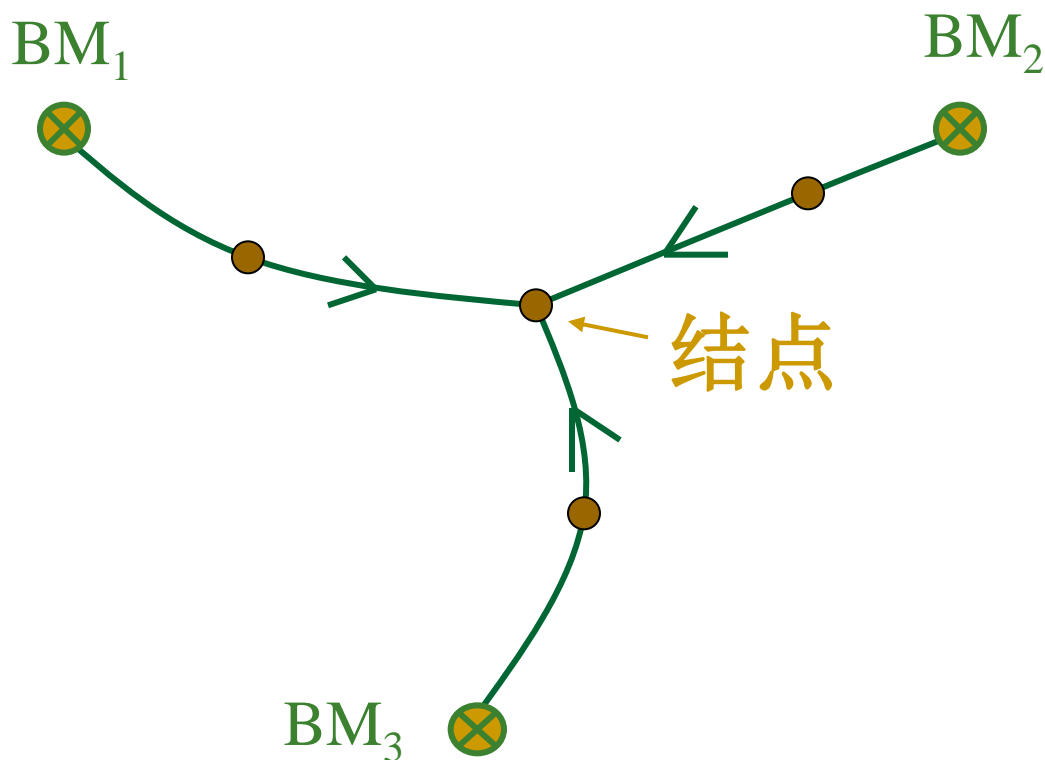
由已知点BM0——某一特定水准点A

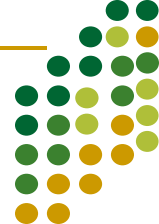


水准路线布设形式4-水准网

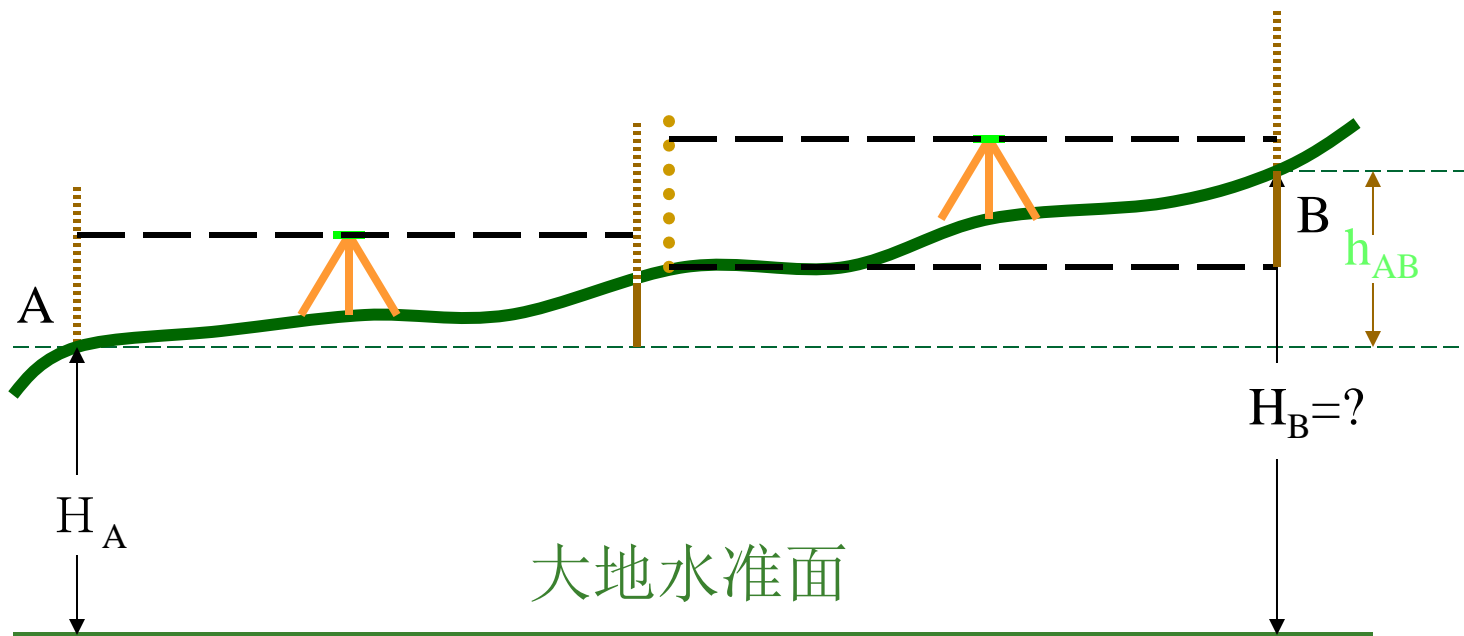


由几条单一的水准路线彼此相连成网状，这种形式的水准路线称为水准网。水准网中单一的水准路线之间相互连接的点称为结点

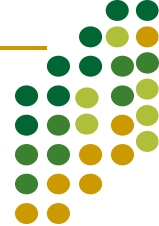




$$\sum h \neq h_{AB}$$



二、水准测量的检核



1测站检核

常用的检核方法有两次仪器高法和双面尺法两种：

(1)两次仪器高法

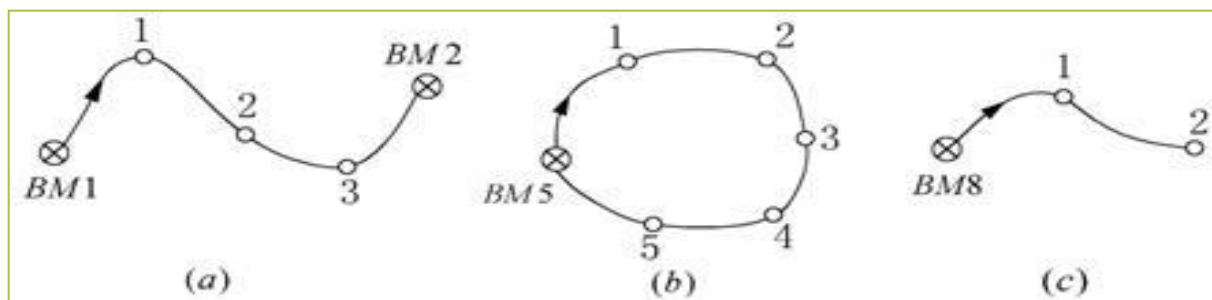
即测得第一次高差后，改变仪器高度约10cm，再次测定高差。若两次测得的高差之差未超过5mm，则取其平均值作为该测站的观测高差。否则需重测。

(2)双面尺法

