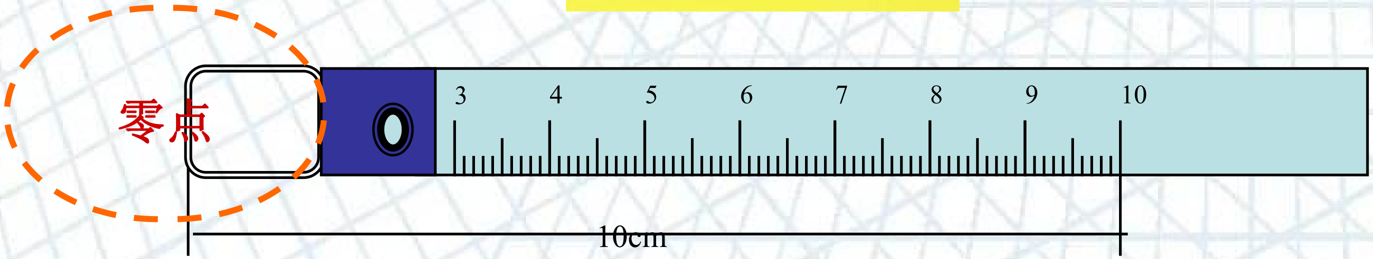
距离测量的方法

- 距离：指地面上两点间的直线水平距离。距离测量是测量工作的三项基本工作之一。
- 常用的距离测量方法
  - 钢尺量距
  - 视距测量
  - 电磁波测距

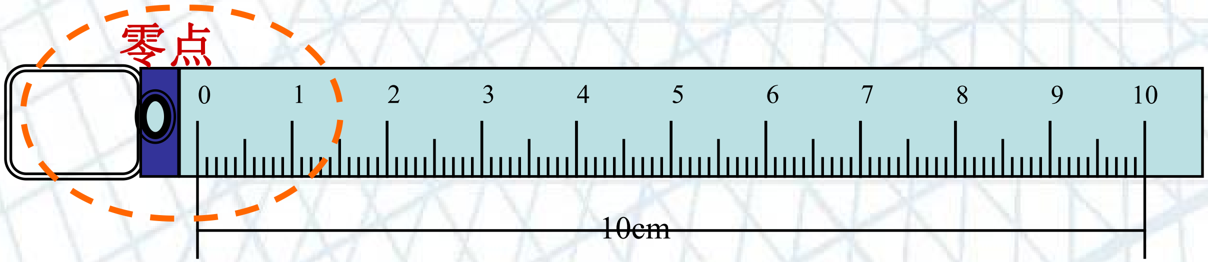
1、钢尺量距

❖ 量距工具：

■ 钢尺



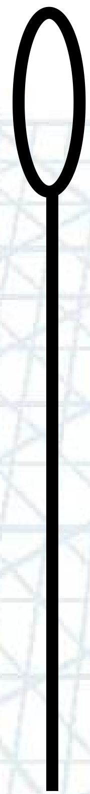
端点尺



刻线尺

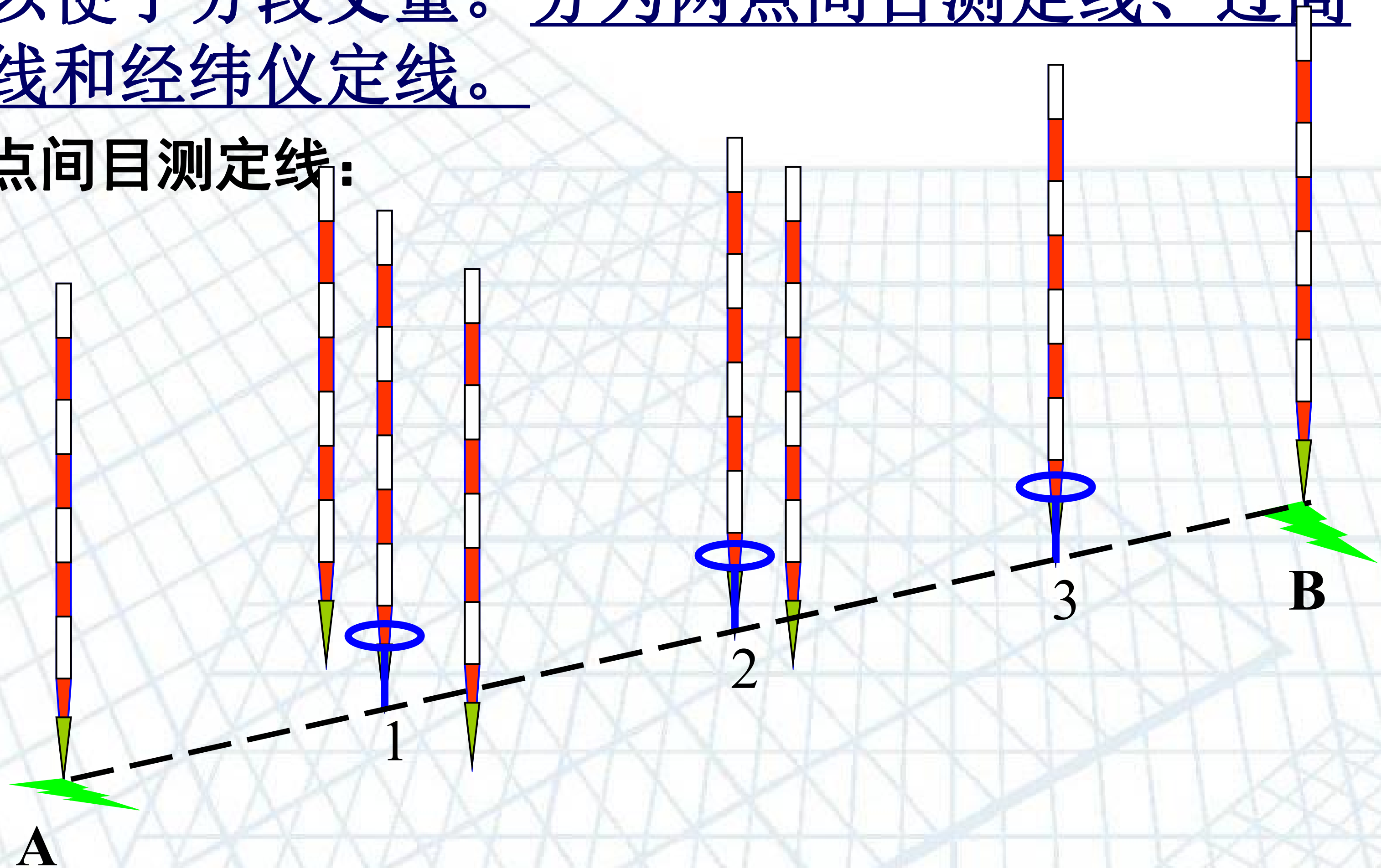
钢尺量距

- 辅助工具



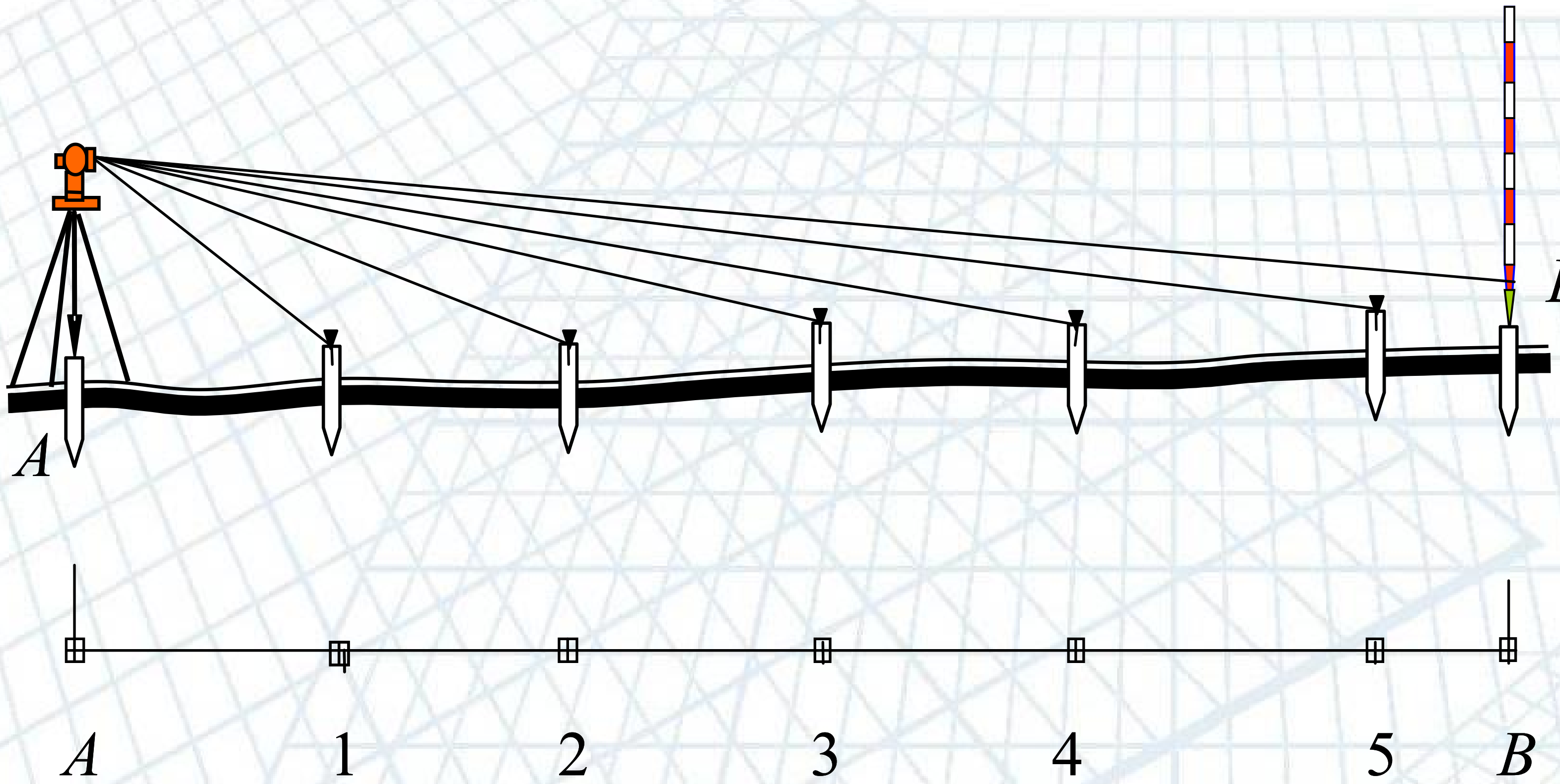
钢尺量距的一般方法

- ❖ **直线定线：**在地面上标定出位于同一直线上的若干点，以便于分段丈量。<u>分为两点间目测定线、过高地定线和经纬仪定线。</u>
  - ■ **两点间目测定线：**



