

# 中国地质大学(武汉)远程与继续教育学院

测量学 课程电子教案 学习层次：专升本

## 第一章 绪论

### 一、测量学的定义

#### 1.早期的定义：

研究地球的形状和大小，确定地面点的坐标的学科。

#### 2.当前的定义：

研究三维空间中各种物体的形状、大小、位置、方向和其分布的学科。

### 二、测量学的内容

随着国民经济的发展和科学技术的进步，测量学在生产中的作用越来越大，所涉及的内容也越来越丰富，并派生出许多分支学科：

#### 1、大地测量学

研究整个地球的形状、大小以及大范围控制测量问题。

#### 2、地形测量学

研究测绘小范围地形图，把地球表面看作平面而不考虑地球曲率影响。

#### 3、摄影测量学

利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置。可分为航空摄影测量学、地面摄影测量学、水下摄影测量学、航天摄影测量学等分支学科。

#### 4、海洋测绘学

以海洋和陆地水域为对象进行的测量工作。

#### 5、工程测量学

为满足工程建设的需要，结合各种工程建设的特点而进行测量工作。

#### 6、矿山测量学

研究如何保护矿产资源的合理开发、安全生产和矿区环境治理。

此外和测量学相关的还有制图学，研究利用所获得的测量成果资料，编绘和印制各种地图。

随着 RS、GPS 和 GIS 等新技术的不断发展，新的测量分支学科将不断涌现。

### 三、测绘科学的应用范围

- 1、在国民经济建设和社会发展规划中，测绘信息是最重要的基础信息之一；
- 2、在国防建设中，军事测绘和军用地图是现代化、大规模诸兵种协同作战必不可少的重要保障；
- 3、科学实验、航空航天、地壳形变和地震预报等研究工作中，也都要应用测绘资料。

#### 四、测绘技术的发展过程

- 1、传统测绘方法（钢卷尺）
- 2、光学测绘方法（经纬仪）
- 3、光、电测绘方法（全站仪）
- 4、光、机、电测绘方法（测量机器人）
- 5、光、机、电、传感器（三维激光扫描仪）

## 第二章 测量的基本知识

### §2-1 地球形状和大小

#### 一、大地水准面(Geoidal surface)

陆地 29%      海洋 71%

水准面——静止的海水面穿过陆地和岛屿而形成的封闭曲面

大地水准面——静止的平均海面~

大地体——大地水准面所包围的形体

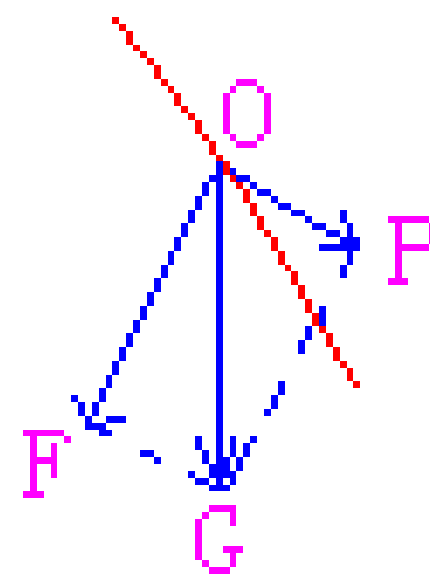
大地水准面的特性：

- a、是一个重力等位面，处处与铅垂线方向相垂直
- b、是一个有微小起伏的不规则的曲面

#### 二、参考椭球体(ellipsoid of revolution)

三元素：长半径、短半径和扁率

我国目前采用的参考椭球体为 IAG-75 椭球。



### §2-2 测量常用坐标系和参考椭球定位

#### 一、大地坐标系(L,B)

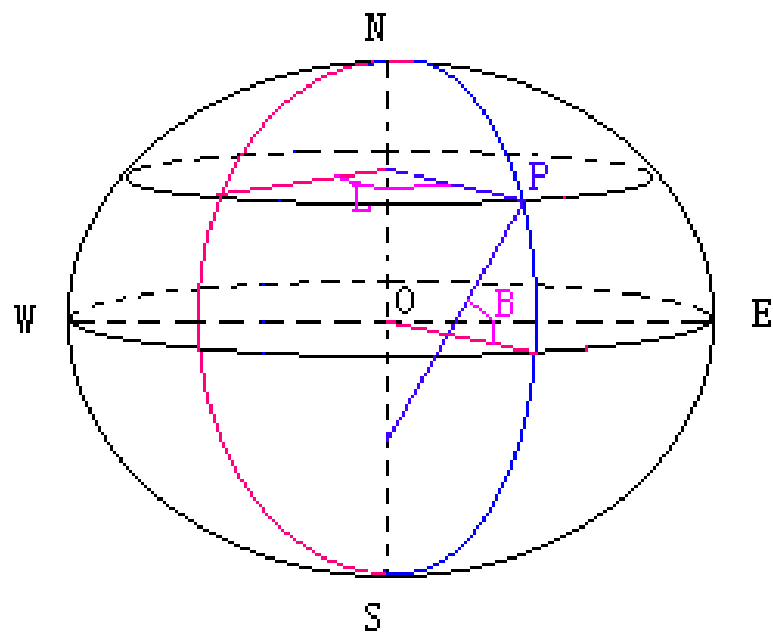
基本概念：地轴、子午面、起始子午面、子午线、赤道面、赤道、平行圈

大地坐标的定义：

**大地经度 L: (longitude)**—过某点的子午面与起始子午面的夹角。

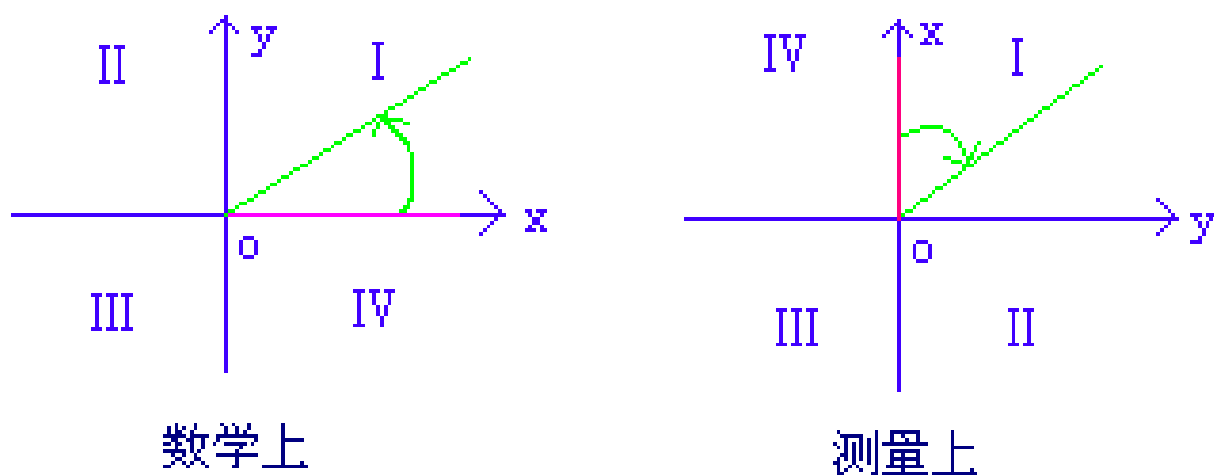
我国的经度全部为东经。

**大地纬度 B: (latitude)**—过某点的法线与赤道面的交角。我国的纬度全部是北纬。



## 二、平面直角坐标 (Rectangular plane coordinate system)

由于测量上和数学上表示角度的方式不同，为了应用数学上的全部三角函数，故将数学上的  $x$ 、 $y$  轴互换即可解决此问题。



三、参考椭球定位参考椭球体的定位：在适当地点选择一点P，把椭球体与大地体相切，即此时铅垂线与法线相重合。P点称为大地原点。

## §2-3 地图投影和高斯平面直角坐标系

### 一、地图投影

#### 1、定义

地图投影，其一面为地球椭球表面，该面上点的位置用大地坐标  $B$ 、 $L$  表示；另一面为可展面（如圆柱面、圆锥面等），其点的位置用直角坐标  $x$ 、 $y$  表示。两个面的投影函数表达式可写成如下形式：

$$\begin{aligned} x &= f_1(B, L) \\ y &= f_2(B, L) \end{aligned}$$

## 2、变形

分为长度变形、角度变形和面积变形三种

## 二、高斯投影

1、高斯投影的性质：等角横切圆柱投影

2、高斯投影结果：

a. 中央子午线投影后为一条直线，且无长度变形，其余经线为凹向中央子午线投影线的对称曲线

b. 赤道的投影也为一条直线，其余纬线的投影为凸向赤道投影线的对称曲线；

c. 投影前后角度相等，即无角度变形。

3、高斯投影分带

目的：限制长度变形

a. 六度分带法：能满足 1:25000 及更小比例尺测图的精度要求

自 0°子午线开始，按经差 6°为一带，自西向东将全球分为 60 个条带，依次编号 1, 2, …, 60

设带号为  $n$ ，中央子午线的经度为  $L_0$ ，则

$$L_0 = 6^\circ n - 3$$

b. 三度分带法：能满足 1:2000 至 1:10000 比例尺测图的精度要求

自 1.5°子午线开始，按经差 3°为一带，自西向东将全球分为 120 个条带，依次编号 1, 2, …, 120

设带号为  $m$ ，中央子午线的经度为  $L'_0$ ，则

$$L'_0 = 3^\circ m$$

## 三、高斯平面直角坐标

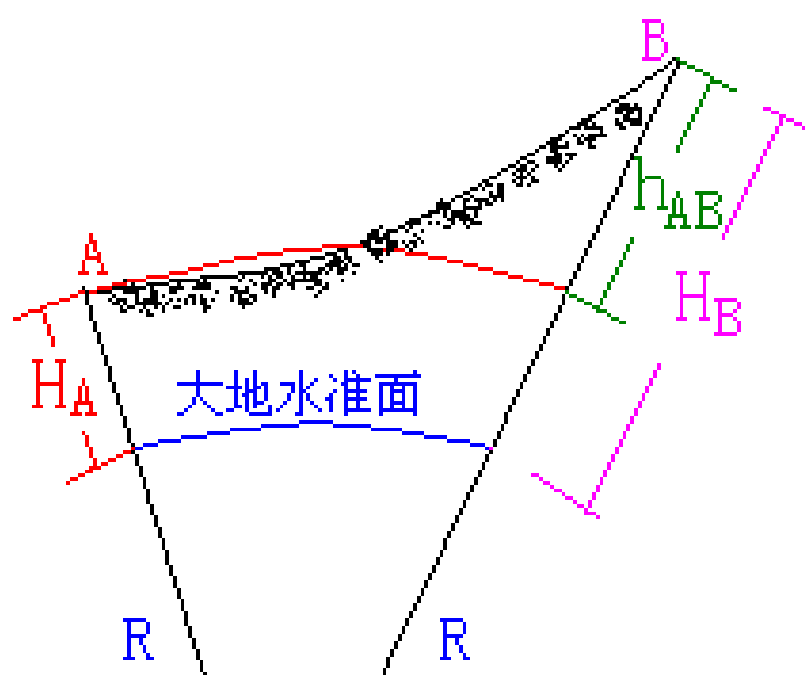
以中央子午线的投影线为 X 轴，赤道的投影线为 Y 轴，两轴的交点为坐标原点 O 而建立起来的平面直角坐标系

我国位于北半球，X 值全为正，而每一投影带的 Y 值却有正有负。为了避免横坐标 Y 的负值出现在地形图中，规定将纵坐标轴西移 500km 当作起始轴，即将 Y 值加上 500km；为了区别某点位于何带，又规定在 Y 值前冠以带号。通常把这样的坐标值称为通用坐标。

## §2-4 高程

高程—某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，又称为绝对高程、海拔

高差  $h$ —两点的高程之差，如  $h_{AB}$ 、 $h_{BA}$   $h_{AB} = H_B - H_A$ ， $h_{BA} = H_A - H_B$



我国的高程系统：

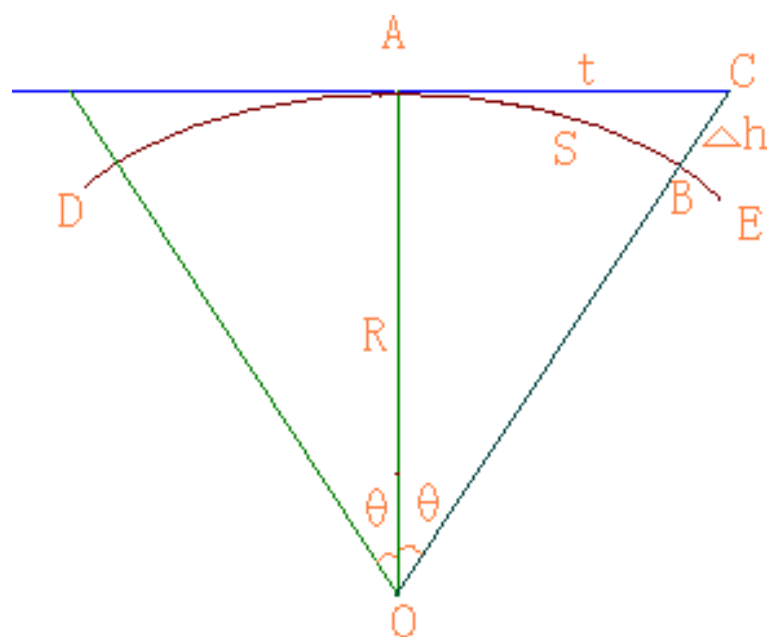
由于受潮汐、风浪等影响，海水面是一个动态的曲面。它的高低时刻在变化，通常是在海边设立验潮站，进行长期观测，取海水的平均高度作为高程零点。通过该点的大地水准面称为高程基准面。

解放前，我国采用的高程基准面十分混乱。解放后，以设在山东省青岛市的国家验潮站收集的 1950 年至 1956 年的验潮资料，推算的黄海平均海面作为我国高程起算面，并在青岛市观象山建立了水准原点。水准原点到验潮站平均海面高程为 72. 289m。这个高程系统称为“196 年黄海高程系”。全国各地的高程都是依此而得到的。

80 年代初，国家又根据 1953 年至 1979 年青岛验潮站的观测资料，推算出新的黄海平均海面而作为高程零点。由此测得青岛水准原点高程为 72. 260 4m，称为“1985 年国家高程基准”，并从 1985 年 1 月 1 日起执行新的高程基准。

## §2-5 用水平面代替水准面的限度

### 一、地球曲率对水平距离的影响



当  $S=3.16\text{km}$  时,  $\Delta s:s=1:12194000$

当  $S=10\text{km}$  时,  $\Delta s:s=1:1217700$

当  $S=20\text{km}$  时,  $\Delta s:s=1:304400$

结论: 在半径为  $10\text{km}$  范围内在进行距离测量时可用水平面代替水准面。

## 二、地球曲率对水平角度的影响

如图,  $\Delta S = t - S$

而  $t = R \cdot \text{tg } \theta$ ,  $S = R \cdot \theta$

则  $\Delta S = R \left( \frac{1}{3} \theta^3 + \frac{2}{15} \theta^5 + \dots \right)$

将  $\theta = \frac{S}{R}$  代入上式得:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{3} \left( \frac{S}{R} \right)^2$$

例: 当  $P=10$  平方公里时,  $\epsilon''=0.05''$

当  $P=100$  平方公里时,  $\epsilon''=0.51''$

当  $P=400$  平方公里时,  $\epsilon''=2.03''$

当  $P=2500$  平方公里时,  $\epsilon''=12.71''$

结论: 在半径为  $10\text{km}$  范围内进行角度测量时, 地球曲率对水平角度的影响很小, 可用水平面代替水准面。

## 三、地球曲率对高差的影响

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

$$2R \times \Delta h + (\Delta h)^2 = t^2$$

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}$$

$$\Delta h = \frac{s^2}{2R}$$

例: 当  $S=10\text{km}$  时,  $\Delta h=7.8\text{m}$

当  $S=100\text{m}$  时,  $\Delta h=0.78\text{mm}$

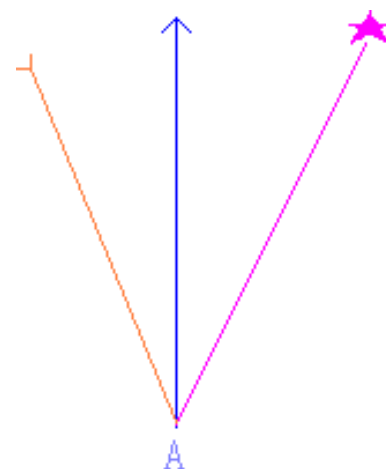
所以, 测量高差时必须考虑地球曲率的影响。

结论: 即使在很短距离内进行高差测量时必须考虑地球曲率的影响, 不能以水平面代替水准面。

## §2-6 方位角

### 一、标准方向

#### 1. 真北方向



2. 磁北方向
3. 坐标北向
4. 三北方向的关系
  - a、子午线收敛角 $\gamma$
  - b、磁偏角 $\Delta$ 、磁坐偏角  $G$

## 二、方位角

方位角—自选定的标准方向的北端起顺时针转向某直线的水平夹角。其大小在  $0\sim 360^\circ$  之间。

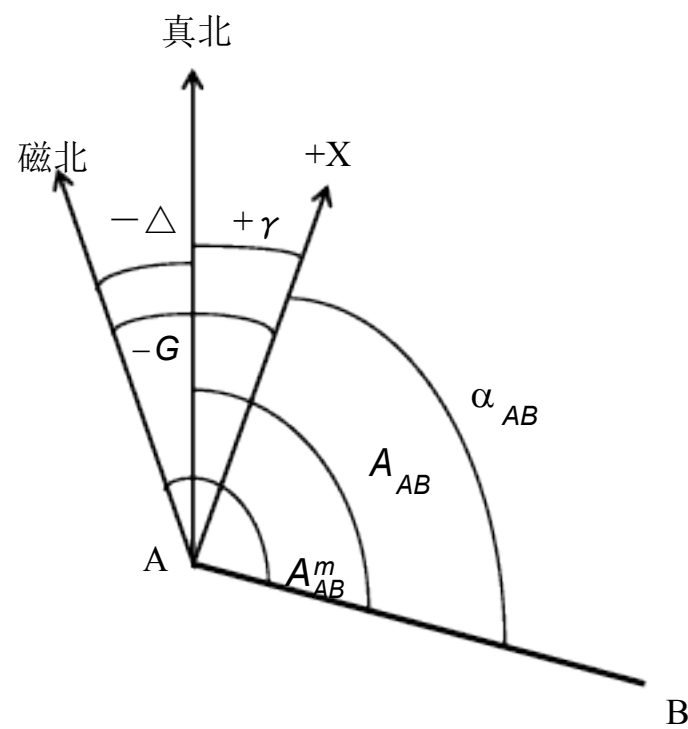
1、真方位角  $A$

2、磁方位角  $A^m$

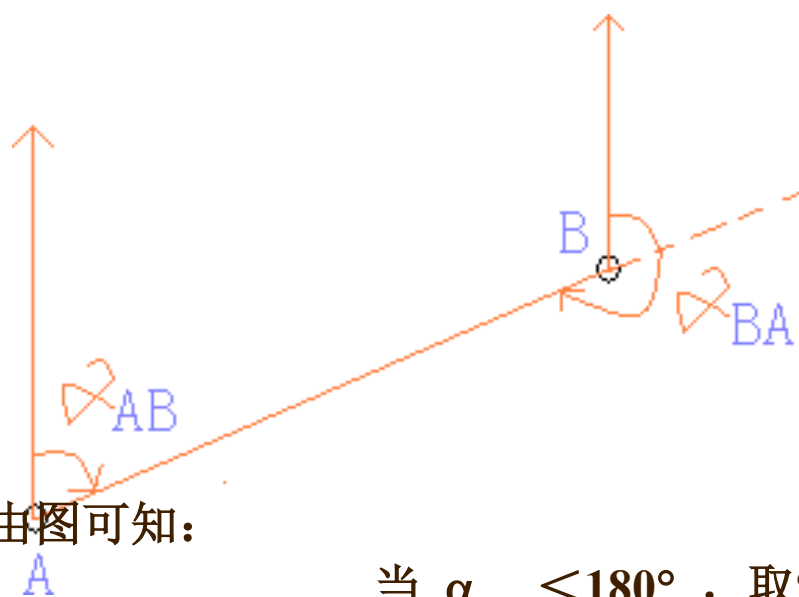
3、坐标方位角 $\alpha$

由图可知， $A$ 、 $A^m$ 、 $\alpha$  三者之间的关系式为

$$\alpha = A - \gamma = A^m + \Delta - \gamma = A^m + G$$



## 三、正、反坐标方位角之间的关系



由图可知：

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ \begin{cases} \text{当 } \alpha_{BA} < 180^\circ, \text{ 取“+”号} \\ \text{当 } \alpha_{BA} \geq 180^\circ \text{ 时, 取“-”号} \end{cases}$$

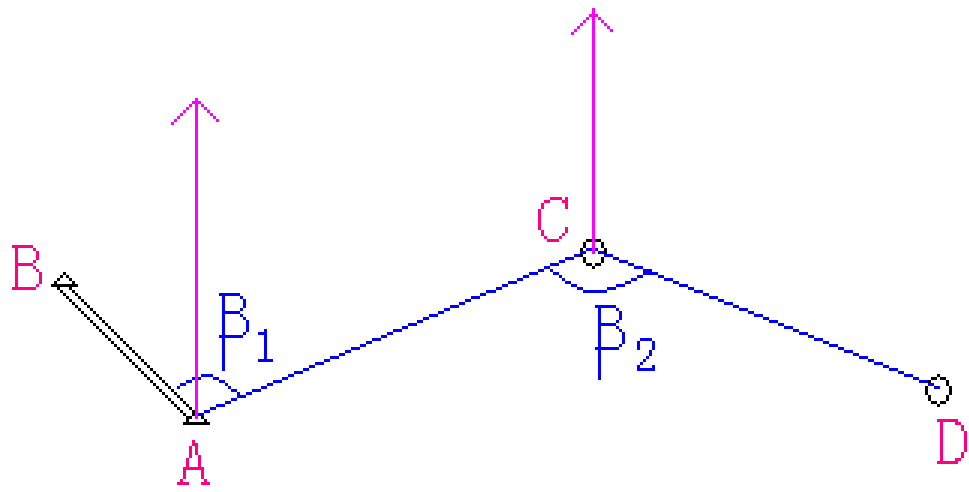
## 四、坐标方位角(coordinate azimuth)的推算

$$a_{AC} = a_{AB} + \beta_1 - 360^\circ$$

$$a_{CA} = a_{AC} \pm 180^\circ$$

$$a_{CD} = a_{CA} - \beta_2$$





## §2-7 地形图的基本知识

### 一、地形图与平面图的定义

1、平面图：它是地面图形在水平面上的正射投影的缩小图形，其特点是平面图形与实际地物的位置成相似关系。一般只表示地物，不表示地貌。

2、地形图：按一定的比例尺，表示地物、地貌平面位置和高程的正射投影图。是普通地图的一种，着重表示地形，比例尺大于1/100 万。地貌一般用等高线表示，地物用图式符号加注记表示。地形图是经过实地测绘或根据实测并配合有关调查资料编制而成的

### 二、地形图的内容

- 1、数学要素：如比例尺、坐标格网等
- 2、地形要素：各种地物、地貌
- 3、注记和整饰要素：包括各类注记、说明资料和辅助图表

### 三、图的比例尺及比例尺精度

1、比例尺的定义：

图上某一线段的长度 $d$ 与地面上相应线段的水平距离 $D$ 之比，常用一个分子为1，

分母为一正整数 $M$ 的分数式来表示，如：
$$\frac{1}{M} = \frac{d}{D} = \frac{1}{\frac{D}{d}}$$

分数式的值越大（或分母 $M$ 越小），则比例尺就越大。反之，其比例尺就越小。

### 2、地形图比例尺的分类

比例尺大小	比例尺范围
大	1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000
中	1:1万, 1:2.5万, 1:5万, 1:10万
小	1:25万, 1:50万, 1:100万



### 3、比例尺精度

—相当于图上 0.1mm 的实地水平距离称为比例尺精度。

比例尺精度的用途：测图前确定合适的比例尺，测图过程中确定地物的取舍。

## 四、地形图符号

### 1、地物符号：

分为三种：

依比例符号、

不依比例符号、

半依比例符号

### 2、注记符号

### 3、地貌符号

## §2-8 地形图的分幅与编号

### 一、梯形分幅与编号

#### 1、1:100 万地形图的分幅与编号

分幅：每幅 1:100 万地形图的标准分幅是经差  $6^\circ$ 、纬差  $4^\circ$ ，从  $180^\circ$  经线开始，自西向东每隔  $6^\circ$  分为一列；从赤道开始，每隔  $4^\circ$  分为一行。

编号：1: 100 万编号由行号（字符码）与列号（数字码）组合而成。

1: 100 万地形图编号的计算：

$$\text{行号} = \text{int}\left(\frac{B}{4^\circ}\right) + 1 \Rightarrow \text{对应的大写英文字母}$$

$$\text{列号} = \text{int}\left(\frac{L}{6^\circ}\right) + 1 + 30$$

例：武昌某地的经纬度为  $L=114^\circ 17' E$ ， $B=30^\circ 31' N$ ，该点所在的 1: 100 万图幅的编号为 H50

#### 2、其它比例尺的分幅与编号

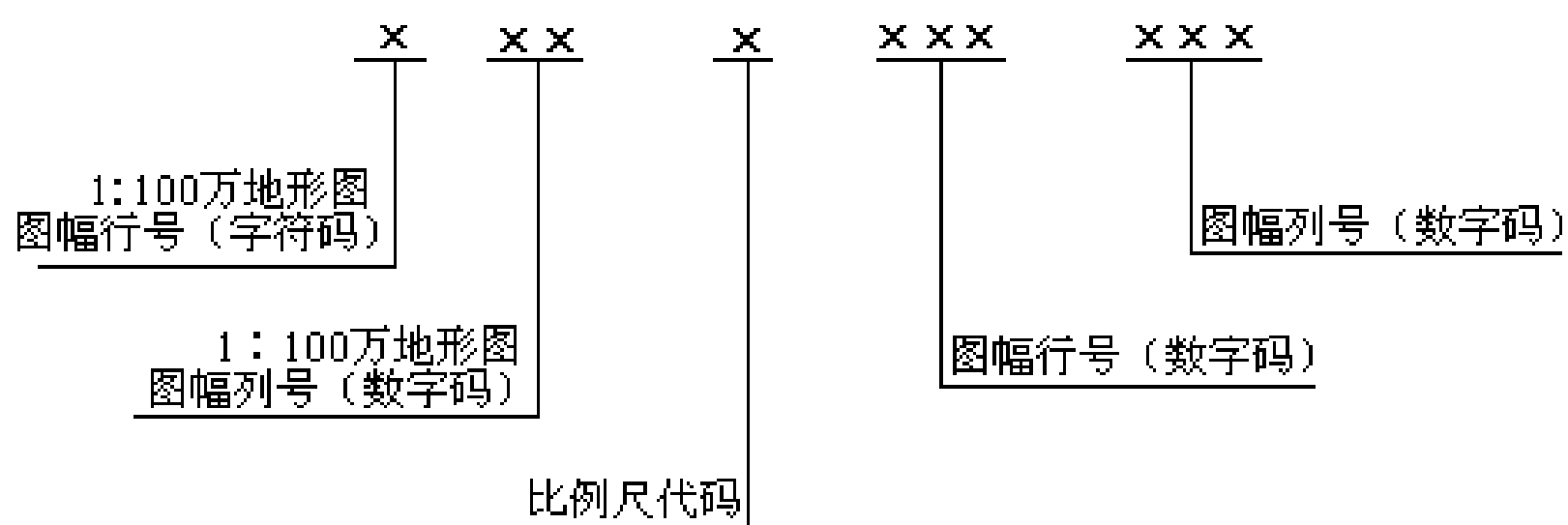
比例尺	行数	列数	幅数	经差	纬差	比例尺代码
1: 50 万	2	2	4	$3^\circ$	$2^\circ$	B
1: 25 万	4	4	16	$1.5^\circ$	$1^\circ$	C
1: 10 万	12	12	144	$30'$	$20'$	D

1: 5 万	24	24	576	15'	10'	E
1: 2.5 万	48	48	2304	7.5'	5'	F
1: 1 万	96	96	9216	3' 45"	2.5'	G
1: 5 千	192	192	36864	1' 52.5"	1' 15"	H

行号自上而下编号，3 位数，从 001 开始编号

列号自左而右编号，3 位数，从 001 开始编号

图幅编号(10 位): 1: 100 万的编号(3 位)+比例尺代码(1 位)+行号(3 位)+列号(3 位)



图幅编号的计算:

$$\text{行号} = \text{int}\left(\frac{B_N - B}{\Delta B}\right) + 1$$

$$\text{列号} = \text{int}\left(\frac{L - L_W}{\Delta L}\right) + 1$$

$B_N \Rightarrow$  1:100 万图幅的最北端的纬度

例: 武昌某地的经纬度为  $L=114^{\circ} 17' E$ ,  $B=30^{\circ} 31' N$ , 该点所在的 1: 10 万图幅的编号为 H50D005001

## 二、矩形分幅与编号

图幅的大小有 50cm×50cm、40cm×40cm、40cm×50cm

编号: 以图幅西南坐标作为图号(以公里为单位), 纵坐标在前, 横坐标在后, 1: 5000 取至 km, 1: 2000 和 1: 1000 取至 0.1 km, 1: 500 取至 0.01 km。

## 第三章 测量误差基本知识

### §3-1 观测误差的分类

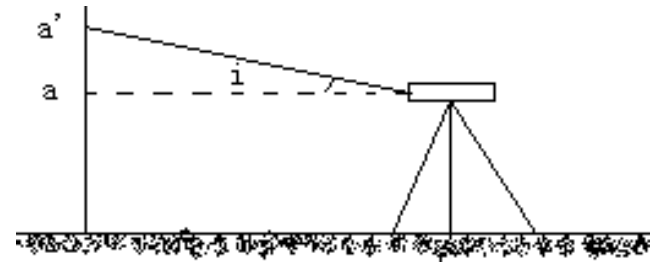
## 一、误差产生的原因

### 1、观测者

例：估读误差

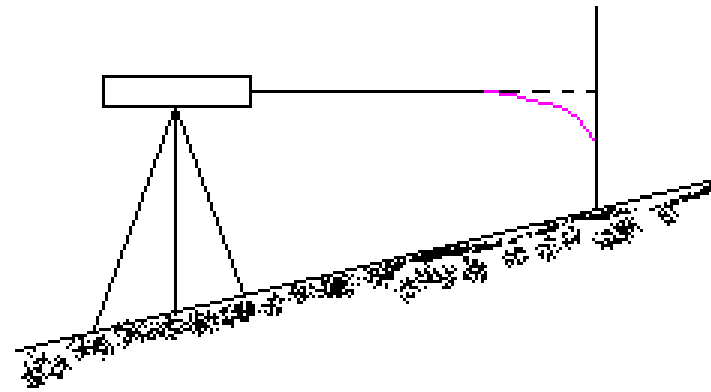
### 2、测量仪器

例：水准仪的  $i$  角误差



### 3、外界环境

例：大气折光



以上三者合称为“观测条件”

## 二、误差的分类

1、系统误差：在相同观测条件下做一系列的观测，误差在大小、正负上表现出一致性，或按一定规律变化。例如：水准仪的  $i$  角误差对测高差的影响。

2、偶然误差：在相同观测条件下做一系列的观测，误差在大小、正负上表现出不一致性，从表面上看毫无规律可言。例：估读误差

## 三、偶然误差的统计规律

误差大小的区间 (")	$\Delta$ 为正值 的个数	$\Delta$ 为负值 的个数	总计
0.0~0.2	21	21	42
0.2~0.4	19	19	38
0.4~0.6	15	12	27
0.6~0.8	9	11	20
0.8~1.0	9	8	17
1.0~1.2	5	6	11
1.2~1.4	1	3	4
1.4~1.6	1	2	3
1.6 以上	0	0	0
$\Sigma$	80	82	162

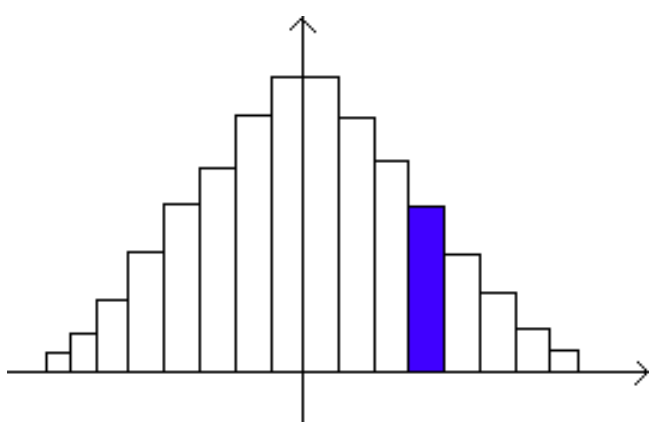
1、绝对值有一定的限值；

2、绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多；

3、绝对值相等的正负误差出现的机会相等；

4、算术平均值趋近于零。

直方图：



其横轴为误差区间的大小，纵轴为相对个数除以误差区间的大小。

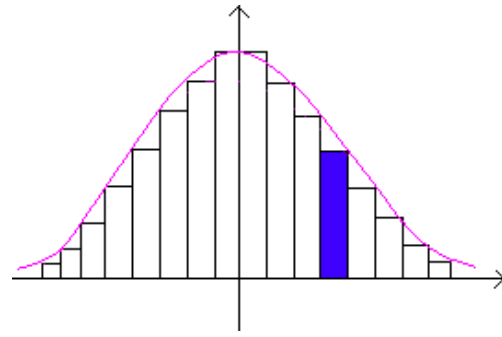
小方块 的面积为误差出现的相对个数。

误差分布曲线:

其方程为:

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}$$

其中:



$$\sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta^2}{n}$$

由方程也可以得出偶然误差的特性:

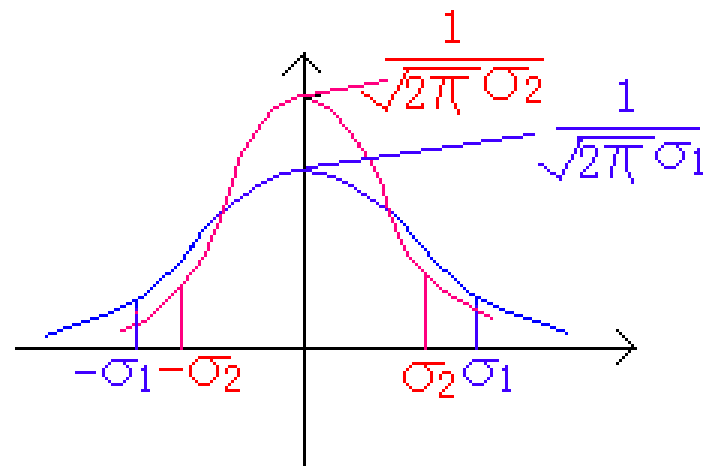
- 1、横轴是曲线的渐近线, 所以当  $\sigma$  到达某值, 而  $f(\sigma)$  已接近于零, 此时的  $\sigma$  可看作误差的限值;
- 2、 $\sigma$  愈小,  $f(\sigma)$  愈大; 反之,  $\sigma$  愈大,  $f(\sigma)$  愈小。当  $\sigma=0$  时,  $f(\sigma)$  有最大值;
- 3、 $f(\sigma)$  是偶函数, 即绝对值相等的正负误差求得的  $f(\sigma)$  相等。

#### 四、 $\sigma$ 的含义

将  $f(\sigma)$  求二阶导数并令其等于零, 可

以求得曲线的拐点为:  $D \text{ 拐} = \pm \sigma$

当  $\sigma$  愈小时, 曲线将愈陡峭; 当  $\sigma$  愈大时, 曲线将愈平缓。由此可见, 参数  $\sigma$  表征了误差分布的密集程度。



### §3-2 衡量精度的标准

精度——误差分布的密集程度

1、中误差  $m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$

2、相对误差  $m/S$

例:  $S_1=80m$ ,  $m_1=\pm 1cm$ , 其相对误差为  $1/8000$

$S_2=100m$ ,  $m_2=\pm 1cm$ , 其相对误差为  $1/10000$

3、极限误差

一般取两倍的中误差作为极限误差。

### §3-3 算术平均值及观测值的中误差

1、算术平均值的定义

$$x = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} = \frac{[L]}{n}$$

改正数  $v_i = \bar{x} - L_i$

2、用改正数计算中误差（公式推导过程）

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

### §3-4 误差传播定律

#### 一、误差传播定律的推导

设有一般函数

$$Z=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

其中：  $x_1, x_2, \dots, x_n$  是相互独立的观测值，其中误差分别为  $m_1, m_2, m_3 \dots, m_n$ 。当  $x_1, x_2, \dots, x_n$  的真误差分别为  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  时，函数  $Z$  的真误差为  $\Delta z$ 。对函数求偏导，并用  $\Delta z$  代替  $dz$ ，用  $\Delta x$  代替  $dx$ 。即得

$$\Delta z = \frac{\partial z}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial z}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial z}{\partial x_n} \Delta x_n$$

对上式用误差传播定律得：

$$m_z^2 = \left( \frac{\partial z}{\partial x_1} \right)^2 m_{x_1}^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial x_2} \right)^2 m_{x_2}^2 + \dots + \left( \frac{\partial z}{\partial x_n} \right)^2 m_{x_n}^2$$

应用误差传播定律的实际步骤：

1. 写出正确的函数表达式；
2. 对函数求全微分，用  $\Delta z$  代替  $dz$ ，用  $\Delta x$  代替  $dx$ ，写出真误差之间的关系式；
3. 换算成中误差关系式。

#### 二、误差传播定律的应用

1、算术平均值的中误差

$$\bar{x} = \frac{[L]}{n} \quad m_{\bar{x}} = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

2、水准测量的中误差

$$m_h = m_{km} \sqrt{S} \text{ 或 } m_h = m_{\text{站}} \sqrt{n}$$

3、距离测量中误差

$$m_s = m_{km} \sqrt{S} \text{ 或 } m_s = m_{\text{尺段}} \sqrt{n}$$

4、角度测量的精度评定

设一测回的中误差为  $m$  一测回，对一个角度进行了  $n$  个测回的观测，该角度的精度为：

$$m_{\beta} = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

水平角度测量限差推导(以 DJ6 为例):

一测回方向中误差:  $\pm 6''$

半测回方向中误差为:

半测回方向值这差的中误差:  $\pm 12''$

半测回方向值之差的限差(2 倍):  $24''$

同一方向各测回互差的中误差:

同一方向各测回互差限差(3 倍): 约  $25''$

归零差的中误差:  $\pm 12''$

归零差的限差(2 倍):  $24''$

## 5、三角高程测量的精度评定

$$h = S \cdot \operatorname{tg} \delta + i - v + f$$

$$m_h = \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta \cdot m_s^2 + \frac{S^2}{\cos^4 \delta} \cdot \frac{m_{\delta}^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_f^2}$$

简化为:

$$m_h = \pm \sqrt{\frac{S^2}{\cos^4 \delta} \cdot \frac{m_{\delta}^2}{\rho^2}} = \frac{S \cdot m_{\delta}}{\rho'}$$

## §3-5 加权平均值及其精度评定

### 1、广义算术平均值的定义

$$x = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + \dots + p_n L_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[pL]}{[p]}$$

式中  $p$  称为权

### 2、权的定义

$$p_i = \frac{\mu^2}{m_i^2}$$

式中  $\mu$  称为单位权误差

权的含义: 1) 权越大, 观测值的精度越高; 2) 一般来说, 权是无量纲的; 3)

权反映了观测值之间的相互精度关系；4) 权之间的比值与 $\mu$  无关

### 3、定权公式

1) 距离丈量的定权公式:  $p_i = \frac{c}{s_i^2}$  式中  $s$  为距离

2) 水准测量的定权公式:  $p_i = \frac{c}{s_i^2}$  式中  $s$  为距离

3) 角度测量的定权公式:  $p_i = \frac{n}{c}$  式中  $n$  为测回数

### 4、观测值函数的权——权倒数传播定律

对于函数:  $Z=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  知  $x_i$  的权为  $p_i$ , 则有

$$\frac{1}{p_z} = k^2 \frac{1}{p_1} + k^2 \frac{1}{p_2} + \dots + k^2 \frac{1}{p_n}$$

依据权倒数传播定律可得广义算术平均值的权  $p_x = [p]$

### 5、单位权中误差的计算公式（公式推导过程）

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[p \Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-1}}$$

例：用普通钢尺丈量某直线 6 次，

其丈量结果为：246.535m、246.548m、246.520m、246.529m、246.550m、246.537m，试计算算术平均值、算术平均值中误差及其相对中误差。

解：

$$\bar{x} = \frac{[L]}{n} = 246.5365 \text{ m}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-1}} = \pm 11.2 \text{ mm}$$

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n}} = \pm 4.6 \text{ mm}$$

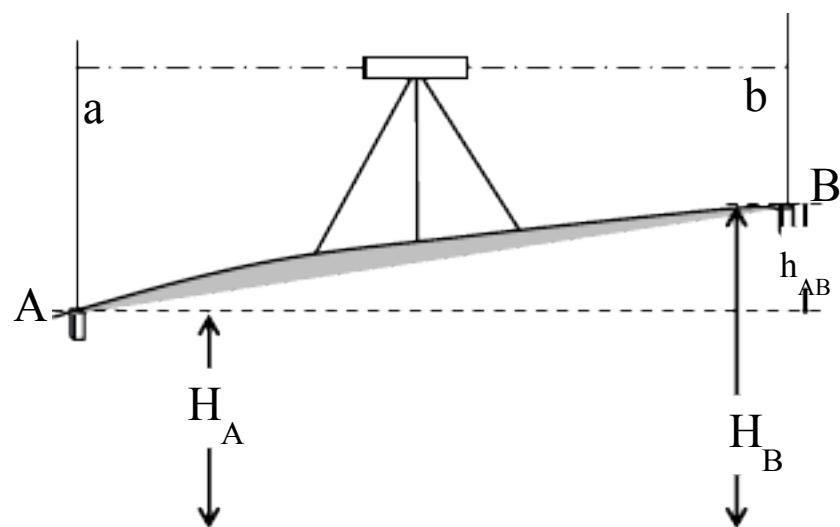
$$\frac{m_x}{\bar{x}} = \frac{4.6}{53919}$$

## 第四章 水准测量和水准仪



## §4-1 水准测量原理与方法

### 一、水准测量(leveling)原理

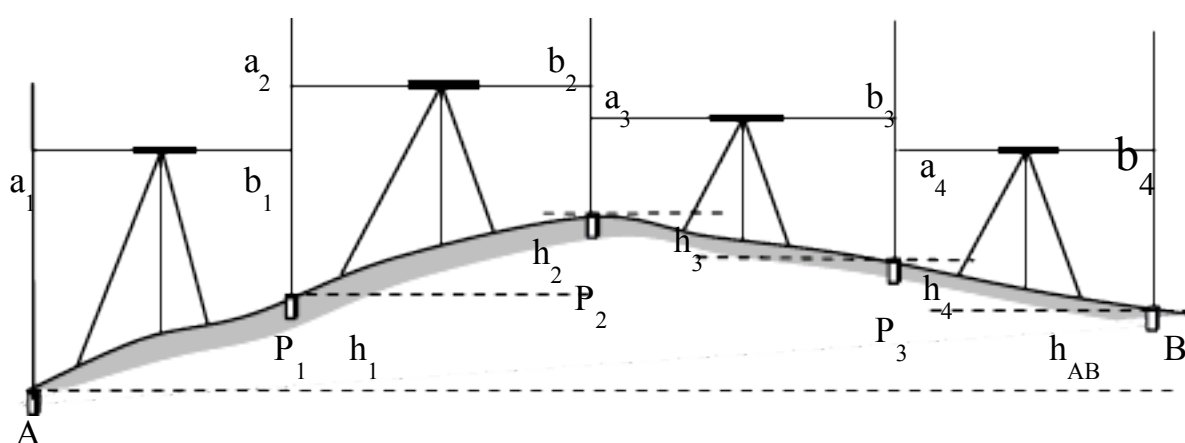


a--后视读数      b--前视读数

如上图： $H_A + a = H_B + b$

则  $h_{AB} = H_B - H_A = a - b$

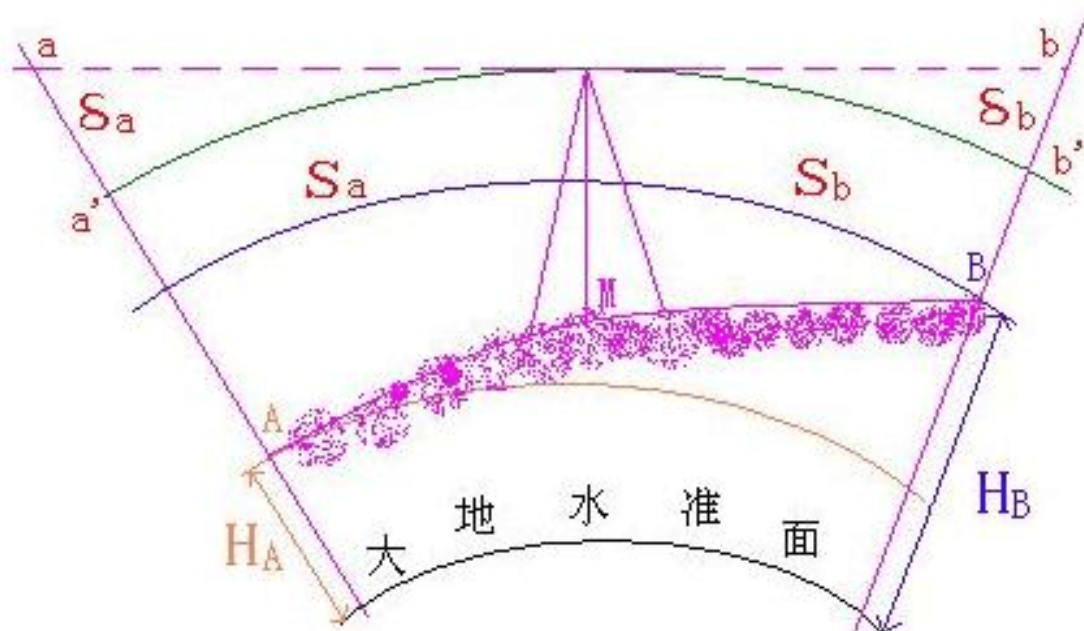
### 二、水准测量的实施



$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum a - \sum b$$

$P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 称为转点，起传递高程的作用，必须保持稳定不动。

### 三、地球曲率的影响



如上图 ,  $h_{AB} = a' - b' = (a - \delta a) - (b - \delta b)$

而  $\delta a = \frac{s^2}{2R}$ ,  $\delta b = \frac{s^2}{2R}$

故 :  $h_{AB} = a - b - \frac{(s^2 - s^2)}{2R}$

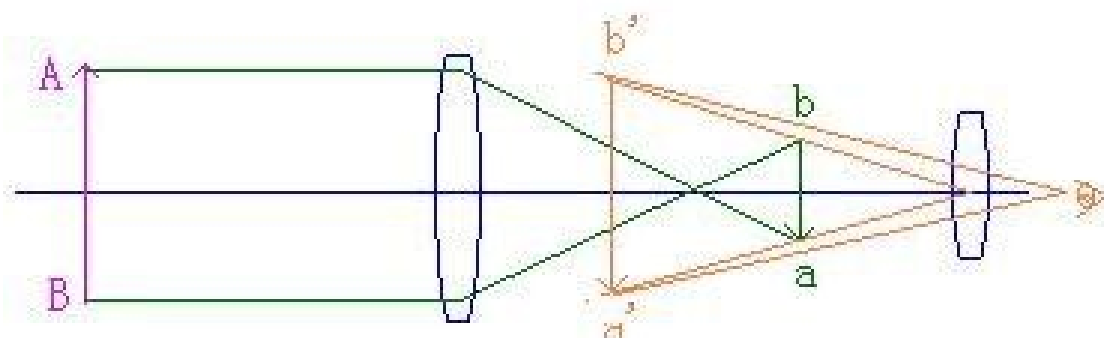
当前后视距的距离相等时，地球曲率对一个测量站的高差没有影响。

## §4-2 水准仪和水准尺

### 一、水准仪(level)的构造

#### 1、望远镜(telescope)

##### a.望远镜成像原理



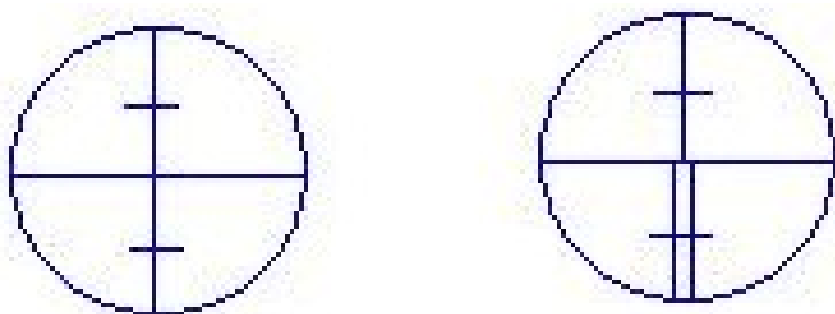
当  $u > 2f$  时，物体的象是缩小的倒立的实象

当  $u < f$  时，物体的象是放大的正立的虚象为了

得到清晰的象又必须满足如下的公式：

根据调焦的方式不同，分为外调焦望远镜和内调焦望远镜两种。

##### b.十字丝分划板



它是物镜的成像平面

中丝、上丝、下丝，而上丝和下丝又称为视距丝

**视准轴：**物镜光心与十字丝分划中心的连线

##### c.望远镜的使用

步骤：1、目镜调焦，使十字丝分划板最清晰；2、物镜调焦，使目标的象最清晰。 视

差—眼睛在目镜处上下移动时，发现目标的象与十字丝分划板相对移动的现象。

产生视差的原因：目标的象没有成象于十字丝分划板上。

视差的消除：1、按正确的操作步骤调焦；2、控制眼睛本身不作调焦。

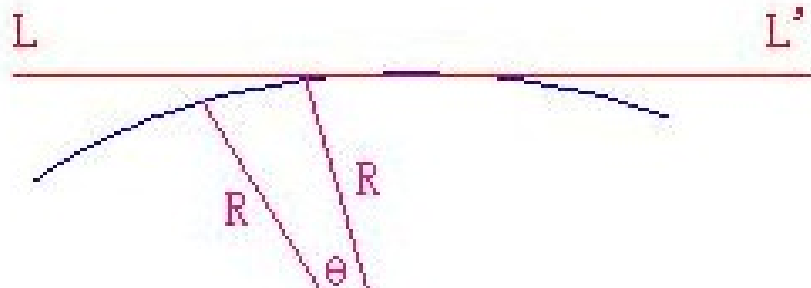
## 2、水准器

### a.水准管（精平）

上刻有 2mm 间隔分划线，分划线与中间的零点成对称。

水准轴——过零点与圆弧相切的切线。

分划值——相邻两分划线间弧长所对的圆心角值。



水准管的分划值与圆弧的半径  $R$  成反比。

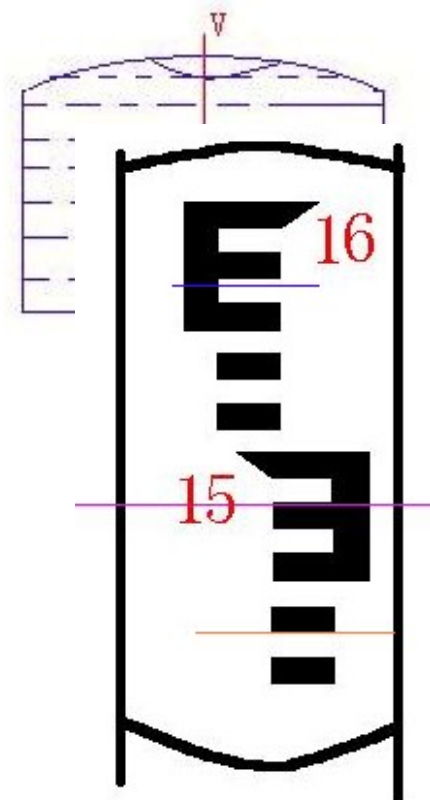
水准管的灵敏度——气泡准确而快速移居管中最高位置的能力。

水准管的灵敏度与水准管的圆弧的半径  $R$ 、内表面的研磨情况、液体的性质、气泡的长度和温度等有关。

### b.圆水准器（粗平）

圆水准轴——零点与球心的连线

分为黑面与红面，黑红面的零点差为 4687 或 4787



## 三、水准仪的使用

步骤：

- 1、安置
- 2、粗平
- 3、瞄准
- 4、精平
- 5、读数

## §4-3 水准测量外业施测

### 一、水准测量的主要技术要求

等级	水准仪型号	前后视距不等差 m		K+黑-红 mm	红黑面所测 高差之差 mm	视线 最长距离 m	中丝最小 读数值 m
		d m	累积差 $\Sigma d$ m				
二	DS1	$\leq 1$	$\leq 3$	$\leq 0.5$	$\leq 0.7$	$\leq 50$	$\geq 0.5$
三	DS1	$\leq 3$	$\leq 6$	$\leq 1$	$\leq 1.5$	$\leq 100$	$\geq 0.3$
	DS3			$\leq 2$	$\leq 3$	$\leq 75$	
四	DS3	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 80$	$\geq 0.2$
五	DS3	大致相等		—	—	$\leq 100$	—

注：①二等水准视线长度小于 20m 时，其视线高度不应低于 0.3m；  
②三、四等水准采用变仪高法观测单面水准尺时，所测两次高差较差，应与黑面、红面所测高差之差的要求相同。

## 二、四等水准测量的观测步骤

- 1、安置整平仪器，照准后尺黑面，调微倾螺旋使符合水准器严密居中，依次读取上、下丝及中丝读数，记入（1）、（2）、（3）栏中。
- 2、转动仪器，照准前尺黑面，调微倾螺旋使符合水准器严密居中，依次读取上、下丝及中丝读数，记入（4）、（5）、（6）栏中。
- 3、前尺变红面朝向仪器，使符合水准器严密居中，读取中丝读数，记入（7）栏。
- 4、后尺变红面，仪器照准后尺红面，使符合水准器严密居中，读取中丝读数，记入（8）栏。

以上观测顺序简称为：后—前—前—后，或黑—黑—红—红。

水准测量记录手簿：

测站编号	点号	后尺	上丝	前尺	上丝	方向及尺号	水准尺读数		黑红面读数差 K+黑-红(mm)	高差中数(m)	备注
		下丝		下丝			黑面	红面			
		后视距m		前视距m							
d	Σd										
1	A	1.875 ①		1.328 ④		后K1	1.760 ③	6.447 ⑧	0	+0.5505	K1= 4.687 K2= 4.787
		1.646 ②		1.093 ⑤		前K2	1.209 ⑥	5.997 ⑦	-1		
	ZD1	22.9		23.5		后-前	+0.551	+0.450	+1		
		-0.6		-0.6							
2	ZD1	1.578		1.457		后K2	1.456	6.243	0	+0.1155	
		1.333		1.225		前K1	1.340	6.028	-1		
	ZD2	24.5		23.2		后-前	+0.116	+0.215	+1		
		+1.3		+0.7							
3	ZD2	0.888		1.979		后K1	0.734	5.421	0	-1.0905	
		0.580		1.670		前K2	1.825	6.611	+1		
	ZD3	30.8		30.9		后-前	-1.091	-1.190	-1		
		-0.1		+0.6							

### 三、四等水准测量每测站的计算与检核

在记录的同时，应及时进行计算及检核，不能等待观测完再计算，发现问题及时提醒观测员进行补救。计算内容有：

#### 1) 视距部分

后视距离= (后尺黑面下丝读数-后尺黑面上丝读数) ×100，其限差为 80m

前视距离= (前尺黑面下丝读数-前尺黑面上丝读数) ×100，其限差为 80m

前后视距差=后视距离-前视距离，其限差为 5m

视距累积差=本站的前后视距差+前站的视距累积差，其限差为 10m (一条水准路线)

#### 2) 高差部分

前尺红黑面读数差: (9) = (6) +K - (7) ≤3.0mm

后尺红黑面读数差: (10) = (3) +K - (8) ≤3.0mm

两尺黑面高差: (11) = (3) - (6)

两尺红面高差: (12) = (8) - (7)

黑面高差与红面高差之差 (13) = (11) - (12) ±100 = (10) - (9) ≤5.0mm

高差中数: (14) = {(11)+(12)±100}/2

式中常数 100 是两水准尺红面零点差之差，即 4.687 和 4.787 之差。作业时，对每一个测站，必须遵循全部计算完毕并确认符合限差要求后，才能移动后尺尺垫和迁站，否则就要造成全测段的重测。

## §4-4 水准测量的误差分析

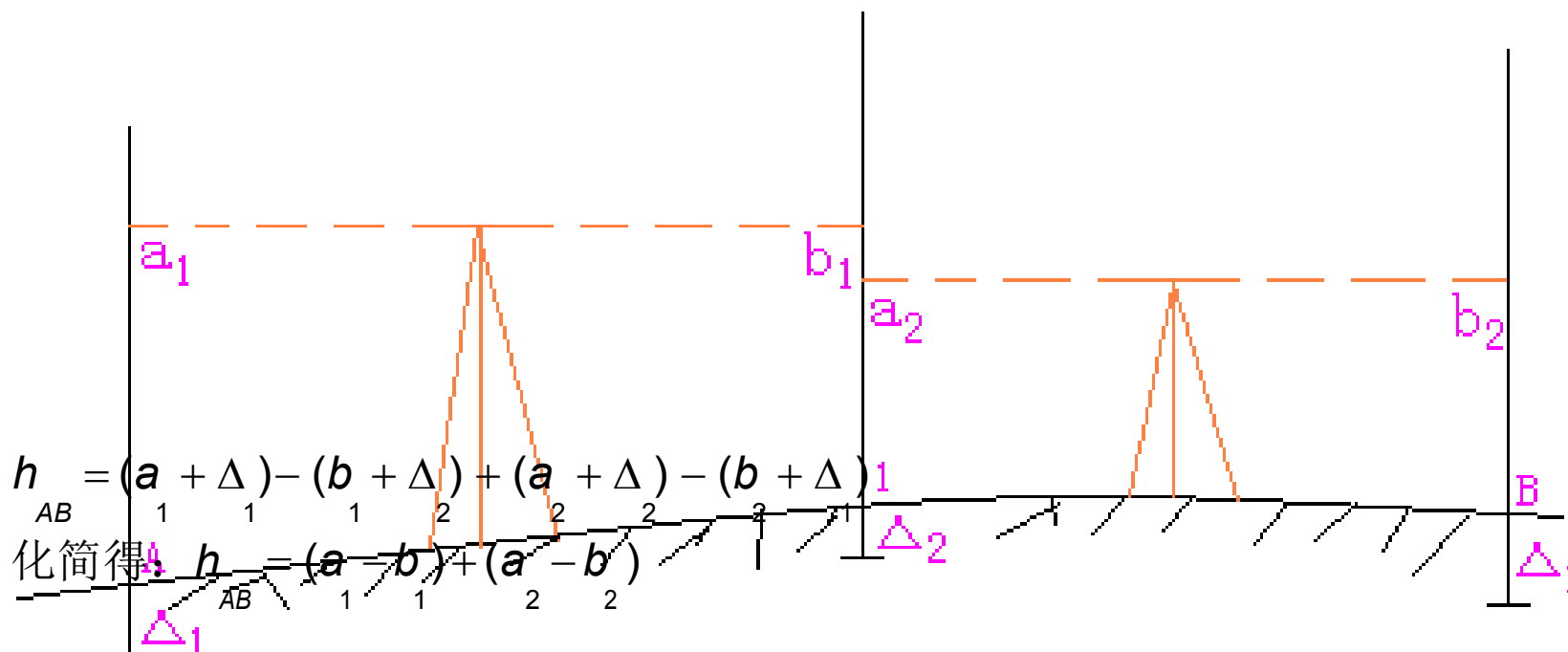
### 一、仪器误差

#### 1. 仪器校正后的残余误差

i角校正残余误差，这种影响与距离成正比，只要观测时注意前、后视距离相等，可消除或减弱此项的影响。

#### 2. 水准尺误差

由于水准尺刻划不准确，尺长变化、弯曲等影响，水准尺必须经过检验才能使用。标尺的零点差可在—水准段中使测站为偶数的方法予以消除。



### 二、观测误差

#### 1. 水准管气泡居中误差

#### 2. 读数误差

在水准尺上估读毫米数的误差，与人眼的分辨能力、望远镜的放大倍率以及视线长度有关

#### 3. 视差影响

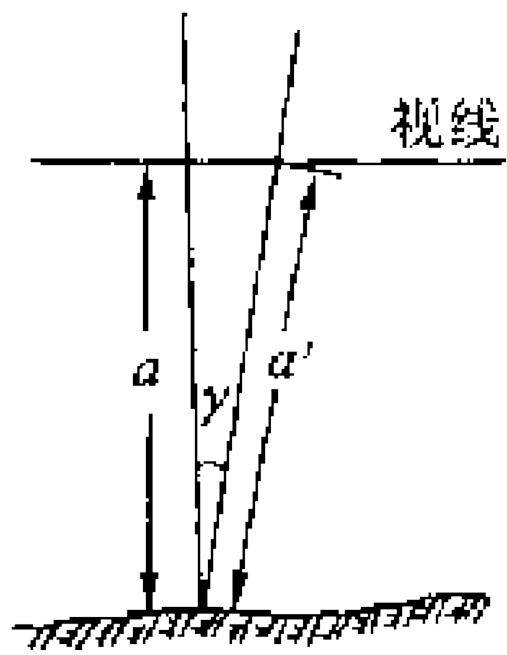
当视差存在时，十字丝平面与水准尺影像不重合，若眼睛观察的位置不同，便读出不同的读数，因而也会产生读数误差。

#### 4. 水准尺倾斜影响

水准尺倾斜将使尺上读数增大。

$$\Delta a = a' - a = a'(1 - \cos \gamma)$$

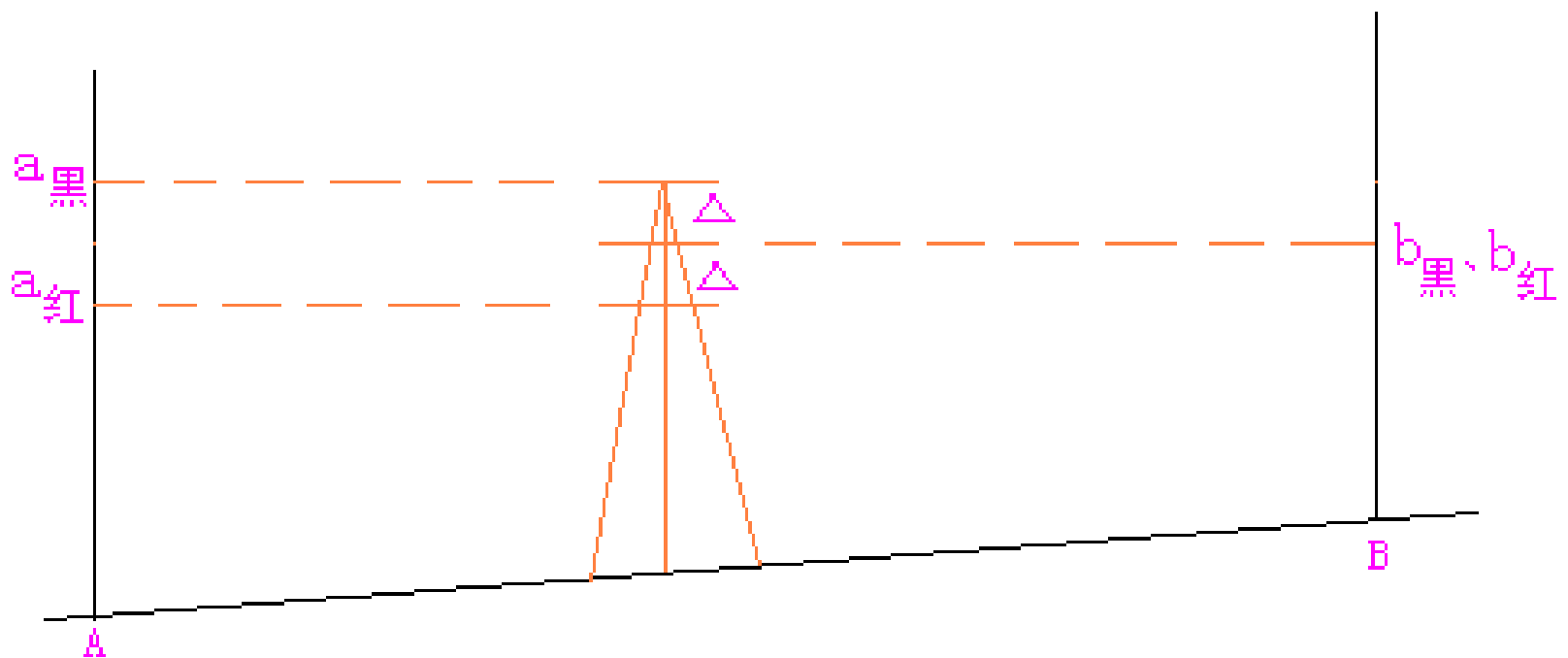




### 三、外界环境的影响

#### 1. 仪器下沉

由于仪器下沉，使视线降低，从而引起高差误差。采用“后、前、前、后”的观测程序，可减弱其影响。



#### 2. 尺垫下沉

如果在转点发生尺垫下沉，将使下一站后视读数增大。采用往返观测，取平均值的方法可以减弱其影响。

#### 3. 大气折光影响

对策是避免用接近地面的视线工作，尽量抬高视线，用前后视等距的方法进行水准测量。

#### 4. 温度对仪器的影响

温度会引起仪器的部件涨缩，从而可能引起视准轴的构件（物镜，十字丝和调焦镜）相对位置的变化，或者引起视准轴相对与水准管轴位置的变化。由于光学测量仪器是精密仪器，不大的位移量可能使轴线产生几秒偏差，从而使测量结果的误差增大。



不均匀的温度对仪器的性能影响尤其大。例如从前方或后方日光照射水准管，就能使气泡“趋向太阳”---水准管轴的零位置改变了。

温度的变化不仅引起大气折光的变化，而且当烈日照射水准管时，由于水准管本身和管内液体温度升高，气泡向着温度高的方向移动，影响仪器水平，产生气泡居中误差，观测时应注意撑伞遮阳。

## §4-5 水准仪的检验与校正

### 一、水准仪的轴系及各轴系之间应满足的条件

水准仪的轴系包括视准轴、水准轴、竖轴和圆水准器轴，它们之间应满足如下条件：

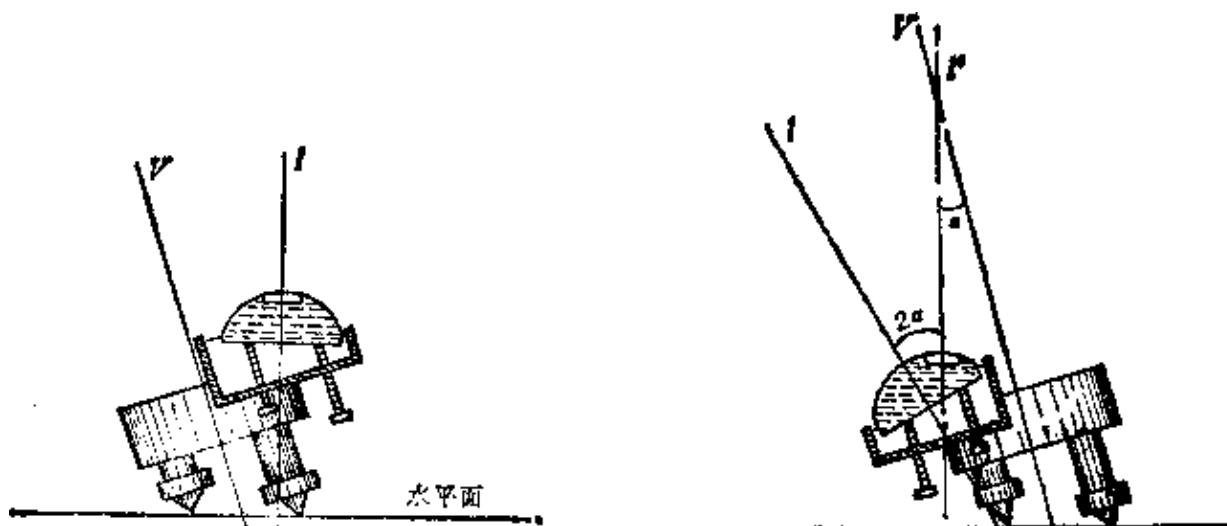
- 1、圆水准器轴平行于仪器的竖轴
- 2、水准轴平行于视准轴

另外，为了方便用十字丝横丝瞄准目标并读数，还应满足：

- 3、十字丝横丝应直于竖轴

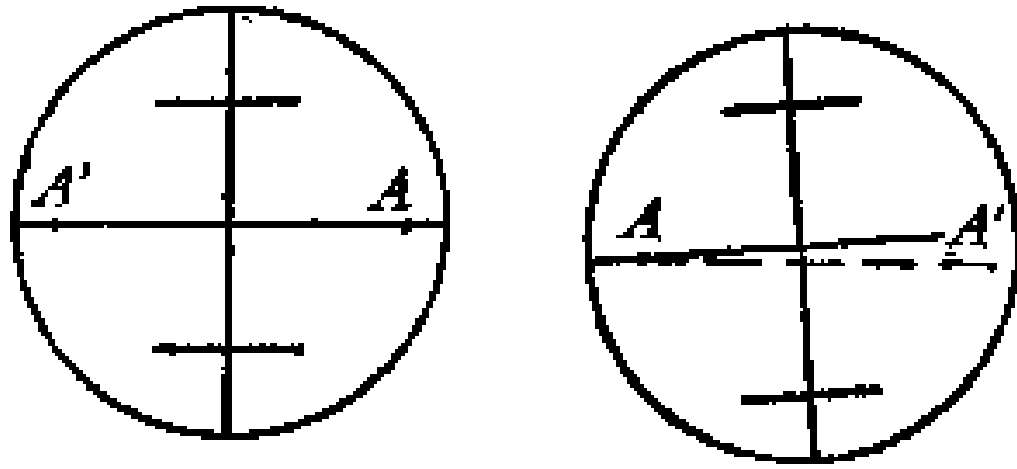
### 二、圆水准器轴平行于仪器的竖轴的检验和校正

- 1、检验 转动脚螺旋，使圆水准器的气泡居中，然后将仪器旋转  $180^\circ$ ，如果气泡仍居中，则说明满足此条件，否则，需要校正。
- 2、校正 旋转脚螺旋使气泡向中心移动偏距的一半，然后用校正针拨圆水准器底下的三个校正螺丝使气泡居中。在拨动各个校正螺丝以前，应先松一下松紧螺丝，校正完毕后勿忘把松紧螺丝再旋紧。此项检验和校正应反复进行，直至满足条件为止。



### 三、十字丝横丝应直于竖轴的检验和校正

- 1、检验 精平仪器后，用十字丝横丝一端对准某一标志 A，拧紧制动螺旋，转动微动螺旋的同时观察 A 点的移动轨迹与十字丝横丝是否重合，如果重合，则说明满足此条件，否则，需要校正。
- 2、校正 打开十字丝分划板的护盖，松开十字丝分划板座上四个固定螺丝，轻轻地转动分划板座，使横丝与 A 点的移动轨迹重合。此项检验和校正应反复进行，直到 A 点的移动轨迹与十字丝横丝重合为止。最后，拧紧固定螺丝，旋上十字丝分划板护盖。

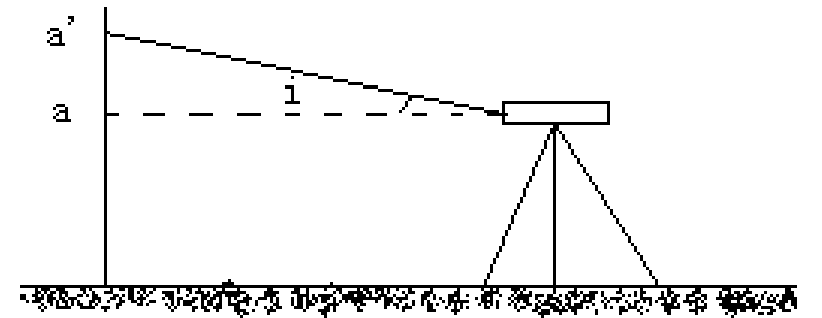


#### 四、水准轴平行于视准轴的检验和校正

##### (一) 检验原理

##### 1、i角误差的对读数的影响

$$\Delta a = a' - a = \frac{S \cdot i''}{\rho''}$$



##### 2、i角误差的对测高差的影响

$$h_{AB} = a - b = (a' - \Delta a) - (b' - \Delta b) = a' - b' - \frac{i''}{\rho''}(S_a - S_b)$$

##### 3、i角误差的检验原理

在地面选定两个固定点 A、B，在不同的位置测出 A、B 的两次高差

$$\text{第一次测量: } h_{AB} = h_{AB}' - \frac{i}{\rho}(S_a' - S_b')$$

$$\text{第二次测量: } h_{AB} = h_{AB}'' - \frac{i}{\rho}(S_a'' - S_b'')$$

$$i = \frac{h_{AB}'' - h_{AB}'}{(S_a'' - S_b'') - (S_a' - S_b')} \rho$$

##### (二) 检验

① 在比较平坦的地面上选取距离为 20.6 米的 A、B 两点，然后在 BA 延长线上选取一点 1，使 1 到 A 的距离等于 20.6 米，最后在 AB 延长线上选取 2 点，使 2 点到 B 点的距离也等于 20.6 米。

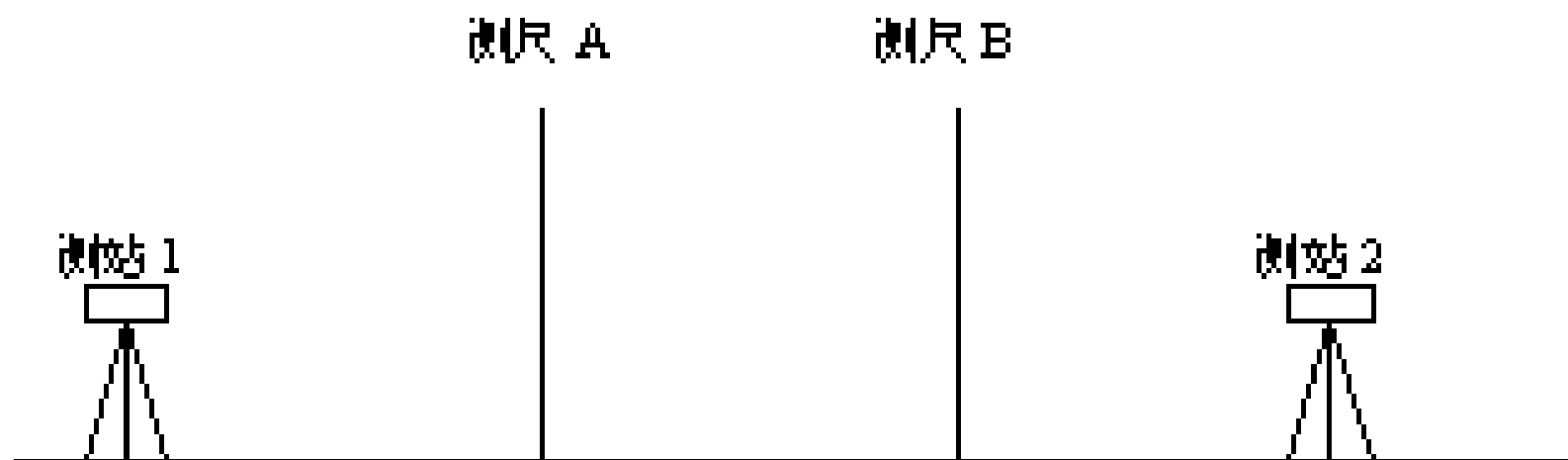
② 在 A、B 两点放上尺垫并在尺垫上竖立水准尺，在 1 点架设水准仪分别读取在 A、B 两点所竖立的水准尺上的中丝读数  $a_1$ 、 $b_1$ （为了提高  $a_1$ 、 $b_1$  的精度，可在 A、B 两点水准尺上读中丝读数 3 至 4 次，然后取其平均

值);

③ 将水准仪搬至 2 点, 以同样的方法分别获取 A、B 两点所竖立的水准尺上的中丝读数  $a_2$ 、 $b_2$ ;

④ 根据下式即可计算出水准轴与视准轴之间的夹角  $i$  角:

$$i'' = \frac{(a_1 - b_1) - (a_2 - b_2)}{2 S_{AB}} \rho''$$



(三) 校正  
 此时仪器在 2 点, 先计算出视准轴水平时在 A 尺上的正确读数

$$a'_2 = a_2 - S_a \cdot \frac{i'}{\rho'}$$

此处  $S_a = 41.2\text{m}$ 。然后转动微倾螺旋, 使 A 尺上的中丝

读数变为  $a'_2$ , 此时水准管气泡必然不居中, 用校正针拨动水准管上、下两校正螺丝, 使气泡重新居中。此项检验与校正应反复进行, 直至  $i$  角误差在规定的限差之内为止。

## 第五章 角度、距离测量与全站仪

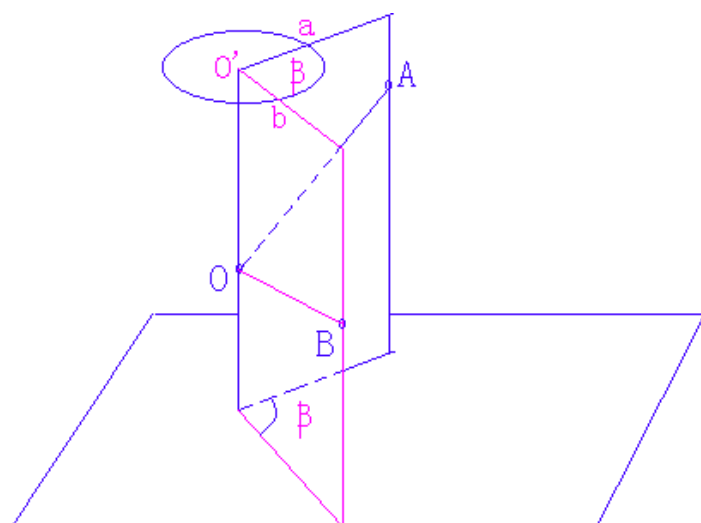
### §5-1 角度测量原理

#### 一、水平角与竖直角定义

水平角: 空间的角度在水平面上的投影, 其大小在  $0^\circ \sim 360^\circ$  之间。

竖直角: 视线与水平线之间的夹角, 其大小在  $-90^\circ \sim 90^\circ$  之间。

#### 二、水平角观测原理



要观测水平角必须要对中、整平

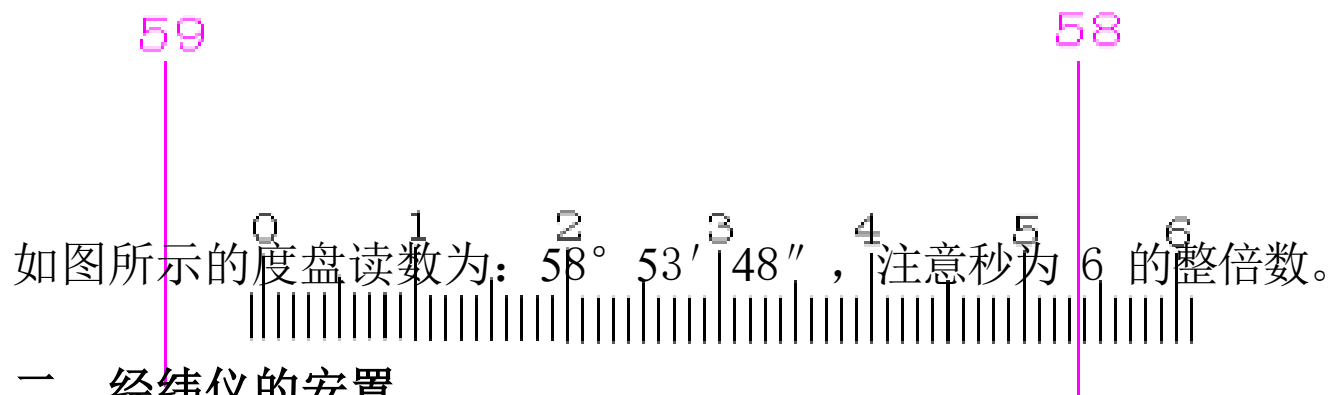
## §5-2 经纬仪

### 一、经纬仪的构造

经纬仪的型号有：DJ<sub>07</sub>、DJ<sub>2</sub>、DJ<sub>6</sub>、DJ<sub>15</sub> 等  
分为三部分：

- 1、照准部
- 2、水平度盘
- 3、基座

度盘的读数方法：



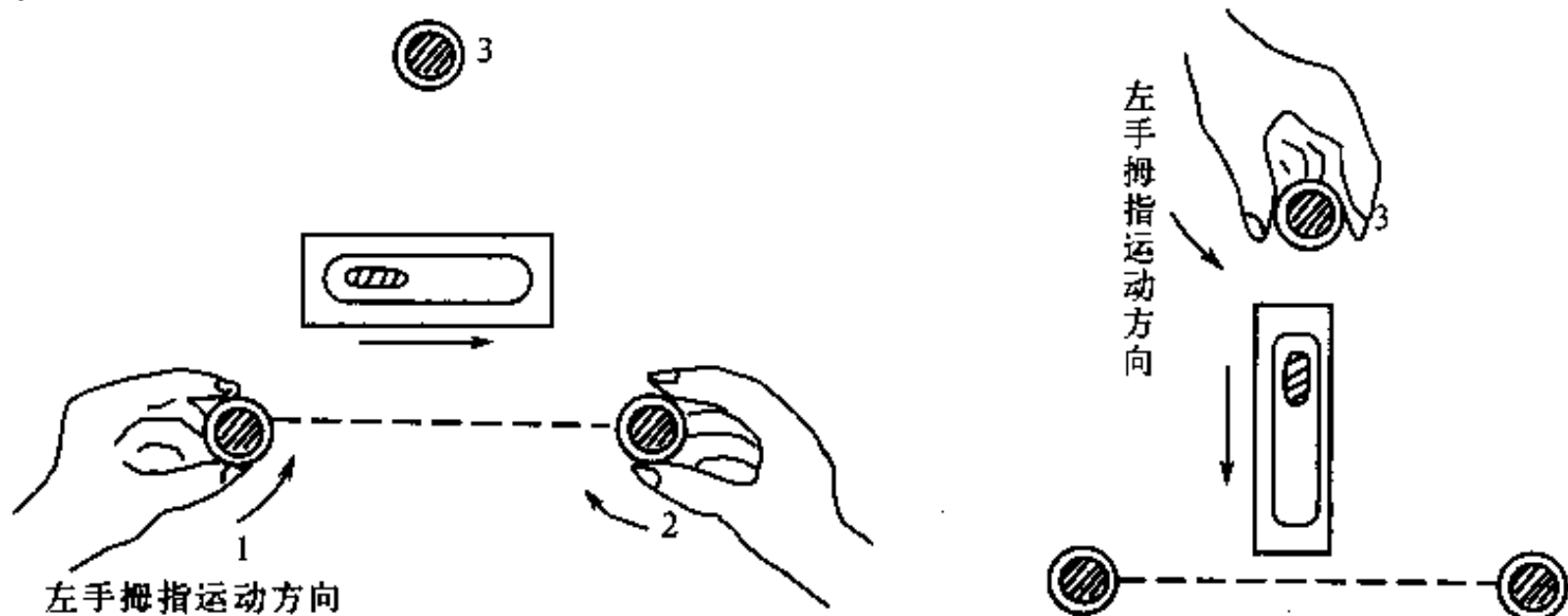
### 二、经纬仪的安置

#### 1、对中：

- A、先打开三脚架，使架头的中心大致对准测站点，同时保持架头大致水平；
- B、装上仪器，看光学对中器是否对准测站点，否则整体移动脚架和仪器，使光学对中器对准测站点。

#### 2、整平

...



- A、转动照准部，使水准管平行于任意两个脚螺旋，然后转动这两个脚螺旋使气泡居中；
- B、将照准部旋转 90°，转动另一只脚螺旋，使气泡居中；
- C、重复以上两个步骤，使照准部转至任何位置时气泡都居中为止。

光学对中步骤：对准、调平、整平、对中

- ① 打开三脚架，装上经纬仪；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/357032033001006111>