在一个测站上，仪器高度不变，分别用双面水准尺的黑面和红面两次测定高差。若两次测得高差之差未超过5mm（四等水准），同时每一根尺子红黑两面的读数差与常数差不超过3mm，则取其平均值作为该测站的高差。否则需要重测。

2路线检核 (成果检核)

水准路线检核，即将测得结果与理论值比较，来判断观测精度是否符合要求。实际测量得到的该段高差与该段高差的理论值之差称为高差闭合差，用 f_h 表示。检核方法一般有以下三种：



1. 附合水准路线: $\sum h_{\text{理}} = H_{\text{终}} - H_{\text{始}}$ $f_h = \sum h_{\text{测}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}})$

2. 闭合水准路线: $\sum h_{\text{理A}} = 0$ $f_h = \sum h_{\text{测}}$

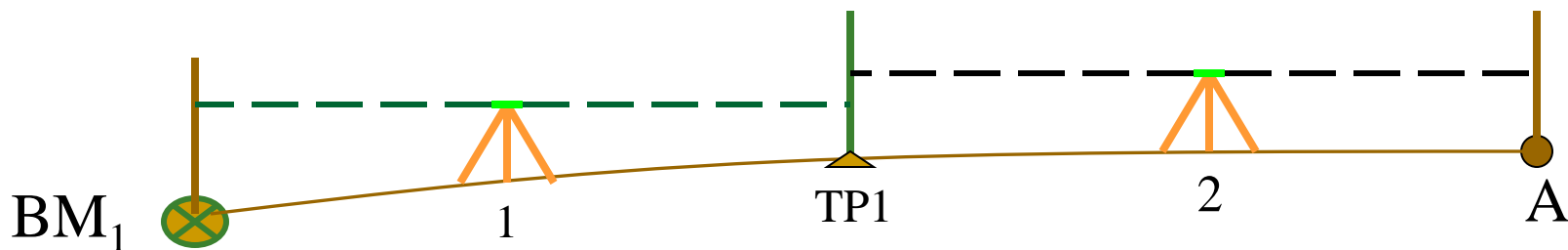
3. 支水准路线: $f_h = \sum h_{\text{往}} - \sum h_{\text{返}}$

普通水准测量线路闭合差允许值

$$f_{h\text{允}} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm} \quad (\text{平坦地区})$$

$$f_{h\text{允}} = \pm 10 \sqrt{n} \text{ mm} \quad (\text{丘陵地区})$$

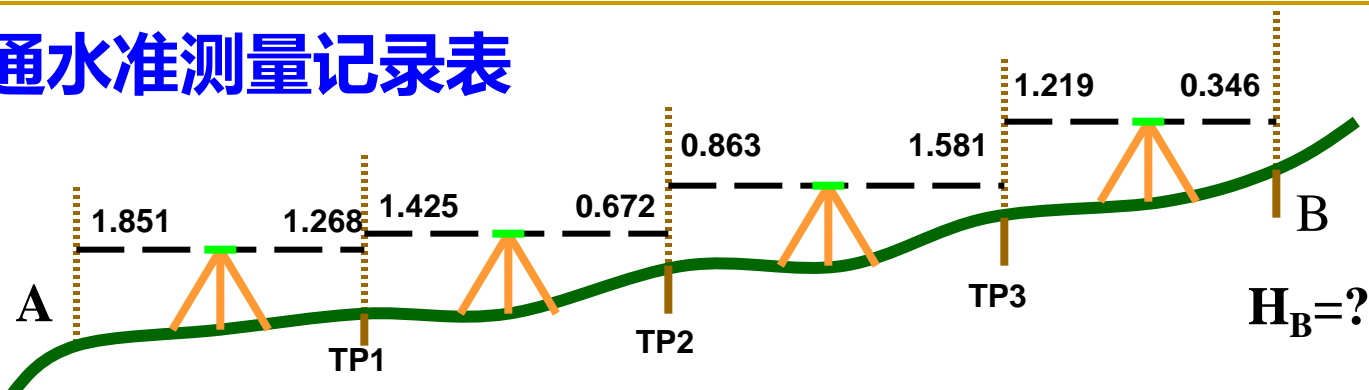
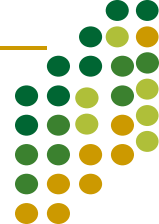
三、水准测量的外业实施



测站	测点	后视读数	前视读数	高差		高程
1	BM1	1.563		+0.577		19.431
	TP1		0.986			
2	TP1	1.762			-0.066	
	A		1.828			
校核	Σa=3.325 Σb=2.814 Σa-Σb=+0.511 Σ _h = +0.511					



普通水准测量记录表



测站	测点	后视读数	前视读数	高差		高程
				+	-	
1	A	1.851		0.583		50.000
	TP1		1.268			50.583
2	TP1	1.425		0.753		51.336
	TP2		0.672			
3	TP2	0.863			0.718	50.618
	TP3		1.581			
4	TP3	1.219		0.873		51.491
	B		0.346			
校核	$\sum a= 5.358$		$\sum b= 3.867$			
	$\sum a - \sum b = 1.491$		$\sum h= 1.491$			



普通水准测量注意事项



- (1)观测前对所用仪器和工具，必须认真进行检验和校正。
- (2)在野外测量过程中，水准仪及水准尺应尽量安置在**坚实**的地面上。三脚架和尺垫要**踩实**，以防仪器和尺子下沉。
- (3)前、后视距离应**尽量相等**，以消除视准轴不平行水准管轴的误差和地球曲率与大气折光的影响。
- (4)前、后视距离不宜太长，一般**不超过100m**。视线高度应使上、中、下三丝都能在水准尺上读数以减少大气折光影响。
- (5)水准尺必须扶直**不得倾斜**。使用过程中，要经常检查和**清除尺底泥土**。
- (6)尺子稳定时读书，读完数后应**再次检查气泡**是否仍然吻合，否则应重读。
- (7)记录员要**复诵读数**，以便核对。
- (8)在烈日下作业要**撑伞遮住阳光**避免气泡因受热不均而影响其稳定性。

四、水准测量的内业计算步骤



1、计算高差闭合差和允许闭合差

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

闭合路线 $f_h = \sum h_{\text{测}}$

支水准路线 $f_h = h_{\text{往}} + h_{\text{返}}$

□ 线路闭合差允许值

$f_{h\text{允}} = \pm 40 \sqrt{L} \text{ mm}$ (平坦地区)

$f_{h\text{允}} = \pm 10 \sqrt{n} \text{ mm}$ (丘陵地区)



2、满足 $f_h \leq f_{h允}$ 计算高差改正数

$$\delta_i = -f_h \times L_i / [L]$$

$[L]$ ——线路总长;
 L_i ——第 i 段长度

$$\delta_i = -f_h \times n_i / [n]$$

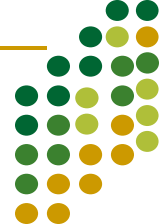
$[n]$ ——测站总数;
 n_i ——为第 i 测段测站数。
 δ_i ——各测段高差改正

3、计算改正后高差

$$h'_{i,i+1} = h_{i,i+1} + \delta_i$$

4、计算各点高程

$$h_{i+1} = h_i + h'_{i,i+1}$$



例1：水准测量的内业计算



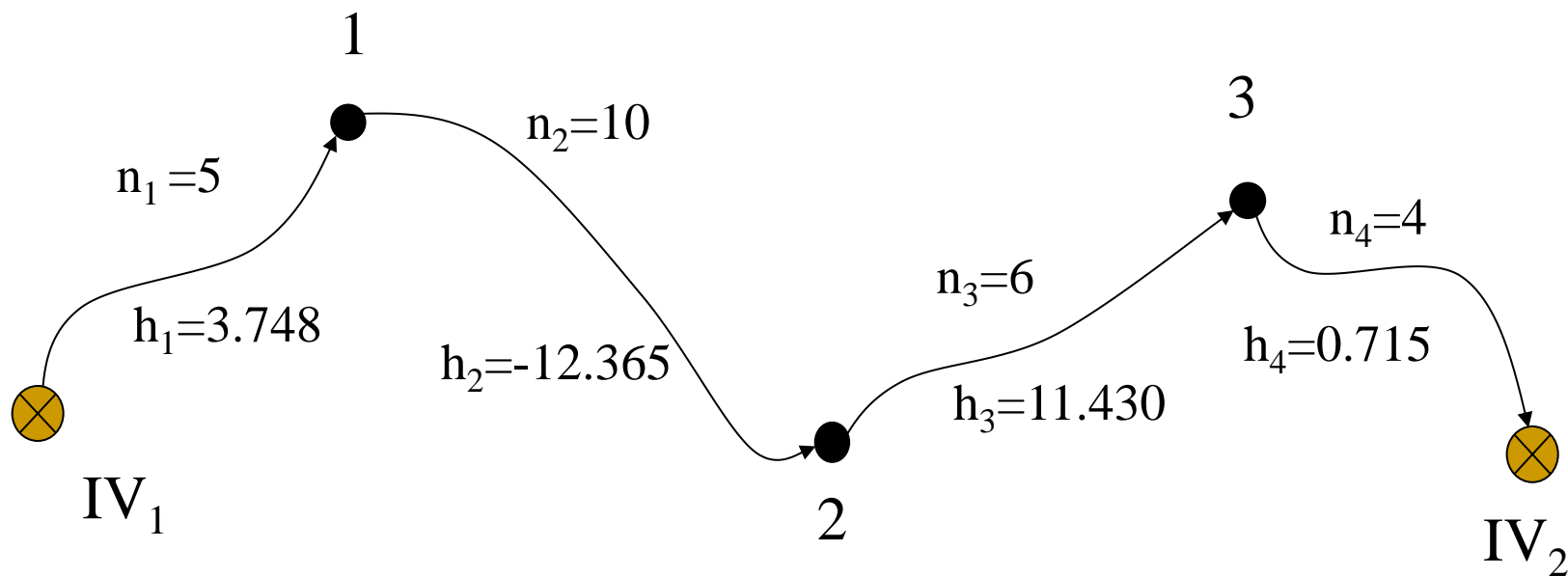
点号	站数	观测值	改正数	改正后高差	高程
BM ₁					19.431
A	2	+0.511	+0.004	+0.515	19.946
B	4	+2.791	+0.008	+2.799	22.745
BM ₂	4	-1.632	+0.008	-1.624	21.121
Σ	10	+1.670	+0.020	+1.690	

$$f_h = 1.670 - (21.121 - 19.431) = -20(\text{mm})$$

$$f_{h\text{允}} = \pm 31(\text{mm})$$

例2：水准测量的内业计算

例：已知水准点 IV_1 的高程 $H_{\text{始}} = 21.453 \text{ m}$ ， IV_2 点的高程 $H_{\text{终}} = 25.006 \text{ m}$ ，求各点平差后高程。





1、高差闭合差的计算

$$\begin{aligned} f_h &= \sum h_{\text{测}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}}) \\ &= 3.528 - (25.006 - 21.453) = -0.025 \text{ m} \end{aligned}$$

$$f_{h\text{允}} = \pm 10\sqrt{n} = \pm 50 \text{ mm} , \quad \text{合格。}$$

2、高差闭合差的调整

$$\delta_i = -f_h \times n_i / [n]$$

$$\delta_1=0.005 \quad \delta_2=0.010 \quad \delta_3=0.006 \quad \delta_4=0.004$$

$$\text{检核计算: } \sum \delta_i = -f_h$$



3、计算各点改正后的高差

$$h_1' = h_1 + \delta_1 = 3.753$$

$$h_2' = h_2 + \delta_2 = -12.355$$

$$h_3' = h_3 + \delta_3 = 11.436$$

$$h_4' = h_4 + \delta_4 = 0.719$$

4、计算各点的高程

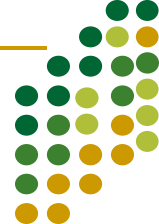
$$H_{IV1} = 21.453 \text{ m}$$

$$H_1 = H_{IV1} + h_1' = 25.206 \text{ m}$$

$$H_2 = H_1 + h_2' = 12.851 \text{ m}$$

$$H_3 = H_2 + h_3' = 24.287 \text{ m}$$

$$H_{IV2} = H_3 + h_4' = 25.006 \text{ m} = \text{已知高程}$$

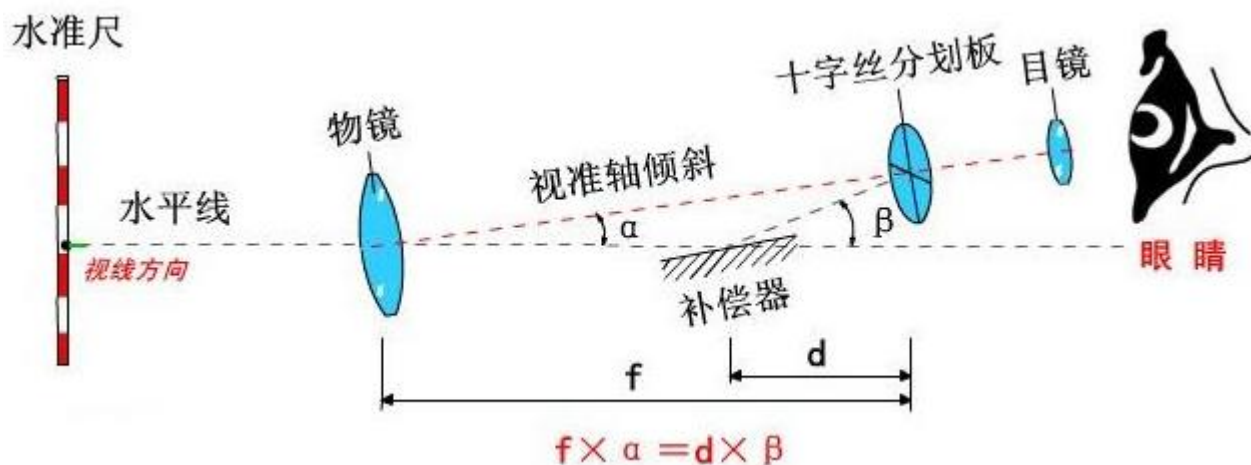


普通水准测量录像

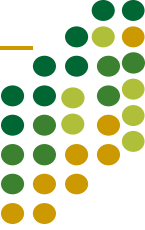
五、自动安平水准仪

定义

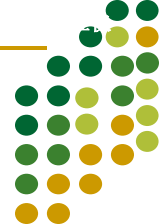
是指在一定的竖轴倾斜范围内，利用补偿器自动获取视线水平时水准标尺读数的水准仪。是通过安置一“补偿器”实现自动安平。



自动安平水准仪视线安平原理



六、电子水准仪-数字水准仪



- 具有自动安平功能。
- 自动显示水平视线读数和视距。
- 通过物镜获取水准尺图象，通过仪器的处理系统，将图象信息转换成数字显示。
- 能与计算机实现数据通讯。
- 基本避免了人为的观测误差（视差、水准器精平误差、瞄准误差、估读数误差）。

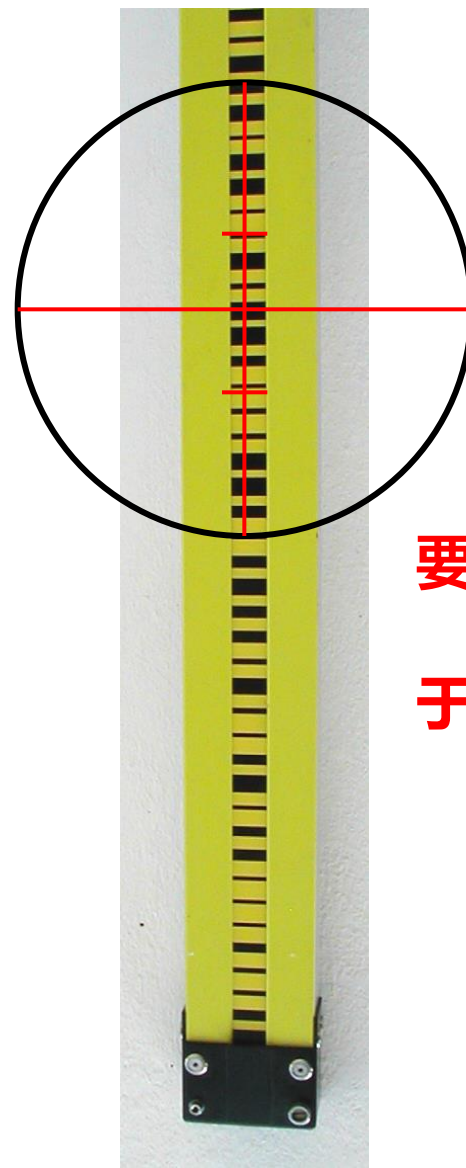
电子水准仪图

条码尺

测量键

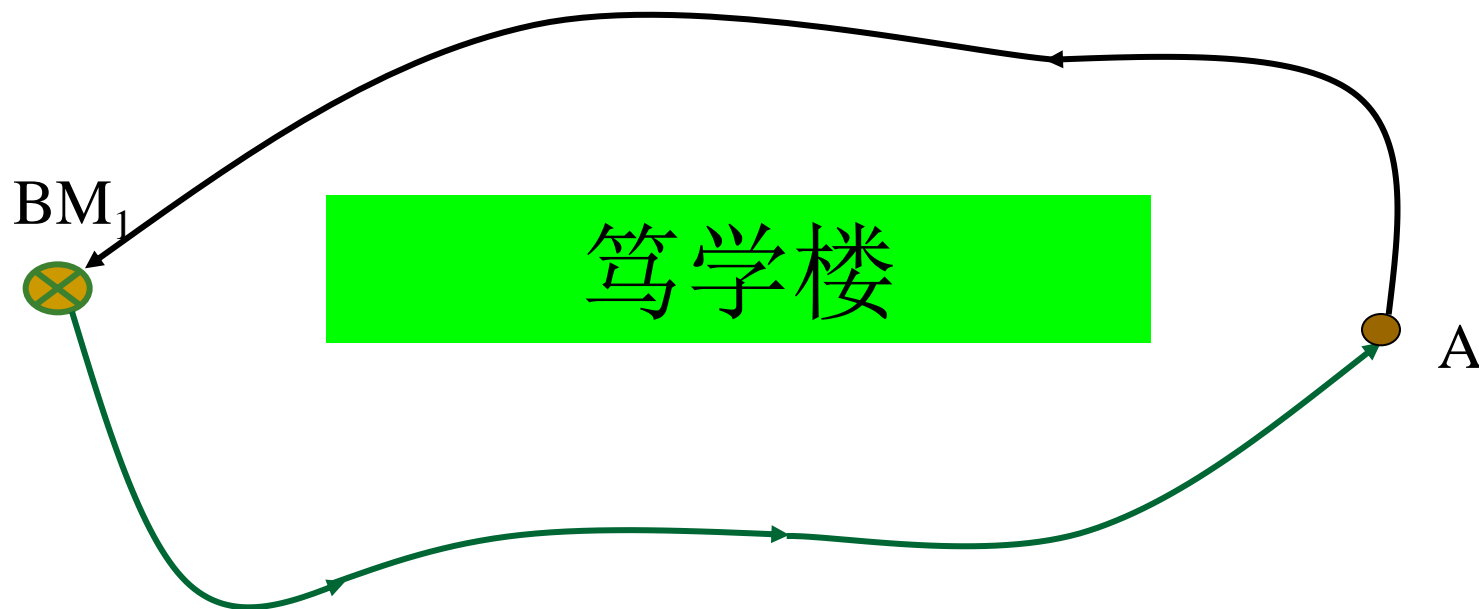


电子水准仪的瞄准



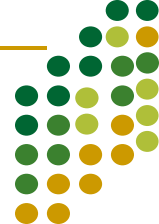
**要求竖丝位
于条码带上**

五、普通水准测量实习（实验二）



已知： $H_{BM_1}=19.431\text{ m}$ 测定A点的高程。

外业几点注意事项



- 架仪器要注意前后视距大致相等
- 视线要小于30米
- 尺垫只在转点处使用
- 读数前要消除视差，并精平
- 用中丝读数
- 后视完毕转向前视，一定要重新精平再读数（不能动脚螺旋）
- 测站保证偶数个
- 每人都制作ppt，汇总到学委，上课汇报



第二章 水准测量



第一节 水准测量原理



第二节 水准仪及其使用



第三节 水准测量方法



第四节 水准仪的检查和校正



第五节 水准测量误差分析

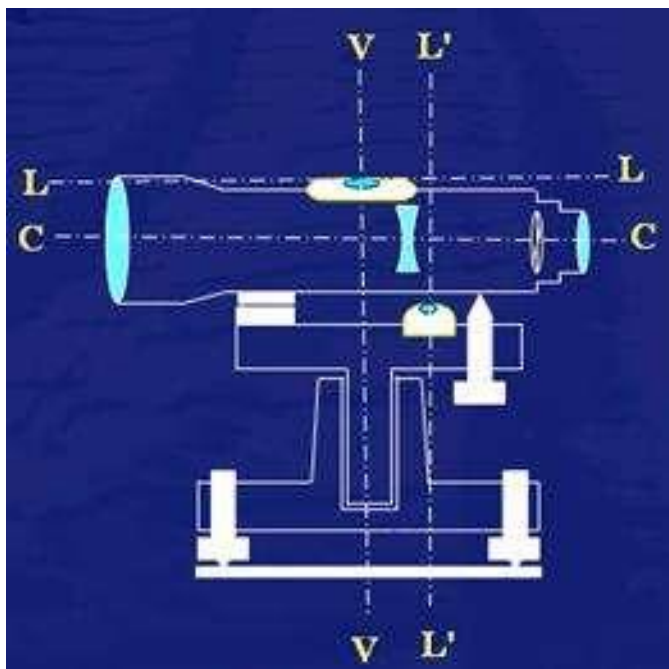
水准仪的主要几何轴线及其关系

圆水准轴 $L'L'$

长水准管轴 LL

视准轴 CC

竖轴 VV



轴线应满足的条件:

- 1) 圆水准器轴平行于仪器纵轴 $LL \parallel VV$
- 2) 水准管轴平行于视准轴 $LL \parallel CC$
- 3) 视准轴垂直于竖轴 $CC \perp VV$
- 4) 十字丝的横丝垂直于纵轴

水准仪的主要几何轴线及其关系



检校目的

使仪器的各轴系满足应有的几何条件。

检校内容

圆水准器的检校

望远镜十字丝横丝的检校

长水准管的检校



第二章 水准测量



第一节 水准测量原理



第二节 水准仪及其使用



第三节 水准测量方法



第四节 水准仪的检查和校正



第五节 水准测量误差分析

水准测量的误差来源及注意事项



仪器误差

误差源

解决方法

i角误差

前后视距尽量相等

调焦误差

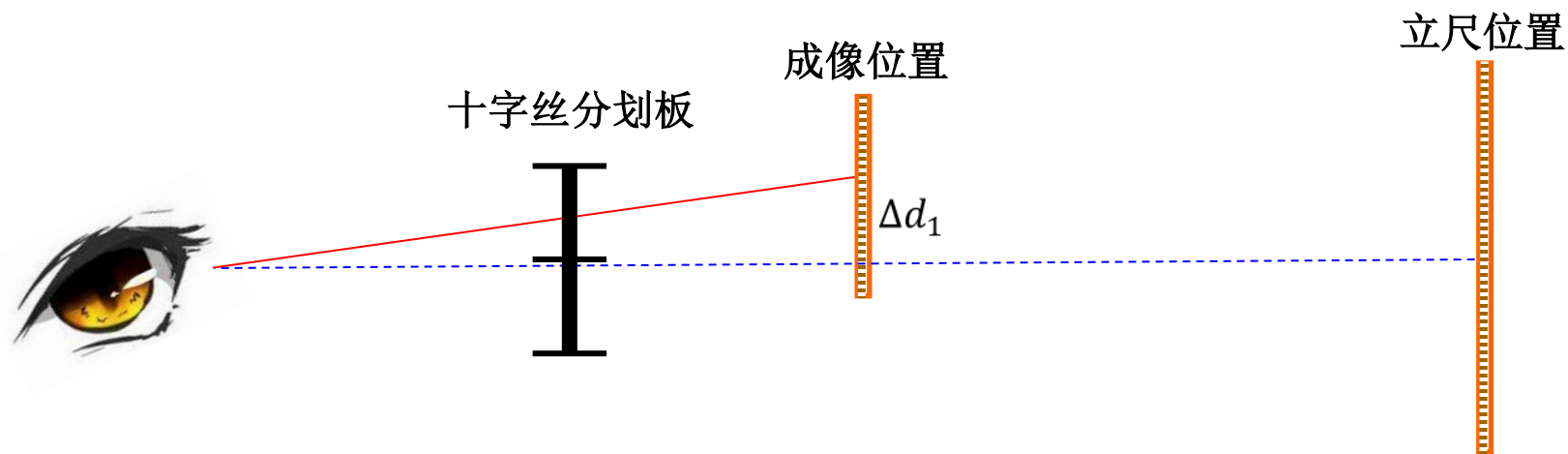
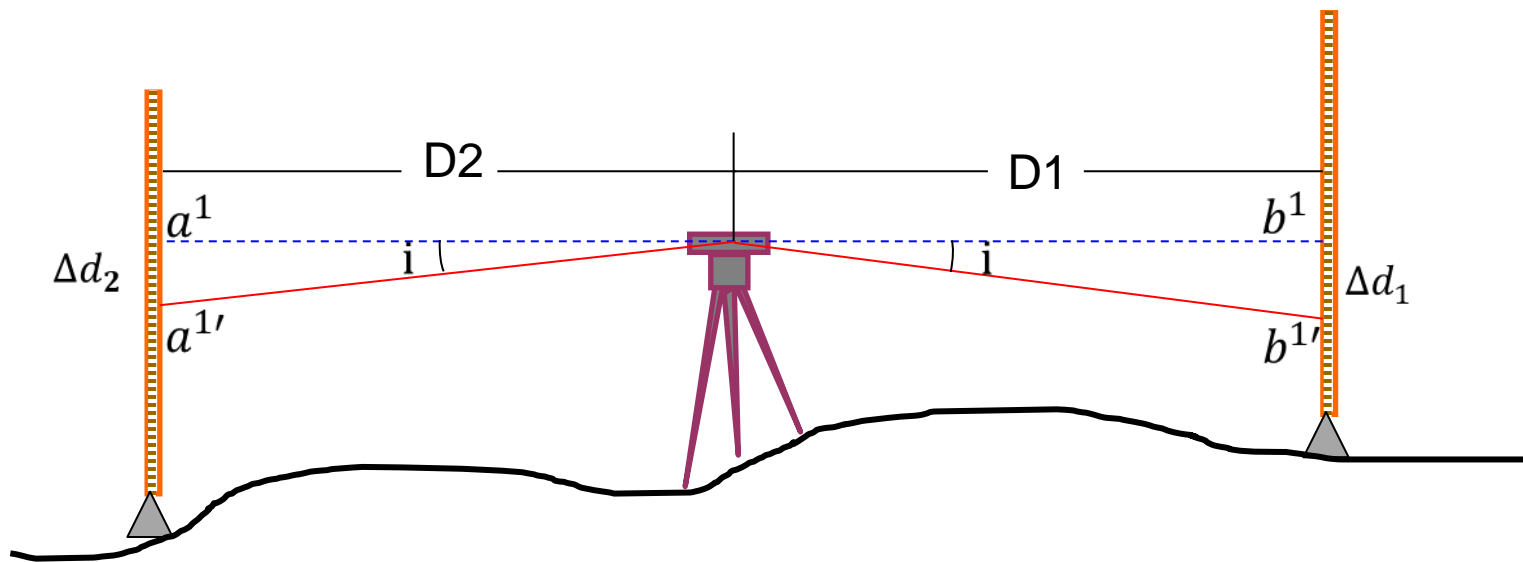
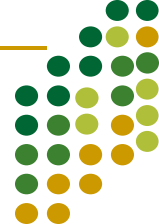
前后视距尽量相等

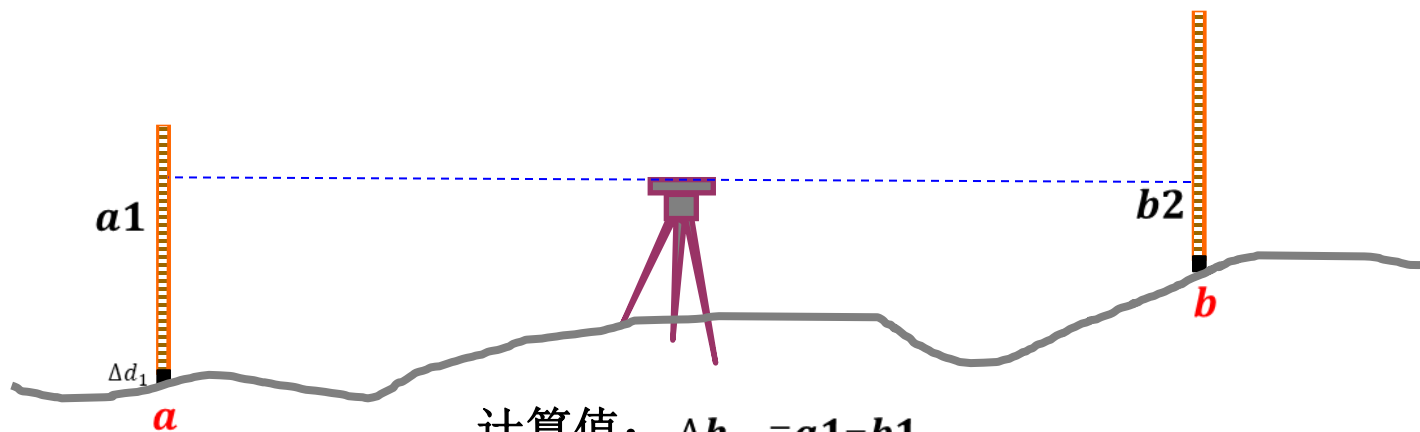
调焦：目标和比较标记在沿瞄准轴方向上重合或置中的过程

水准尺零点误差

每个测段安排成偶数站

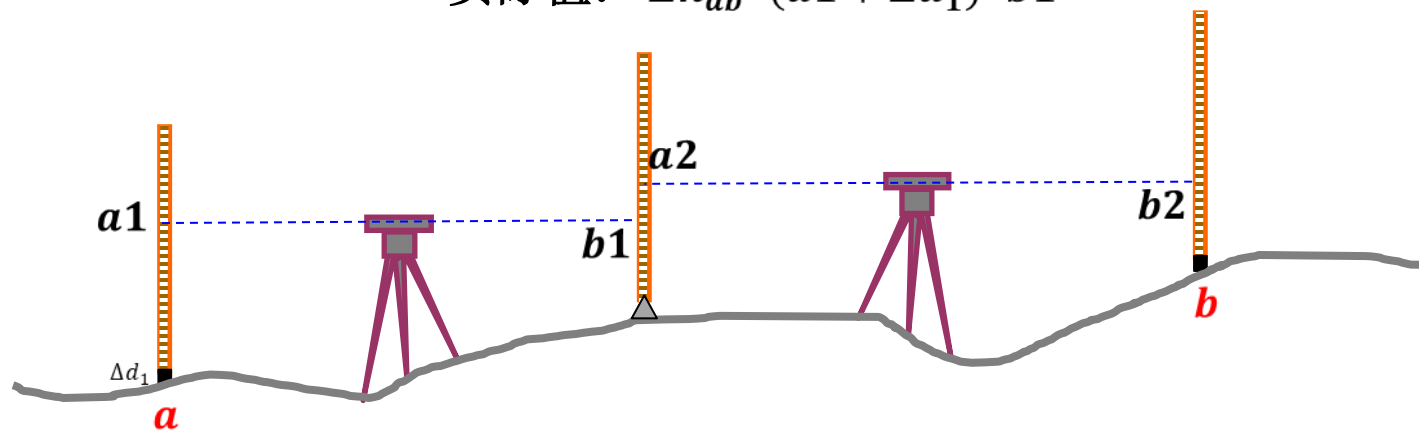
零点误差：水准尺的起点读数不为0或标准值





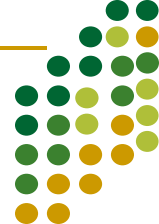
计算值: $\Delta h_{ab} = a1 - b1$

实际值: $\Delta h_{ab} = (a1 + \Delta d_1) - b1$



计算值: $\Delta h_{ab} = (a1 - b1) + (a2 - b2)$

实际值: $\Delta h_{ab} = [(a1 + \Delta d_1) - b1] + [(a2 + \Delta d_1) - b2]$
 $= (a1 - b1) + (a2 - b2)$



观测误差

误差源

解决方法

整平误差

视线不要太长

照准误差

视线不要太长

估读误差

视线不要太长

水准尺倾斜误差

安置圆水准器



外界条件影响

误差源

解决方法

仪器垂直位移

后前前后

尺垫垂直位移

往返观测

地球曲率

前后视距尽量相等

大气垂直折光

前后视距尽量相等



■ 讨论题：

尺垫在什么情况下使用？能否随便移动？

■ 思考题：

水准仪在后视转向前视时发现圆水准器气泡不居中，该如何处理？