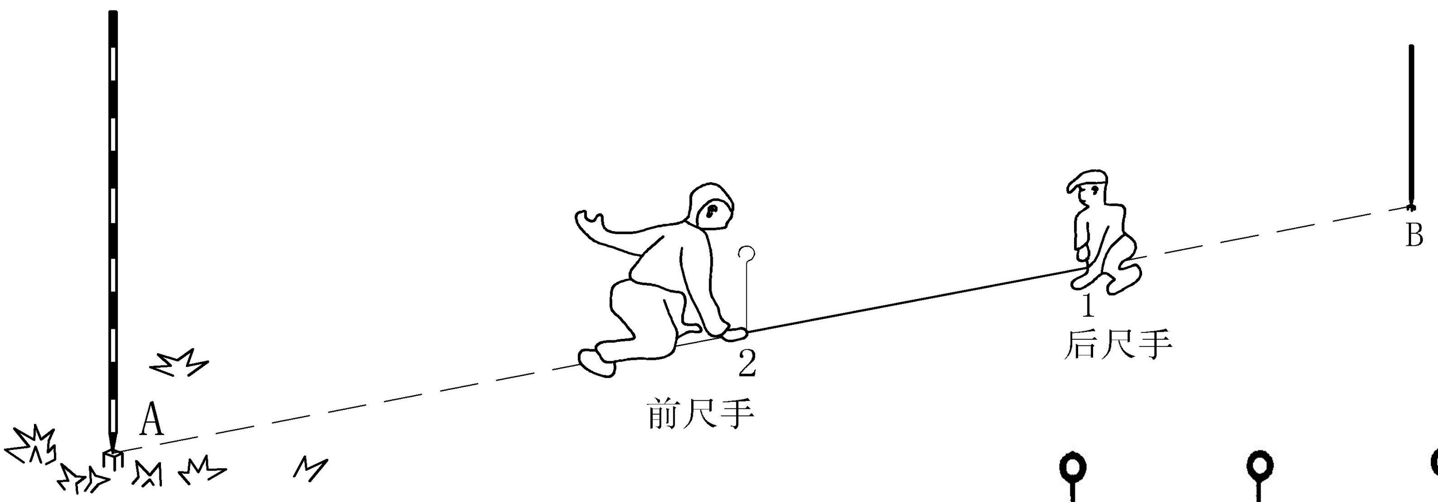
钢尺量距的一般方法

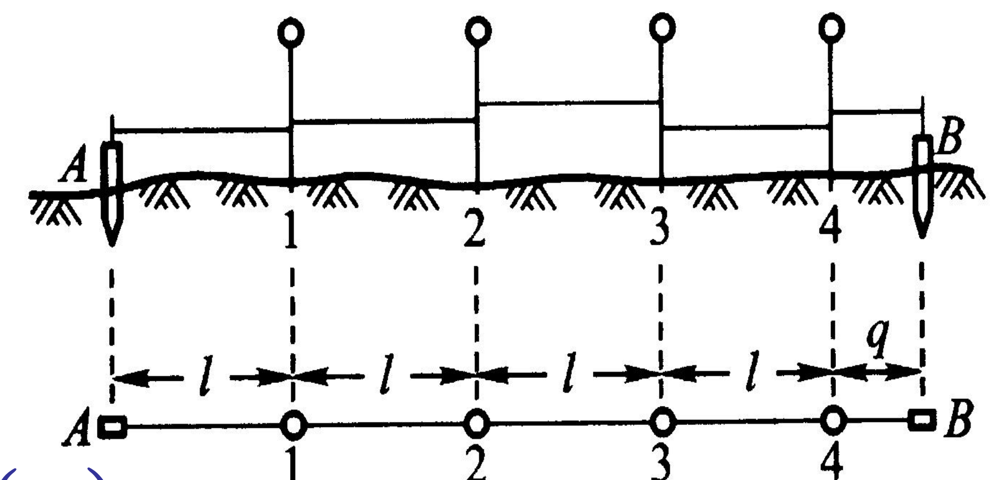
■ 经纬仪定线：



钢尺量距的一般方法

❖平坦地面上的量距方法





$$D_{AB} = nl + q$$

式中 n—整尺段数；

l—钢尺长度（m）；

q—不足一整尺的余长（m）。

钢尺量距的一般方法

❖ 平坦地面上的量距方法

- 钢尺量距时，一般还应由*B*点量至*A*点进行**返测**。
- 取往、返测距离的平均值作为直线*AB*最终的水平距离。

$$D = \frac{1}{2}(D_{往} + D_{返})$$

- 量距精度通常用**相对误差*K***来衡量，相对误差K应化为分子为 *1* 的分数形式。

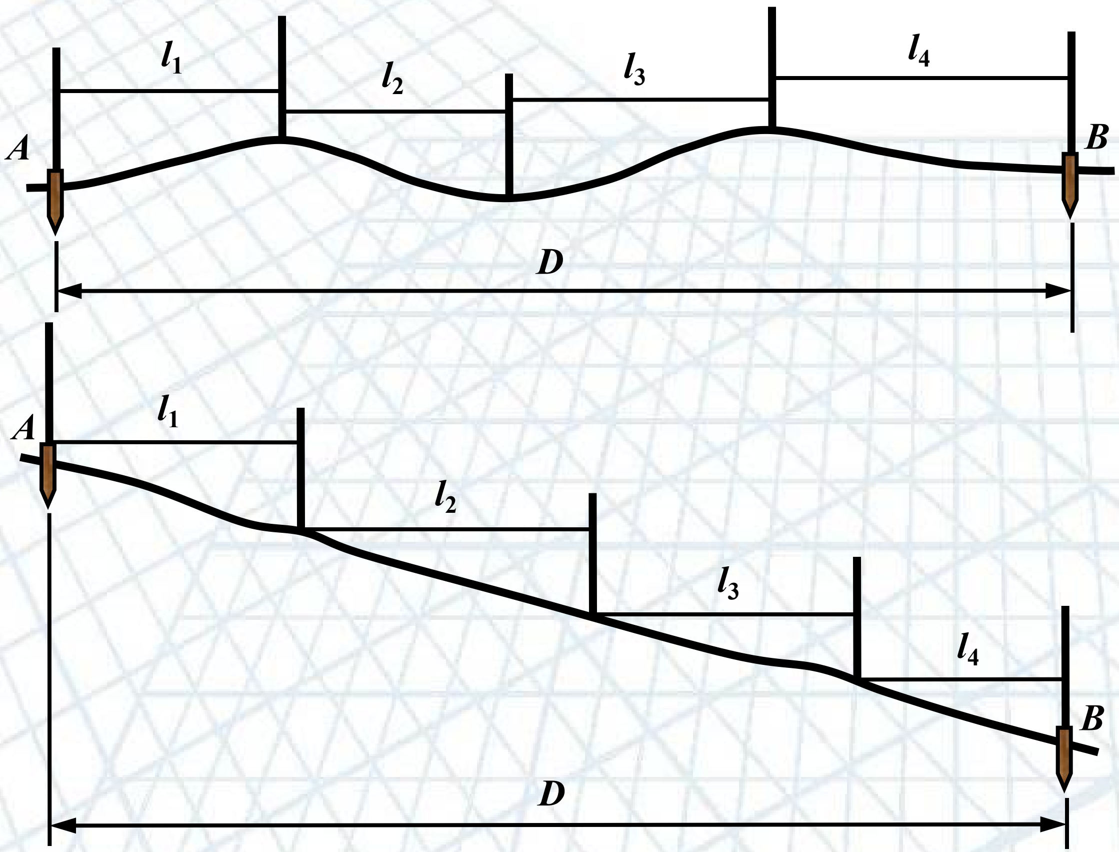
$$K = \frac{\left|D_{往} - D_{返}\right|}{D_{平均}} = \frac{1}{\dfrac{D_{平均}}{\left|D_{往} - D_{返}\right|}}$$

在平坦地区，钢尺量距一般方法的相对误差一般不应大于1/3000；在量距较困难的地区，其相对误差也不应大于1/1000。

钢尺量距的一般方法

❖ 倾斜地面上的量距方法

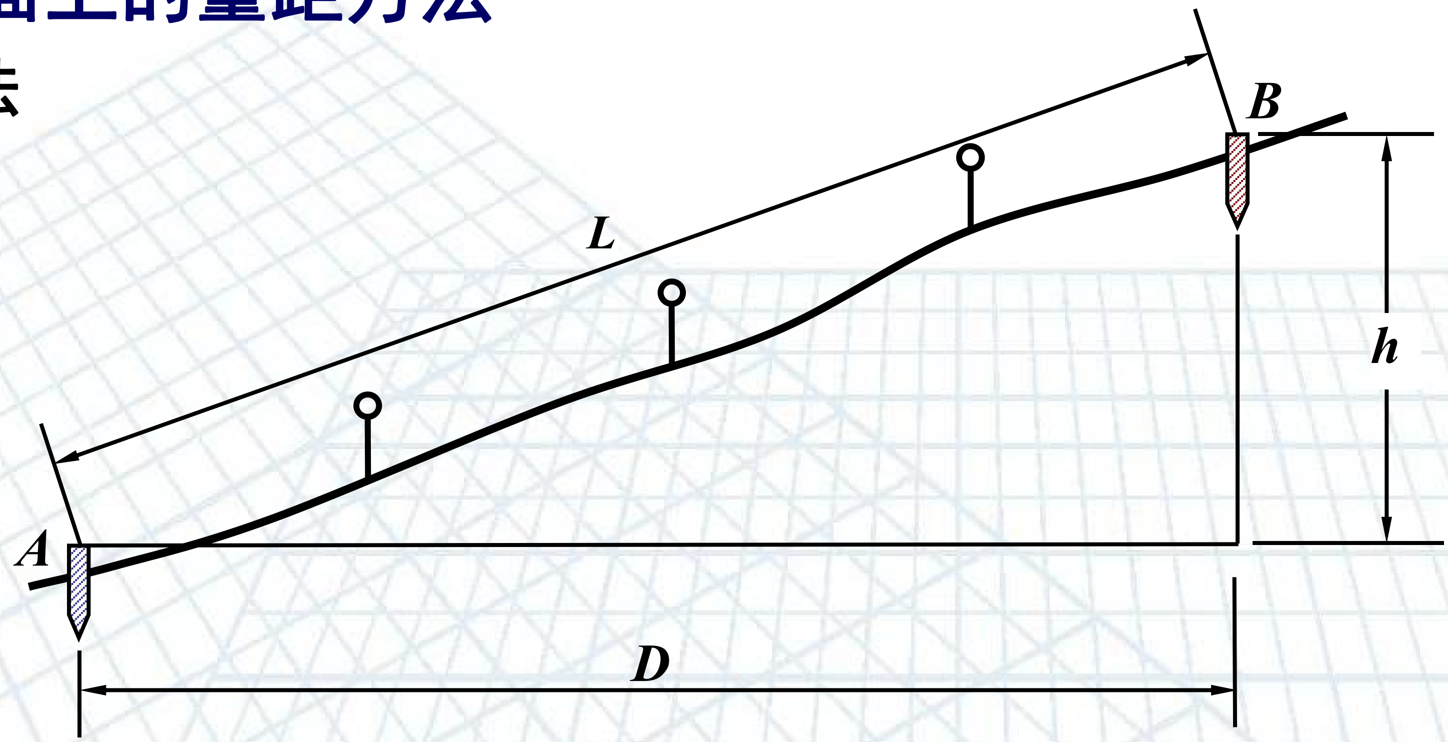
- 平量法



钢尺量距的一般方法

❖ 倾斜地面上的量距方法

- 斜量法



$$D_{AB} = L_{AB}\cos\alpha \qquad D_{AB} = \sqrt{L_{AB}^2 - h_{AB}^2}$$

钢尺量距的精密方法

❖ **钢尺检定：** 钢尺由于材料原因、刻划误差、长期使用的变形以及丈量时温度和拉力不同的影响，其实际长度往往不等于尺上所标注的长度即名义长度，因此，量距前应对钢尺进行检定。

■ **尺长方程式**

$$l_t = l_0 + \Delta l + \alpha(t - t_0)l_0$$

式中　l_t—钢尺在温度t时的实际长度（m）；

l_0—钢尺的名义长度（m）；

Δl—尺长改正数（m）；

α—钢尺的膨胀系数，α=1.25×10^{-5}m/1℃；

t_0—钢尺检定时的温度（℃）；

t—钢尺使用时的温度（℃）。

钢尺量距的精密方法

❖ 钢尺检定：

- **例题：** 已知1号标准尺的尺长方程式为：

$$l_{t1} = 30\,\mathrm{m} + 0.004\,\mathrm{m} + 1.25 \times 10^{-5} \times (t - 20^\circ\mathrm{C}) \times 30\,\mathrm{m}$$

被检定的2号钢尺，其名义长度也是30m。比较时的温度为24℃，当两把尺子的末端刻划对齐并施加标准拉力后，2号钢尺比1号标准尺短0.007m，试确定2号钢尺的根尺长方程式。

$$\begin{aligned} l_{t2} &= l_{t1} - 0.007\,\mathrm{m} \\ &= 30\,\mathrm{m} + 0.004\,\mathrm{m} + 1.25 \times 10^{-5} \times (24^\circ\mathrm{C} - 20^\circ\mathrm{C}) \times 30\,\mathrm{m} - 0.007\,\mathrm{m} \\ &= 30\,\mathrm{m} - 0.002\,\mathrm{m} \end{aligned}$$

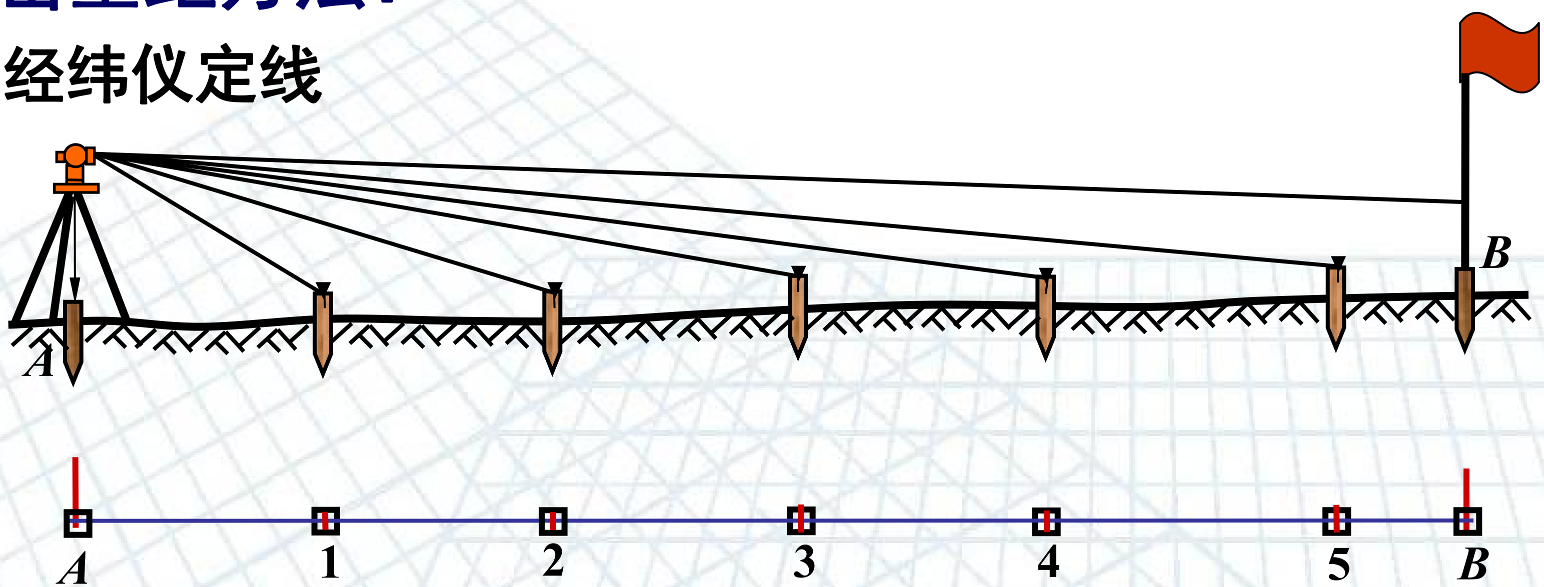
故2号钢尺的尺长方程式为:

$$l_{t2} = 30\,\mathrm{m} - 0.002\,\mathrm{m} + 1.25 \times 10^{-5} \times (t - 24^\circ\mathrm{C}) \times 30\,\mathrm{m}$$

钢尺量距的精密方法

❖ 精密量距方法：

- 经纬仪定线



- 测定桩顶间高差
- 量距（精确到0.1毫米，测得斜距）
- 成果整理

钢尺量距的精密方法

❖ 精密量距方法：

■ 成果整理

根据尺长、温度改正和倾斜改正，计算尺段改正后的水平距离。

尺长改正： $\Delta l_d = \dfrac{\Delta l}{l_0} l$

温度改正： $\Delta l_t = \alpha(t - t_0)l$

倾斜改正： $\Delta l_h = -\dfrac{h^2}{2l}$

尺段改正后的水平距离： $D = l + \Delta l_d + \Delta l_t + \Delta l_h$

钢尺量距

❖ 钢尺量距误差分析以及注意事项

1) 钢尺量距的误差分析

① 尺长误差

钢尺的名义长度和实际长度不符，将产生尺长误差

是积累的，丈量的距离越长，误差越大

新购置的钢尺必须经过检定，测出其尺长改正值Δl_d

② 温度误差

钢尺的长度随温度而变化，当丈量时的温度与钢尺检定时的标准温度不一致时产生温度误差

温度每变化1℃，丈量距离为30m时对距离影响为0.4mm

③ 钢尺倾斜和垂曲误差

在高低不平的地面上采用钢尺水平法量距时，钢尺不水平或中间下垂而成曲线时会使量得的长度比实际要大

应注意钢尺水平，整尺段悬空时，中间应有人托住钢尺

钢尺量距

❖ 钢尺量距误差分析以及注意事项

④ 定线误差

钢尺没有准确地放在所量距离的直线方向上，使所量距离不是直线而是一组折线

造成丈量结果偏大，称为定线误差

丈量 30m 的距离，当偏差为 0.25m 时，量距偏大 1mm

⑤ 拉力误差

钢尺丈量时所受拉力应与检定时的拉力相同，拉力变化±2.6kg，尺长将改变±1mm

⑥ 丈量误差

地面上标志尺端点位置处插测钎不准，前、后尺手配合不佳

余长读数不准等都会引起丈量误差，应尽量做到对点准确，配合协调

2) 钢尺的维护

① 丈量结束后应用软布擦去尺上的泥和水，涂上机油，以防生锈

② 钢尺易折断，如果钢尺出现卷曲，切不可用力硬拉

③ 钢尺末端的持尺员应该用尺夹夹住钢尺后手握紧尺夹加力，无尺夹时

可用布或者纱手套包住钢尺代替尺夹，切不可手握尺盘或尺架加力，以免将钢尺拖出

④ 在行人和车辆较多的地区量距时，中间要有专人保护，以防止钢尺被车辆碾压而折断

⑤ 不准将钢尺沿地面拖拉，以免磨损尺面分划

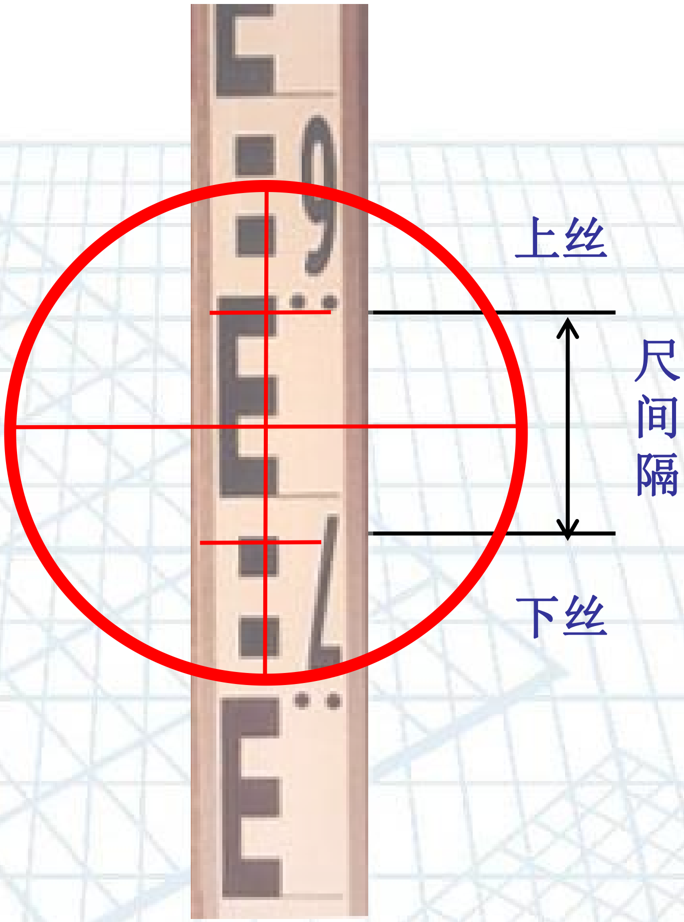
⑥ 收卷钢尺时，应按顺时针方向转动钢尺摇柄，切不可逆转，以免折断钢尺

2、视距测量

❖ 视距测量是利用经纬仪、水准仪望远镜内的视距丝装置，根据光学原理同时测定距离和高差的一种方法。

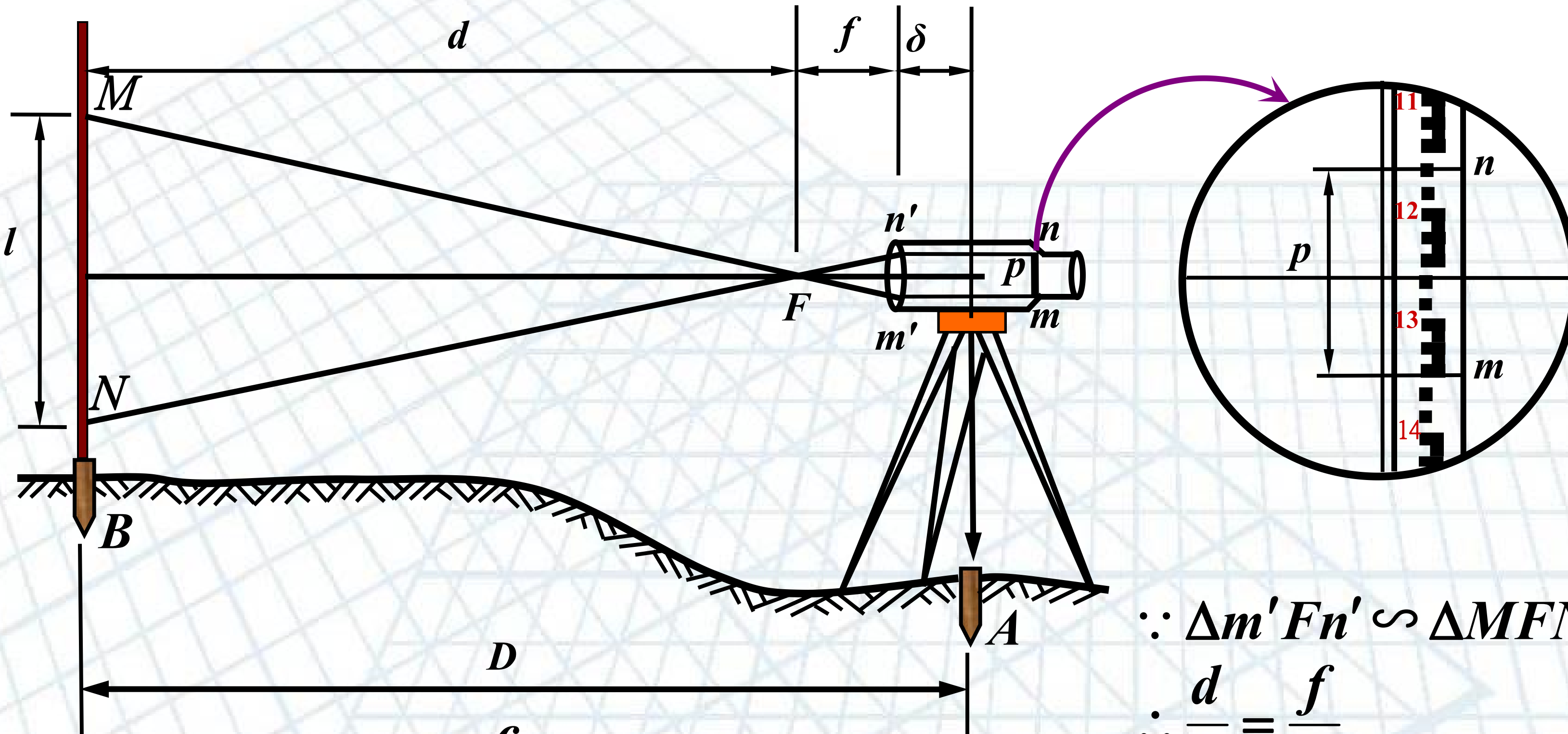
❖ 视距测量具有操作方便、速度快、一般不受地形限制等优点。

❖ 普通视距测量精度较低，仅能达到1/200～1/300的精度。但能满足测定碎部点位置的精度要求，所以视距测量被广泛地应用于地形测图中。



视距测量

❖视线水平时的水平距离和高差公式



$$\because \Delta m'Fn' \backsim \Delta MFN$$

$$\therefore \frac{d}{l} = \frac{f}{p}$$

$$\therefore d = \frac{f}{p} l$$

$$D = d + f + \delta = \frac{f}{p} l + f + \delta$$

视距测量

❖视线水平时的水平距离和高差公式

$$D = \frac{f}{p} l + f + \delta$$

令 $K = \frac{f}{p}$，　$c = f + \delta$　则有

$$D = Kl + c$$

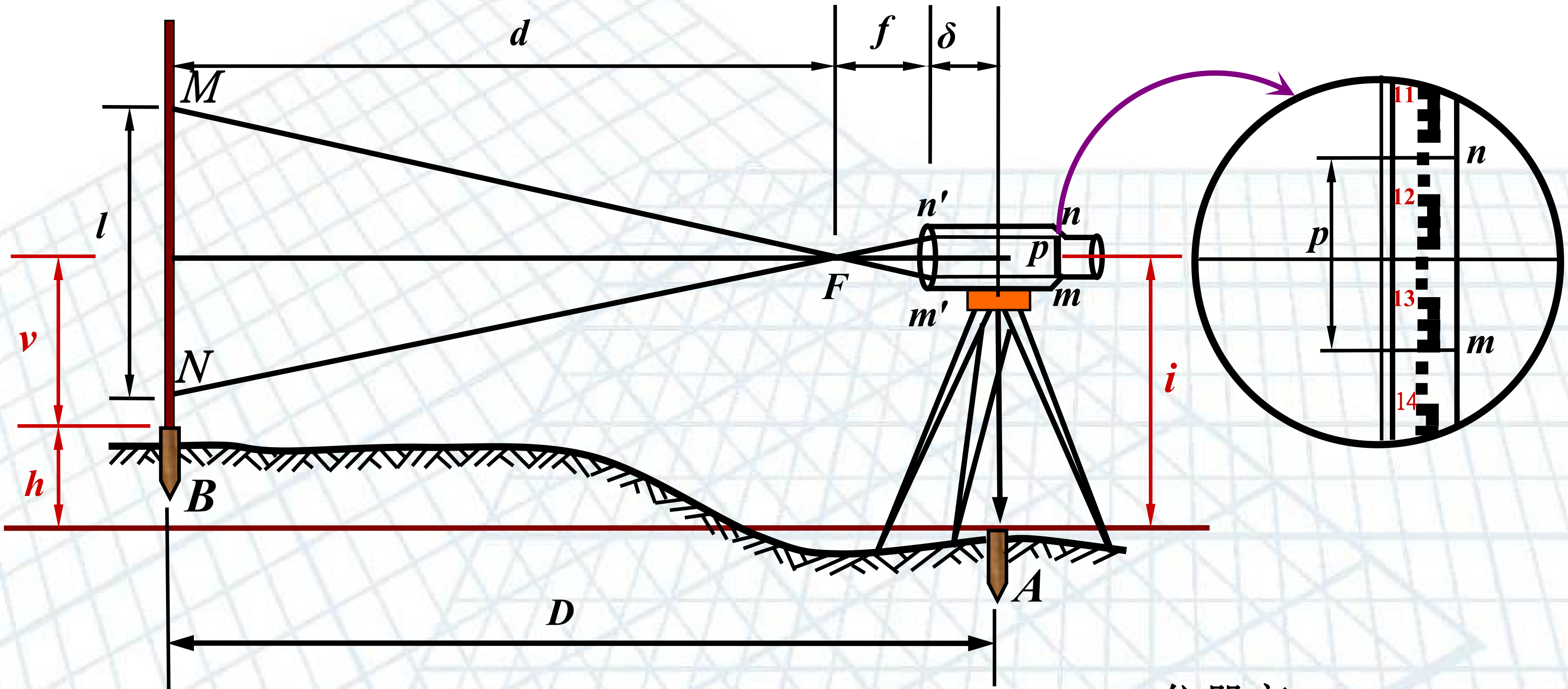
式中　　K——视距乘常数，通常K=100；

c ——视距加常数，常数c≈0 。

故水平距离为 $D = