

# 绪论

广义数字测图：

1、地面数字测图：

利用全站仪或其它测量仪器进行野外数字化测图。

2、地图数字化：

利用数字化仪对纸质地形图进行数字化。

3、数字摄影测量与遥感：

利用航摄、遥感相片进行数字化测图。

## 第一章

### 1、大地水准面

一个假想的、与静止的海平面重合并向陆地延伸，且包围整个地球的特定重力等位面。

特点：

- 1) 一个封闭的曲面。
- 2) 一个略有起伏的不规则曲面，无法用数学公式精确表达。
- 3) 测量外业所依据的基准面。
- 4) 是唯一的，具体数值来自验潮站数据分析结果。

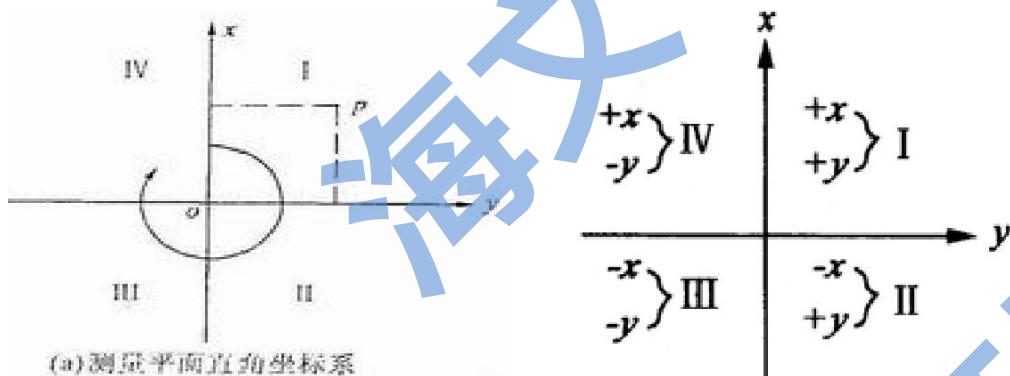
2、测量外业所依据的基准线是铅垂线

测量外业所依据的基准面是大地水准面

内业计算所依据的基准面是参考椭球面，基准线是法线

### 3、测量工作中的平面直角坐标系，与数学中的平面直角坐标系不同

X 轴为纵轴，表示南北方向，向北为正；Y 轴为横轴，表示东西方向，向东为正；象限顺序依顺时针方向排列。原因：以极坐标表示点位时，角度值以北方向为准，按顺时针方向计算。



### 4、高斯-克吕格投影——横轴等角切椭圆柱投影

将椭圆柱面横套在地球椭球体外面，使它与椭球上某一子午线（即中央子午线）相切，椭圆柱的中心轴通过椭球体中心，以正形投影方法，将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上，将此柱面展开成为投影面。

高斯投影的特点：

- (1) 中央子午线投影后为直线，且长度不变。距中央子午线愈远的子午线，投影后弯曲程度愈大，长度变形也愈大。
- (2) 除中央子午线外，其他子午线投影后，均向中央子午线弯曲，并向两极收敛，对称于中央子午线和赤道。
- (3) 对称于赤道的纬圈，投影后仍成为对称的曲线，并与子午线的投影曲线互相垂直且凹向两极。

分带：将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带

6° 带:

0° 子午线起, 每隔经差 6° 自西向东分带, 编号 1, 2, 3, ……60, 每带中间子午线为轴子午线或中央子午线, 各带相邻子午线叫分界子午线。

3° 带:

以 6° 带中央子午线和分界子午线为其中央子午线。东经 1.5° 子午线起, 每隔经差 3° 自西向东分带, 编号 1, 2, 3, ……120。

## 5、高斯平面直角坐标系

坐标原点: 中央子午线和赤道交点 O

纵坐标轴 X : 中央子午线的投影, 向北为正

横坐标轴 Y: 赤道的投影, 向东为正, 构成高斯平面直角坐标系。

## 6、高程

某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离, 称为该点的绝对高程或海拔, 简称高程, 用 H 表示。

相对高程(假定高程): 假定一个水准面作为高程基准面, 地面点至假定水准面的铅垂距离。用 H' 表示。

高差: 两点高程之差。

## 7、正、反坐标方位角:

➤ 正、反坐标方位角:

➤ 对直线 AB :

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BA} - 180^\circ$$

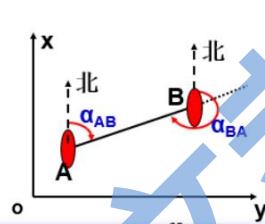
➤  $\alpha_{AB}$ 、 $\alpha_{BA}$  为正、反坐标方位角;

$$\alpha_{\text{正}} = \alpha_{\text{反}} \pm 180^\circ$$

➤ 对直线 BA :

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ$$

➤  $\alpha_{BA}$ 、 $\alpha_{AB}$  为正、反坐标方位角。



## 8、坐标方位角的推算:

面向某角站立, 前一条边(右手)的坐标方位角等后一条边(左手)的坐标方位角加上两条边之夹角。

例:

➤ 用坐标方位角的夹角表示图中  $\angle 1 \sim \angle 6$

$$\angle 1 = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}$$

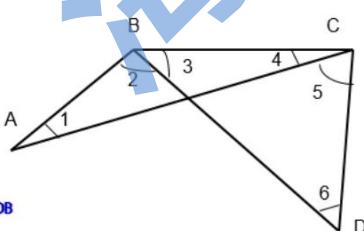
$$\angle 2 = \alpha_{BA} - \alpha_{BD}$$

$$\angle 3 = \alpha_{BD} - \alpha_{BC}$$

$$\angle 4 = \alpha_{CB} - \alpha_{CA}$$

$$\angle 5 = \alpha_{CA} - \alpha_{CD}$$

$$\angle 6 = \alpha_{DC} + 360^\circ - \alpha_{DB}$$



➤ 已知:

$$\alpha_{AB} = 357^\circ 32' 48''$$

$$\alpha = 41^\circ 54' 38''$$

$$\beta = 97^\circ 28' 55''$$

$$\gamma = 54^\circ 33' 16''$$

$$\delta = 104^\circ 55' 47''$$

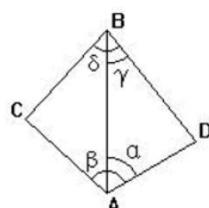
➤ 则:

$$\alpha_{AC} = \alpha_{AB} - (\beta - \alpha)$$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} + \delta - \gamma = \alpha_{AB} - 180^\circ + (\delta - \gamma)$$

$$\alpha_{AD} = \alpha_{AB} + \alpha - 360^\circ$$

$$\alpha_{BD} = \alpha_{BA} - \gamma = \alpha_{AB} - 180^\circ - \gamma$$



## 第二章

1、地物：地面各种固定性的物体，如道路、房屋、铁路、江河、湖泊、森林、草地及其他各种人工建筑物等。

地貌：地表面各种高低起伏的形态，如高山、深谷、陡坎、悬崖峭壁和雨裂冲沟等。

地形：地物和地貌的总称。

地形图：表示地物和地貌的平面图。

地形图的内容：

数学要素：比例尺、坐标格网等

地形要素：各种地物、地貌

注记和整饰要素：各类注记、说明资料和辅助图表

2、地图的比例尺

图上任一线段长度与地面上相应线段水平距离之比。

3、地形图符号

三类地形图符号：

地物符号：用来表示地物的类别、形状、大小及其位置。分为比例符号、非比例符号和半比例符号。 地貌

符号：等高线法，用它表示地面高低起伏的形态，确定地面点的高程，绘注相应符号表示峭壁、冲沟、梯田等特殊地形。

注记符号：包括地名注记和说明注记。说明注记包括文字和数字注记，用以补充说明对象质量、数量等属性。

4、等高线

等高线：即地面上高程相等的相邻点连成的闭合曲线。

原理：用一系列间距相等的水平截面去截某一高地，其截口边线投影到同一个水平面上，且按比例缩小描绘到图纸上，即等高线图。

等高距：地形图上相邻两高程不同的等高线之间的高差。

等高线平距：地形图上相邻等高线间的水平间距。等高线平距的大小与地面坡度的陡缓有着直接的关系。

## 第三章

1. 测量误差的分类：

(1) 系统误差：相同的观测条件下，对某一量进行一系列的观测，出现的误差在符号和数值上都相同，或按一定规律变化的误差。

(2) 偶然误差：相同观测条件下，对某一量进行一系列的观测，误差出现的符号和数值大小都不相同，从表面上看没有任何规律性的误差。

误差处理原则：多余观测

作用：为防止错误发生、提高观测成果精度，测量工作中，一般需要进行的多于必要的观测。

2. 偶然误差的计算：

设某一量真值为  $X$ ，相同观测条件下，对此量进行  $n$  次观测，得到观测值为  $l_1, l_2, \dots, l_n$ ，每次观测中产生的偶然误差（又称“真误差”）为  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ ，定义为：

$$\Delta_i = X - l_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

3. 偶然误差的特性：

- 1) 有界性：一定观测条件下的有限次观测中，偶然误差的绝对值不会超过一定的限值；
- 2) 密集性：绝对值小的误差出现的频率大，绝对值大的误差出现的频率小；
- 3) 对称性：绝对值相等的正、负误差具有大致相等的出现频率；
- 4) 抵偿性：观测次数无限增大时，偶然误差的理论平均值趋近于零。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$$

用公式表示为:

4. 中误差: 按有限次观测的偶然误差(真误差)求得的标准差:

测量工作中, 观测个数  $n$  是有限值, 只能得到  $\sigma$  (标准差) 的估值, 定义中误差  $m$  为标准差的估值。

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

$$\Delta_i = X - l_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

5. 相对误差: 观测值的中误差与观测值之比。(写成分子为 1 的分数形式, 分母取 100 的倍数, 只舍不进)

$$K = \frac{m}{l} = \frac{1}{\frac{l}{m}}$$

6. 算数平均值: 相同观测条件下, 对某未知量进行  $n$  次观测, 观测值分别为  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , 取其算术平均值, 作为最可靠值, 称最或是值。

$$\bar{x} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}$$

证明:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 = X - l_1 \\ \Delta_2 = X - l_2 \\ \dots \\ \Delta_n = X - l_n \end{array} \right.$$

两边取和并除以  $n$

$$\frac{[\Delta]}{n} = X - \frac{[l]}{n}$$

由偶然误差第四特性

$$\frac{[\Delta]}{n} = 0 \rightarrow X = \frac{[l]}{n} = \bar{x}$$

从而证得:  $X = \bar{x} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}$

7. 观测值的改正值: 算术平均值与观测值之差。 $v = \bar{x} - l$

证明:  $[v] = 0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 = \bar{x} - l_1 \\ v_2 = \bar{x} - l_2 \\ \dots \\ v_n = \bar{x} - l_n \end{array} \right.$$

两边取和

$$[v] = n\bar{x} - [l]$$

$$\bar{x} = \frac{[l]}{n} \rightarrow [v] = n \cdot \frac{[l]}{n} - [l] = 0$$

8. 按观测值的改正值计算中误差:

对有限的  $n$  次观测值求算术平均值, 由其计算改正值, 用算术平均值代替真值, 用改正值代替真误差, 按观测值的改正值计算观测值中误差:

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

证明：

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= X - l_1 & v_1 &= \bar{x} - l_1 & \Delta_1 &= v_1 + (X - \bar{x}) \\
 \Delta_2 &= X - l_2 & v_2 &= \bar{x} - l_2 & \Delta_2 &= v_2 + (X - \bar{x}) \\
 \dots & & \dots & & \dots & \\
 \Delta_n &= X - l_n & v_n &= \bar{x} - l_n & \Delta_n &= v_n + (X - \bar{x}) \\
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\Delta] &= [v] + n(X - \bar{x}) & [\Delta\Delta] &= [vv] + 2[v](X - \bar{x}) + n(X - \bar{x})^2 \\
 [\Delta] &= n(X - \bar{x}) & [\Delta\Delta] &= [vv] + n(X - \bar{x})^2 & m &= \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \\
 X - \bar{x} &= \frac{[\Delta]}{n} & (X - \bar{x})^2 &= \frac{[\Delta\Delta]}{n^2} & [\Delta\Delta] &= \frac{[vv]}{n-1} \\
 (X - \bar{x})^2 &= \frac{[\Delta]^2}{n^2} = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n^2} + \frac{2(\Delta_1\Delta_2 + \Delta_1\Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1}\Delta_n)}{n^2} & m &= \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}
 \end{aligned}$$

、按观测值的改正值计算中误差

**总结—计算步骤：**

➤ 计算最或是值：

$$\bar{x} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}$$

➤ 计算改正数：

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \hat{x} - l_1 \\
 v_2 &= \bar{x} - l_2 \\
 \vdots & \\
 v_n &= \bar{x} - l_n
 \end{aligned}$$

➤ 检核：

$$[v] = 0$$

➤ 计算改正数的平方和：

$$[vv] = \sum_{i=1}^n v_i^2 = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2$$

➤ 计算中误差：

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

条件	计算真误差	计算平均值、计算中误差 改正值	
真值X已知	$\Delta_i = X - l_i$		$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$
真值X未知		$\bar{x} = \frac{[l]}{n}$ $v_i = \bar{x} - l_i$	$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$

例：

$$12 \quad | \quad \begin{matrix} 2 & 2 \\ 1 & 2 \end{matrix} \quad + \Delta_n = \pm [\Delta\Delta]$$

$$\Delta_i = X - l_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

次序

第一组观测  
第二组观测  
观测值 1  
△  
△  
观测值 1  
△  
△  
1  
180° 00' 03"  
-3  
9  
180° 00' 00"  
0  
0  
2  
180° 00' 02"

次序	观测值 $l/m$	改正 值 $v/m$	$vv/m^2$	计算 $\bar{x}$ , m
1	120.031	-0.014	0.000196	
2	120.025	-0.008	0.000064	
3	119.983	+0.034	0.001156	
4	120.047	-0.030	0.0009	
5	120.040	-0.023	0.000529	
6	119.976	+0.041	0.001681	
$\Sigma$	720.102	0.000	0.004526	

9.按观测值的中误差计算算术平均值的中误差的公式:

$$m_x = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{v}{n(n-1)}}$$

算术平均值的中误差是观测值改正值中误差的  $1/\sqrt{n}$  倍。

### 10. 误差传播定律:

- 1、**和差函数**: 分段丈量时 
$$z = x_1 \pm x_2 \cdots \pm x_n$$
- 2、**倍函数**: 比例尺 
$$z = kx$$
- 3、**线性函数**: 算术平均值 
$$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \cdots \pm k_n x_n$$
- 4、**一般函数**: 线、非线性 
$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

一般函数的中误差:

$$m_z = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2} \quad (\text{这是误差传播定律的一般式。})$$

倍数函数的中误差:  $m_z = km_x$

和差函数的中误差:  $m_z = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$

推广到  $n$  个观测情况:  $m_z = \pm \sqrt{m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + \cdots + m_{x_n}^2}$

推广到等精度观测的情况:  $m_z = \pm \sqrt{m^2 + m^2 + \cdots + m^2} = \sqrt{n}m$

对和差和倍数组成的一般线性函数:  $m_z = \pm \sqrt{k_1 m_{x_1}^2 + k_2 m_{x_2}^2 + \cdots + k_n m_{x_n}^2}$

## 第四章

### 1、水准测量原理

水准测量: 使用水准仪和水准尺, 根据水平视线测定两点之间的高差, 从而由已知点高程推求未知点高程。

### 2、水准仪的使用

#### 1. 基本操作:

##### (1) 安置水准仪

张开三脚架: 打开并调节架腿高度, 使架头大致水平。

安放水准仪: 将三脚架中心连接螺旋旋入仪器基座中心螺孔。

##### (2) 粗平

目的: 用脚螺旋将圆水准器的气泡调整居中。

操作: 先用双手分别以相对方向转动两个脚螺旋, 使圆气泡移到两脚螺旋连线方向的中间。然后再转动第三个脚螺旋, 使圆气泡居中。

##### (3) 瞄准

目的: 使目标和十字丝成像清晰

##### (4) 精确整平

转动微倾螺旋调整水准管气泡居中, 使视线精确水平(自动安平水准仪省去这一步骤)。

##### (5) 读数

### 3、水准路线三种形式:

附合水准路线: 水准测量从一个高级水准点开始, 结束于另一高级水准点

闭合水准路线：从已知高程的水准点开始，最后又闭合到起始点上。

水准支线：由已知高程的水准点开始，最后没有闭合到起始点，也没有结束语另一高级水准路线。

4、双面尺法：后（黑）前（黑）前（红）前（红）

5、水准测量时，为什么要求后视与前视距离大致相等？

可以消除视准轴与水准管轴不平行的误差（ $i$  角误差）、调焦误差

6、误差来源

一、仪器误差

1、视准轴与水准管轴不平行的误差 2、交叉误差 3、水准尺误差

二、观测误差

1、精平误差 2、调焦误差 3、估读误差 4、水准尺倾斜误差

三、外界环境的影响

1、水准仪水准尺下沉误差 2、大气折光的影响 3、日照及风力引起的误差

7、高差闭合差

### 水准点高程的计算

计算步骤—总结：

1、高差闭合/附合差的计算：

检核： $f_h \leq f_{h\text{允}}$

$$f_h = \sum h_{\text{测}}$$

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

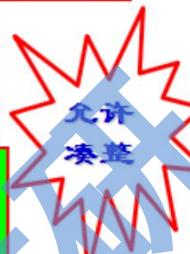
2、高差闭合/附合差的分配：

检核：

$$\sum v = -f_h$$

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum L} \cdot L_i$$

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum n} \cdot n_i$$



3、计算改正后高差：

$$\bar{h}_i = h_i + v_i$$

4、计算各测点高程：

$$H_i = H_{\text{始}} + \bar{h}_1 + \bar{h}_2 + \dots + \bar{h}_i$$

检核：

$$H'_{\text{始}} = H_{\text{始}}$$

$$H'_{\text{终}} = H_{\text{终}}$$

## 第五章

1、测回法

### 水平角观测

1、测回法

上半测回

1. 顺时针旋转，盘左，粗略瞄准A点上标杆。

2. 水平、竖直制动，水平、竖直微动，精确瞄准，读数 $a_1$ 。

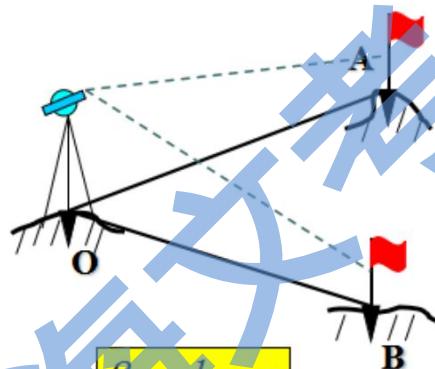
3. 顺时针旋转，同法瞄准B点读数 $b_1$ ：

下半测回

1. 倒转望远镜，逆时针旋转，盘右，瞄准B点，读数 $b_2$ 。

2. 逆时针转动，瞄准A点，读数 $a_2$ ：

上、下两个半测回合称一个测回。



$$\beta = b_2 - a_2$$

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{\text{左}} + \beta_{\text{右}})$$

(1) 顺时针度盘：望远镜视线上仰，竖盘读数减少，则：

➤ 坚直角 = 视线水平时坚盘读数 - 瞄准目标时坚盘读数

$$\begin{cases} \alpha_{左} = 90^{\circ} - L \\ \alpha_{右} = R - 270^{\circ} \end{cases}$$

(2) 逆时针度盘：望远镜视线上仰，竖盘读数增加，则：

➤ 坚直角 = 瞄准目标时坚盘读数 - 视线水平时坚盘读数

$$\begin{cases} \alpha_{左} = L - 90^{\circ} \\ \alpha_{右} = 270^{\circ} - R \end{cases}$$

对 J6，上下半测回间角值互差  $\leq \pm 40''$ ；

多个测回观测时：

各测回间角值互差  $\leq \pm 24''$ ；

如，3个测回时，度盘起始读数分别为  $0^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $120^{\circ}$ 。

➤ 角度闭合差的限差，四等三级导线是  $24\sqrt{n}$

## 2、竖直角

### 1、竖直角计算

➤ 顺时针注记：

$$\begin{cases} \delta_L = 90^{\circ} - L \\ \delta_R = R - 270^{\circ} \end{cases}$$

➤ 一测回角值：

$$\begin{aligned} \delta &= (\delta_L + \delta_R) / 2 \\ &= \frac{1}{2} [(R - L) - 180^{\circ}] \end{aligned}$$

➤ 逆时针注记：

$$\begin{cases} \delta_L = L - 90^{\circ} \\ \delta_R = 270^{\circ} - R \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \delta &= (\delta_L + \delta_R) / 2 \\ &= \frac{1}{2} [(L - R) - 180^{\circ}] \end{aligned}$$

竖盘指标差：  $x = \frac{1}{2} [L + R - 360^{\circ}]$

对 J6，同一测站上观测不同目标时，竖盘指标差变化容许值，即竖盘指标差的互差的限差为  $25''$

3、安置经纬仪时，为何要进行对中、整平（目的）？

对中目的：使仪器水平度盘中心与测站点标志中心在同一铅垂线上；

整平目的：使仪器竖轴竖直，并使水平度盘居于水平位置。

4、角度测量为何要正、倒镜观测？

盘左、盘右取平均值计算竖直角，其角值不受竖盘指标差的影响。

5、三角高程测量原理

根据两点间水平距离或倾斜距离、竖直角计算两点间高差。

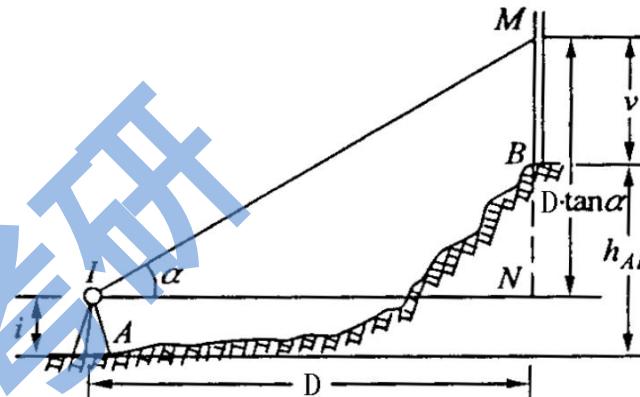
仪器高：经纬仪水平轴到 A 点的高度。

视高：标杆顶部到 B 点的高度

根据竖盘读数，算得竖直角，量取仪器高  $i$ 、觇标高  $v$ ，进行计算：

$$h = l \tan \delta + v \quad h = L \sin \delta + v$$

$$H_B = H_A + h = H_A + l \tan \delta + v$$



三角高程闭合差与路线长度成正比反号分配

## 第六章

1、钢尺量距往返测相对误差：

$$K = \frac{l_{\text{往}} - l_{\text{返}}}{l_{\text{平均}}} \quad K \leq \frac{1}{2000}$$

2、光电测距的测距标准偏差公式：

$$m_D = \pm (A + B \cdot D \cdot 10^{-6})$$

测距标准差 → 固定误差   比例误差系数   被测距离值

3、测距过程

将测距仪和反射镜分别安置在测线两端，仔细对中。接通测距仪电源，然后照准反射镜，开始测距。  
为防止粗差、减少照准误差影响，可进行若干测回观测。

一测回含义：照准目标 1 次，读数 2~4 次。

4、加常数改正、乘常数改正

加常数：测距仪距离起算中心与仪器安置中心不一致，以及反射镜等效反射面与反射镜安置中心不一致，使仪器测得距离与所要测定实际距离不相等，其差数称为测距仪的加常数。

乘常数：当频率偏离其标准值而引起的一个计算改正数的乘系数，也称为比例因子。

## 第七章

1、全站仪：全站型电子速测仪的简称，集电子经纬仪、光电测距仪和微处理器于一体。  
2、自动全站仪：是一种能自动识别、照准和跟踪反射棱镜的一种全站仪，又称为测量机器人。  
3、角度测量：方法：与经纬仪相同。

当精度要求不高时——只需半测回：

瞄准 A 点——置零（OSET）——瞄准 B 点，记下水平度盘 HR 的大小。

当精度要求高时：——可用测回法

4、距离测量：1) 棱镜常数（PSM）设置。一般：PRISM=0（原配棱镜），-30mm（国产棱镜）

2) 大气改正数 (PPM) (乘常数) 设置。输入测量时气温、气压，或经计算后输入 PPM 值。方法：照准棱镜点，按 MEAS 键。

## 5、坐标测量原理：

### 1) 平面坐标 (X, Y) 测量原理

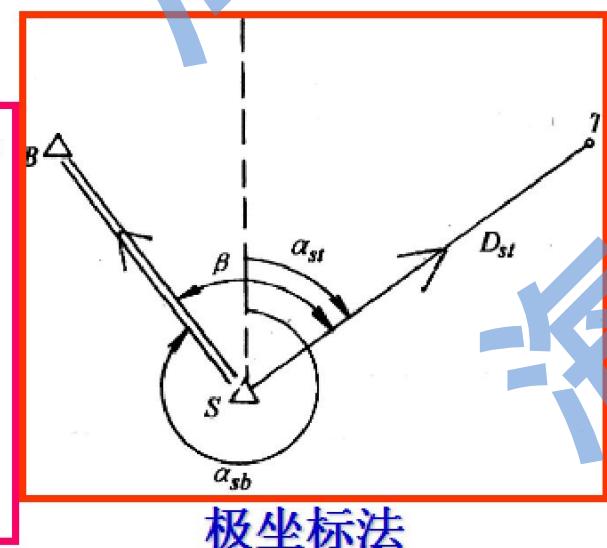
若输入：方位角  $\alpha_{sb}$ ，测站坐标  $(X_s, Y_s)$ ；

测出：水平角  $\beta$  和平距  $D_{st}$ ，则有：

$$\text{方位角: } \alpha_{st} = \alpha_{sb} + \beta$$

$$\text{坐标: } X_t = X_s + D_{st} \cdot \cos \alpha_{st}$$

$$Y_t = Y_s + D_{st} \cdot \sin \alpha_{st}$$



极坐标法

### 2) 高程 (Z) 测量原理

输入：测站 S 高程  $Z_s$ ，

测出：仪器高  $i$ ，棱镜高  $t$ ，平距  $D_{st}$ ，竖盘读数  $Z_{st}$ ，则有：

$$\text{高程: } Z_t = Z_s + i - t + D_{st} / \tan Z_{st}$$

## 第九章

### 1、测量的两大原则：

“步步有检核”。

“从整体到局部，先控制后碎部”。(即先在测区内建立控制网，以控制网为基础，分别从各个控制点开始施测控制点附近的碎部点)

### 2、具有控制意义的点称为控制点；

其组成的几何图形称为控制网；

对控制网进行布设、观测、计算，确定控制点位置的工作称为控制测量。

3、导线：将控制点用直线连接起来形成折线，这些控制点称为导线点，点间的折线边称为导线边，相邻导线边之间的夹角称为转折角（又称导线折角，导线角）。与坐标方位角已知的导线边（称为定向边）相连接的转折角，称为连接角（又称定向角）。

导线测量：通过观测导线边的边长和转折角，根据起算数据经计算而获得导线点的平面坐标。

#### 4、平面控制点坐标计算基础

►平面控制点坐标计算基础：

1.坐标方位角的推算

►两大原则：

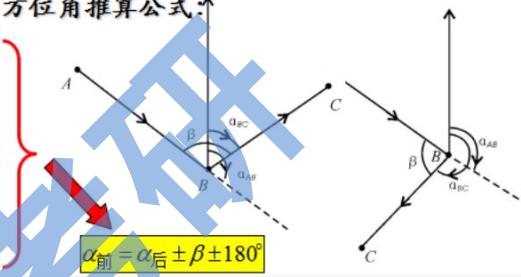
►有相同端点的两条边，右侧边的坐标方位角等于左侧边的坐标方位角加上两边之间的夹角；

►同一条边的正反方位角相差 $180^\circ$ 。

►沿导线前进方向，方位角推算公式：

$$\begin{aligned}\alpha_{BC} &= \alpha_{BA} + \beta_{\pm} - 360^\circ \\ &= \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_{\pm} - 360^\circ \\ &= \alpha_{AB} + \beta_{\pm} - 180^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{AB} &= \alpha_{BA} - 180^\circ \\ &= \alpha_{BC} - \beta + 360^\circ - 180^\circ \\ &= \alpha_{BC} - \beta + 180^\circ\end{aligned}$$



#### 2、平面直角坐标正、反算

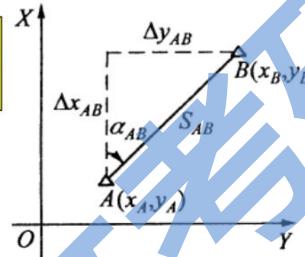
►坐标正算：

►已知两点间水平距离和坐标方位角，及其中一点的直角坐标，求另一点的直角坐标。

$$\begin{cases} x_B = x_A + \Delta x_{AB} \\ y_B = y_A + \Delta y_{AB} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta x_{AB} = S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \\ \Delta y_{AB} = S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_B = x_A + S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \\ y_B = y_A + S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \end{cases}$$



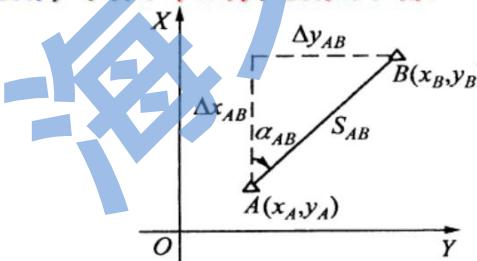
►坐标反算：

►已知两点的直角坐标，求其水平距离和坐标方位角。

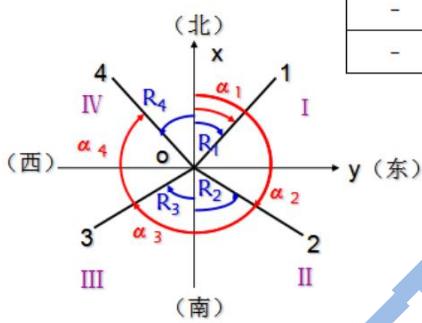
$$\begin{cases} \Delta x_{AB} = x_B - x_A \\ \Delta y_{AB} = y_B - y_A \end{cases}$$

$$\alpha_{AB} = \arctan \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

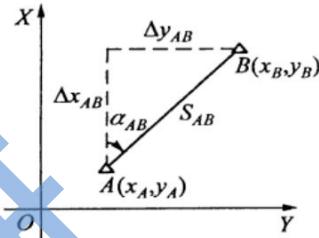
$$S_{AB} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2}$$



$$R = \arctan \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

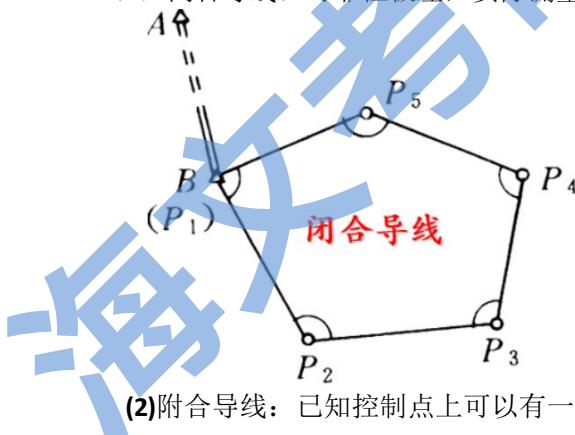


$\Delta x_{AB}$	$\Delta y_{AB}$	象限	坐标方位角
+	+	I	$\alpha_{AB} = R$
+	-	II	$\alpha_{AB} = 180^\circ + R$
-	-	III	
-	+	IV	$\alpha_{AB} = 360^\circ + R$

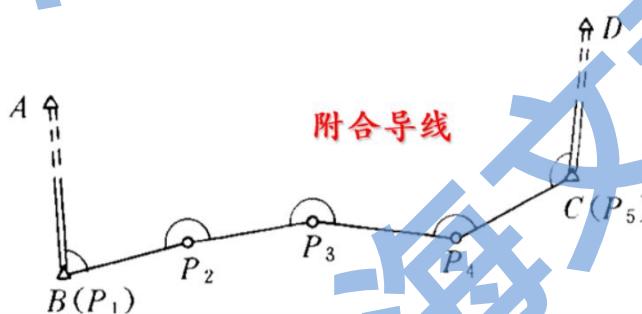


## 5、导线的布设

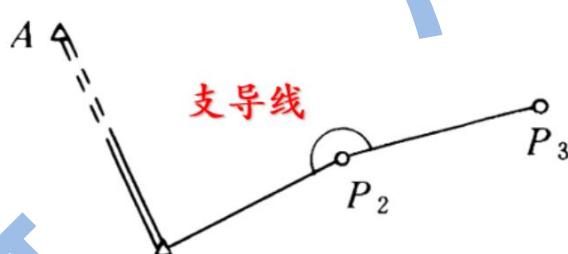
(1) 闭合导线: 可靠性极差, 实际测量工作中应避免单独使用.



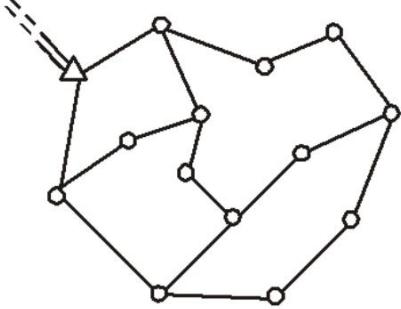
(2) 附合导线: 已知控制点上可以有一条边或几条定向边与之相连接, 也可以没有定向边与之相连接。



(3) 支导线: 缺乏检核条件, 只限于地形测量的图根导线中采用。



(4) 自由导线网: 可靠性极差, 实际测量工作中应避免单独使用。



自由导线网

6、导线内业计算五个步骤:

### 1.闭合导线的计算

#### ①角度闭合差的计算与调整

➢  $n$ 边形内角和:

➢ 角度闭合差计算:

➢ 角度闭合差调整:

➢ 满足  $f_\beta \leq f_{容}$  时,  $\beta$

➢ 余数加长短边组成成角上。

➢ 检核:

$$\sum V_{\beta_i} = -f_\beta$$

#### 1. 闭合导线的计算——总结:

##### ① 角度闭合差计算和调整

$$f_\beta = \sum \beta_{测} - (n-2) \times 180^\circ$$

$$V_{\beta_i} = -\frac{f_\beta}{n}$$

$$\sum V_{\beta_i} = -f_\beta$$

##### ② 坐标方位角推算

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \frac{\beta_{左}}{\beta_{右}} \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{ln} + \frac{\beta_{左}}{\beta_{右}} \pm 180^\circ$$

$$\begin{cases} \Delta x = l \cos \alpha \\ \Delta y = l \sin \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_x = \sum \Delta x_{测} \\ f_y = \sum \Delta y_{测} \end{cases}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$V_{xi} = -\frac{f_x}{\sum l} l_i$$

$$K = \frac{f}{\sum l} = \frac{1}{\sum l}$$

$$V_{yi} = -\frac{f_y}{\sum l} l_i$$

##### ③ 坐标增量计算

##### ④ 坐标增量闭合差计算和调整

##### ⑤ 坐标计算

$$f_\beta =$$

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} + \Delta x_{(i-1)i} + V_{x(i-1)} \\ y_i = y_{i-1} + \Delta y_{(i-1)i} + V_{y(i-1)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_1 = x_n + \Delta x_{nl} + V_{xn} \\ Y_1 = y_n + \Delta y_{nl} + V_{yn} \end{cases}$$

$$V_{\beta_i} = -\frac{J\beta}{n}$$

$$\beta'_i = \beta_i + V_{\beta_i}$$

$$\begin{cases} \sum V_x = -f_x \\ \sum V_y = -f_y \end{cases}$$

### ②坐标方位角的推算

➢ 推算原则: 导线前一边的坐标方位角等于后一边的坐标方位角加上导线的左角。

$$\alpha_{23} = [\alpha_{21} + \beta_2] = (\alpha_{12} - 180^\circ) + \beta_2$$

$$\alpha_{34} = [\alpha_{32} + \beta_3] = (\alpha_{23} + 180^\circ) + \beta_3$$

$$\alpha_{45} = [\alpha_{43} + \beta_4] = (\alpha_{34} + 180^\circ) + \beta_4$$

$$\alpha_{51} = [\alpha_{54} + \beta_5] = (\alpha_{45} \mp 180^\circ) + \beta_5$$

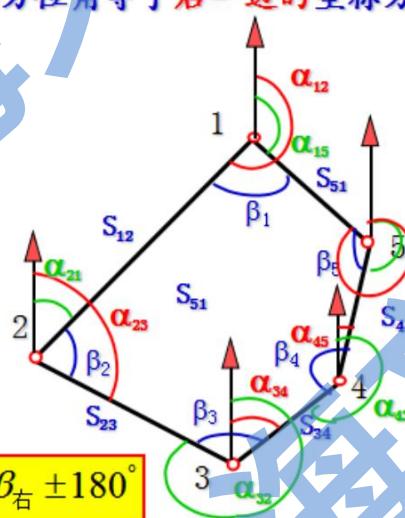
$$\alpha_{12} = [\alpha_{15} + \beta_1] = (\alpha_{51} - 180^\circ) + \beta_1$$

检核

$$0 = 180^\circ + \sum \beta_{测}$$

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \beta_{左} \pm 180^\circ$$

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} - \beta_{右} \pm 180^\circ$$



### ③坐标增量的计算

#### ➤ 计算坐标增量的公式

➤ X轴：该地的子午线，向北为正；

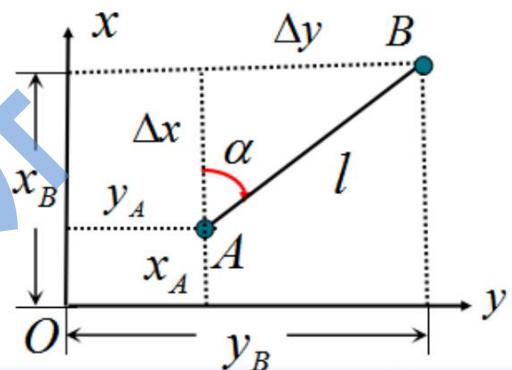
➤ Y轴：垂直于X轴，向东为正。

#### ➤ 坐标正算：

➤ 已知某个线段的长度和坐标方位角，求坐标增量的过程。

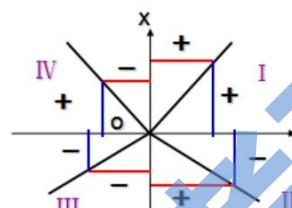
$$\begin{cases} \Delta x = x_B - x_A \\ \Delta y = y_B - y_A \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta x = l \cos \alpha \\ \Delta y = l \sin \alpha \end{cases}$$



坐标增量的正负号

$$\begin{cases} \Delta x = l \cos \alpha \\ \Delta y = l \sin \alpha \end{cases}$$



坐标方位角	象限	$\cos \alpha$ 的符号	$\sin \alpha$ 的符号	$\Delta x$	$\Delta y$
$0^\circ \sim 90^\circ$	I	+	+	+	+
$90^\circ \sim 180^\circ$	II	-	+	-	+
$180^\circ \sim 270^\circ$	III	-	-	-	-
$270^\circ \sim 360^\circ$	IV	+	-	+	-

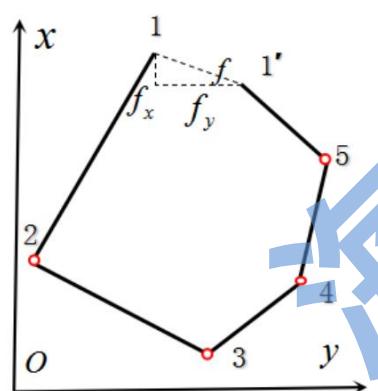
### ④坐标增量闭合差的计算及其调整

#### ➤ 计算：

$$\begin{cases} \sum \Delta x_{\text{理}} = 0 \\ \sum \Delta y_{\text{理}} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_x = \sum \Delta x_{\text{测}} - \sum \Delta x_{\text{理}} \\ f_y = \sum \Delta y_{\text{测}} - \sum \Delta y_{\text{理}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_x = \sum \Delta x_{\text{测}} \\ f_y = \sum \Delta y_{\text{测}} \end{cases}$$



➤ 导线全长闭合差  $f$ :

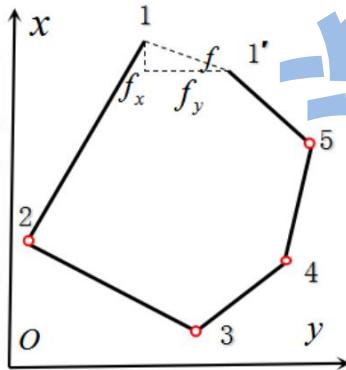
$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

➤ 导线全长相对闭合差  $K$ :

$$K = \frac{f}{\sum l} = \frac{1}{\sum l/f}$$

➤ 一般地区  $K \leq \frac{1}{2000}$

➤ 量距困难地区  $K \leq \frac{1}{1000}$



➤ 调整:

➤ 分配原则: 与边长成正比反号分配。

$$\begin{cases} V_{xi} = \frac{f_x}{\sum l} l_i \\ V_{yi} = -\frac{f_y}{\sum l} l_i \end{cases}$$

导线边每米长  $\Delta x$  的改正数

导线边每米长  $\Delta y$  的改正数

➤ 余数加较长边上。

➤ 检核:

$$\begin{cases} \sum V_x = -f_x \\ \sum V_y = -f_y \end{cases}$$

允许凑整

## ⑤ 坐标的计算

➤ 由起始点已知坐标、改正后

$$\begin{cases} x_i = x_{i-1} + \Delta x_i \\ y_i = y_{i-1} + \Delta y_i \end{cases}$$

➤ 检核:

$$\begin{cases} x_1 = x_n + \Delta x_n \\ y_1 = y_n + \Delta y_n \end{cases}$$

## 7、交会测量

前方交会: 在已知控制点上设站观测水平角, 根据已知点坐标和观测角值, 计算待定点坐标。

后方交会: 在待定点设站, 向三个已知控制点观测两个水平夹角, 从而计算待定点坐标。

测边交会: A、B、C 为已知点, P 为待定点, A、B、C 按逆时针排列, a、b、c 为边长观测值。自由设站: 在待定控制点上设站, 向多个已知控制点观测方向和距离, 并按间接平差方法计算待定点坐标

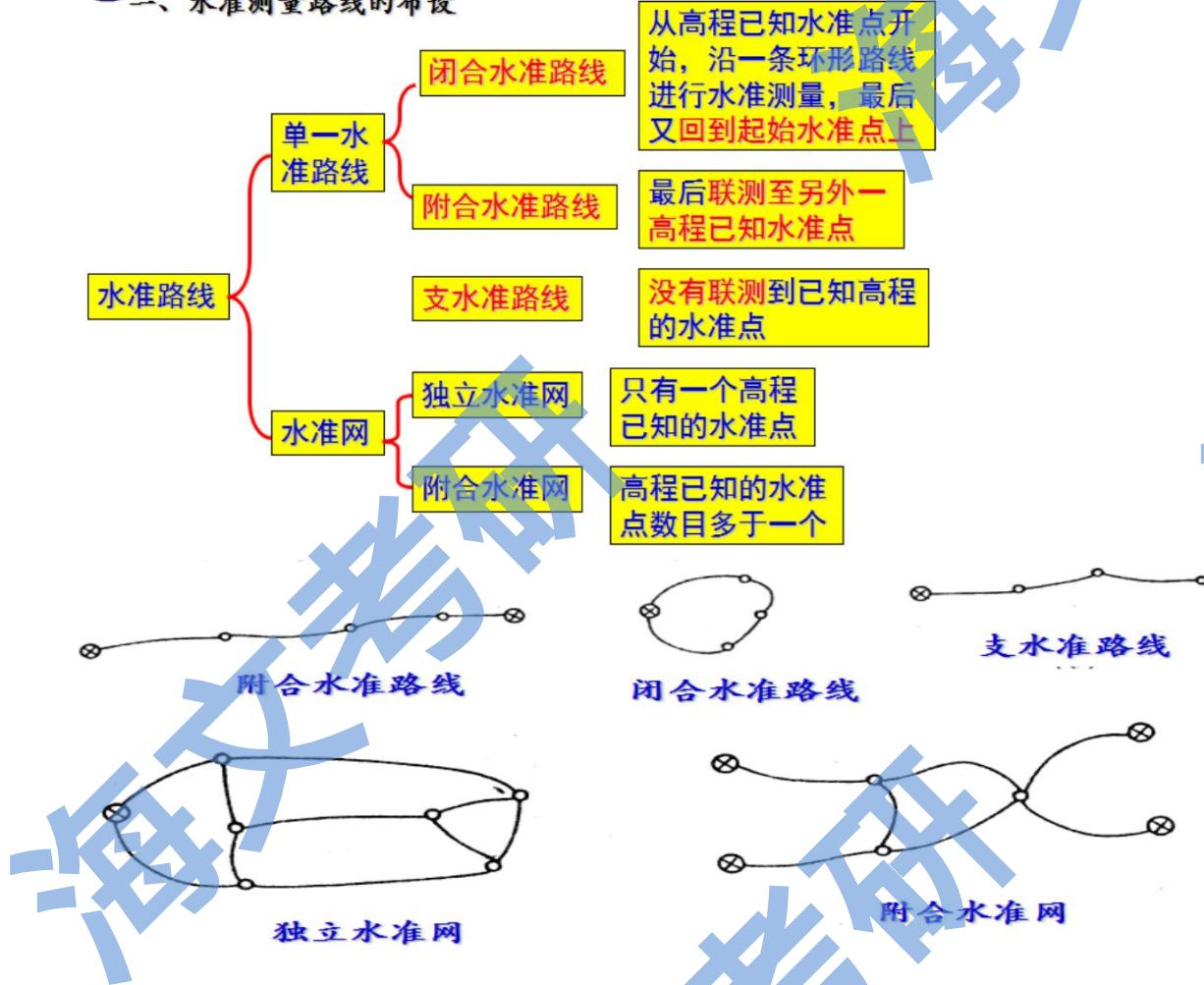
的一种控制测量方法。

8、控制测量目的: 为防止误差积累, 提高测量精度, 加快作业进度, 要先在测区内建立控制网, 以它为基础, 从其各控制点施测附近碎部点。

## 第十章

### 1、水准路线

## 一、水准测量路线的布设



### 2、观测顺序

后（黑面，视距丝、中丝）前（黑面，中丝、视距丝）前（红面，中丝）后（红面，中丝）

### 3、单一水准路线的平差

►计算步骤—总结：

#### 1、高差闭合/附合差的计算：

$$f_h = \sum h_{\text{测}}$$

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

H 为最或然高程  
h 为高差

检核： $f_h \leq f_{h\text{允}}$

#### 2、高差闭合/附合差的分配：

检核： $\sum v = -f_h$

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum L} \cdot L_i$$

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum n} \cdot n_i$$

允许  
凑整

#### 3、计算改正后高差：

$$\bar{h}_i = h_i + v_i$$

#### 4、计算各测点高程：

$$H_i = H_{\text{始}} + \bar{h}_1 + \bar{h}_2 + \dots + \bar{h}$$

检核：

$$H'_{\text{始}} = H_{\text{始}}$$

$$H'_{\text{终}} = H_{\text{终}}$$

三角高程路线计算按与路线长度成正比反号分配。

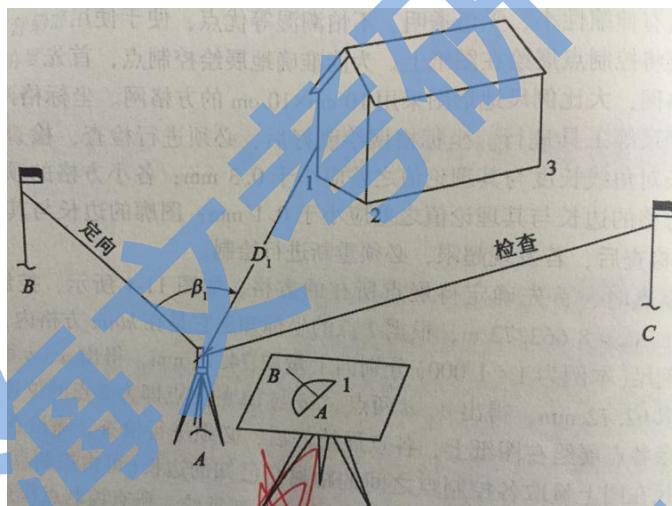
# 第十一章

## 1、碎部测量：

以控制点为基础，测定地物、地貌的平面位置和高程，并将其绘制成地形图的测量工作。

## 2、经纬仪测图法步骤：

将经纬仪安置在测站点 A 上，量取仪器高，瞄准后视点 B，将水平度盘配至零度零分附近定向，再瞄准另一已知点 C 进行检核；在测站点 A 附近适当位置安置图板，并将分度规的中心圆孔固定在图板上 A 点，然后用经纬仪照准碎部点 1 上的标尺，读取碎部点方向与起始方向间的水平角  $\beta_1$ （成为碎部点方向角）、视距、垂直角，计算出测站点至碎部点的高程，按碎部点方向角放置分度规，并在分度规直径刻划线上依照比例尺量取测站点至碎部点水平距离的图上长度，即可定出 1 点在图上的位置，并在点旁注记碎部点的高程，按此方法一次测定其余碎部点。



## 3、地面数字测图：

指对利用全站仪、GPS 接收机等仪器采集的数据及其编码，通过计算机图形处理而自动绘制地形图的方法。

## 4、地面数字测图与传统测图相比的特点：

测图精度高；自动化程度高；“一步测图法”提高碎部点坐标精度；碎部点到测站点的距离更长；不受图幅限制，减少了图幅接边问题；碎部点数目增加，碎部点位置选择尤为重要；用计算机对数字地形图数字或代码处理。

	传统测图	地面数字测图
测图精度	绘制坐标格网，控制点手工展绘，碎部点手工刺绘，视距法测距	直接利用碎部点坐标在计算机上自动成图，电磁波测距法测取距离
自动化	野外基本完成原图绘制，获得点平面坐标和高程后，还需手工绘制	外业测量工作自动记录、自动解算处理，室内自动成图
一步测图	先完成图根控制测量，经计算获得图根控制点坐标，并展绘到图板上，而后进行碎部测图	一步测图法：图根控制与碎部测量可同时进行，即图根控制测量同时，在图根控制点上同步测量本站的碎部点，再根据图根控制点平差后坐标，对重新计算碎部点坐标，以提高其精度，而后进行计算机处理并自动生成图形。
作业距离		极坐标法测量碎部点，根据红外测距仪的精度，在几百米范围内误差均在1cm左右，通视良好定向边较长情况下，碎部点到测站点的距离与可以放得更长一些。
图幅限制	以一幅图为单元组织施测，边缘测图困难，并带来图幅接边问题	在测区内可不受图幅的限制，可按河流、道路等自然分界线划分，便于碎部测图，也减少了图幅接边问题。
碎部点数目	简单几何作图法测绘规则地物轮廓，目测绘制细小地物和地貌形态	有足够的特征点坐标绘制地物符号；足够而又分布合理的地形特征点绘制等高线，直接测量的碎部点数目大大增加，且碎部点（尤其地形特征点）位置选择尤为重要。

## 第十二章

### 1、碎部点的坐标计算（极坐标法）

#### 1、极坐标法

► 数字测图控制点坐标计算基础

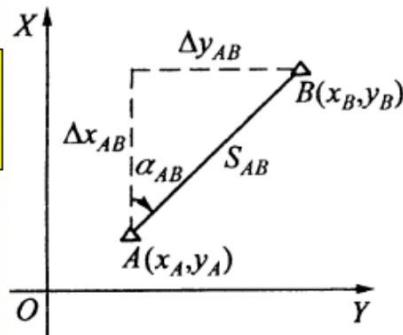
► 坐标正算：

► 已知两点间水平距离和坐标方位角，及其中一点的直角坐标，求另一点的直角坐标。

$$\begin{cases} x_B = x_A + \Delta x_{AB} \\ y_B = y_A + \Delta y_{AB} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta x_{AB} = S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \\ \Delta y_{AB} = S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_B = x_A + S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \\ y_B = y_A + S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \end{cases}$$



#### 1、极坐标法

► 安置全站仪或测距经纬仪于已知测站点A

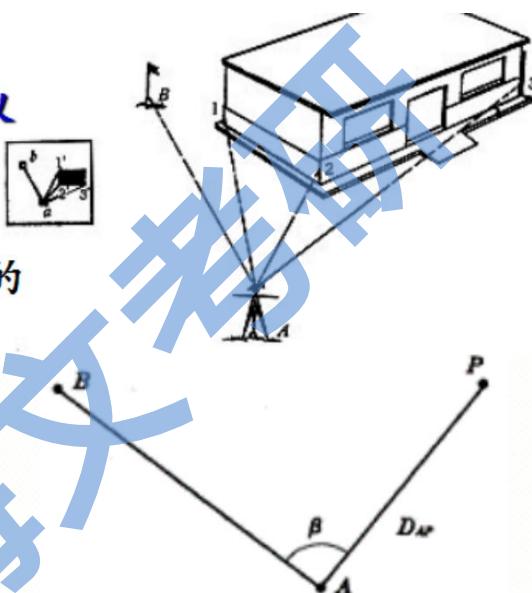


► 后视已知点B定向

► 观测测站点A至碎部点P的方向、天顶距和斜距

► 计算碎部点平面坐标：

$$\begin{cases} x_P = x_A + D_{AP} \cdot \cos \alpha_{AP} \\ y_P = y_A + D_{AP} \cdot \sin \alpha_{AP} \end{cases}$$



#### 2、全站仪进行地面数字测图测定碎部点高程：

$$H = H_0 + D \cdot \sin \alpha + v$$

$H_0$  为测站点高程， $i$  为仪器高， $v$  为镜高， $D$  为斜距，阿尔法为垂直角

#### 3、图形信息码：

用数字代码或英文字母代码来表示的碎部点地形要素名称、碎部点连接线型信息。

根据给以图形信息码方式不同，野外数据采集工作程序有二：

① 观测时，绘制工作草图，记录地形要素名称、碎部点连接关系，室内据此采用人机交互方式连接碎部点，输入图形信息码、生成图形。

② 采用笔记本电脑和 PDA 掌上电脑作为野外数据采集记录器，在观测碎部点之后，对照实际地形输入图形信息码、生成图形。

#### 4、地形数据采集模式：

草图法：结合草图上的属性信息，通过连接点可构成线、面、区域，便构成一个完整的图形信息。编码法：由程序自动提取外业数据文件中的编码与连接信息（连接点、线型、编码、点号等）自动检索整理，生成图形文件

电子平板法

#### 5、数字地形图成图软件功能：

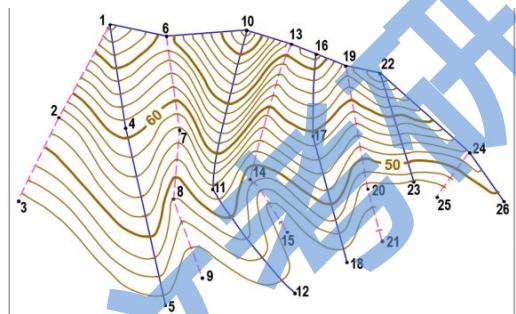
碎部数据的预处理、地形图的编辑、地形图输出

## 6、大比例尺数字测图野外数据采集模式:

测记法模式、电子平板模式、RTK GPS 模式、CORS 系统模式

## 7、等高线的手工勾绘(步骤或画图)

- (1) 将地貌特征点等地性点连成地性线，实线连成山脊线，虚线连成山谷线。
- (2) 在同一坡度的两相邻地貌特征点间按高差与平距成正比关系求出等高线通过点(通常用目估内插法确定等高线通过点)。
- (3) 将高程相等点用光滑曲线连接起来，绘制各类等高线，并注记高程。
- (4) 高程注记的字头应朝向高处，但不能倒置。
- (5) 山顶、鞍部、凹地等坡向不明显处等高线应沿坡度降低方向加绘示坡线。



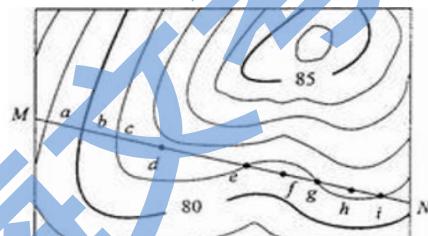
## 第十三章

### 1、按一定方向绘制断面图:

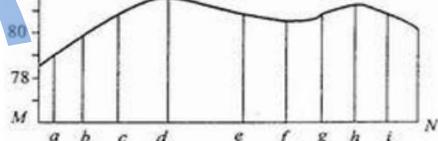
- (1) 工程设计中，需知某一方向地面起伏情况，可按此方向直线与等高线交点的平距与高程，绘制断面图。(2) 为明显地表示地面起伏变化，高程比例尺常为水平距离比例尺的 10 倍~20 倍。(3) 为正确反映地面起伏形状，方向线与地性线(山脊线、山谷线)的交点必须在断面图上表示出来，以使绘制的断面曲线更符合实际地貌，其高程可按比例内插求得。

#### 五、按一定方向绘制断面图

➤欲沿 MN 方向绘制断面图，先在地形图上作 MN 直线，找出与各等高线相交点 a、b、c、…、i。



➤在绘图纸上绘制水平线 MN 作为横轴，表示水平距离；过 M 点作 MN 的垂线作为纵轴，表示高程。



### 2、计算汇水面积:

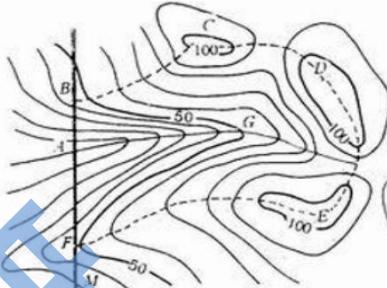
➤**汇水面积**: 汇集水流量的区域面积。其边界线由一系列的山脊线连接而成。量算出该范围的面积即得汇水面积。

➤**A处为修筑道路时经过的山谷**,要在A处建造涵洞排泄水流,涵洞孔径的大小,根据流经该处的水量来决定,

➤**这水量与汇水面积有关**。

➤由分水线BC、CD、DE、EF及道路FB所围成的面积即**汇水面积**。

➤各分水线处处都与等高线相垂直,且经过一系列的山头和鞍部。



### 3、数字高程模型

➤**数字高程模型DEM (Digital Elevation Model)**:

➤以数字的形式按一定结构组织在一起,表示实际地形特征空间分布的模型,是定义在x、y域离散点(规则或不规则)上以高程表达地面起伏形态的数字集合。

➤**核心**: 地形表面特征点的三维坐标数据和对地表提供连续描述的算法。最基本的DEM由一系列地面点x、y位置及其相联系的高程z组成。

➤**实质**: 某一区域D上的三维向量有限序列,函数描述形式:

$$\{V_i = (X_i, Y_i, Z_i), (i=1,2,3, \dots, n)\}$$

➤**简化**: 序列中各平面向量的平面位置呈规则格网排列时,其平面坐标可省略,此时DEM简化为一维向量序列:

$$\{Z_i, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$$

### 4、数字高程模型 DEM 的特点

(1) 容易以多种形式显示地形信息 (2) 精度不会损失 (3) 容易实现自动化、实时化。

总结: 便于存储、更新、传播和计算机自动处理; 具有多比例尺特性,如1m分辨率的DEM自动涵盖了更小分辨率如10m和100m的DEM内容; 特别适合于各种定量分析与三维建模。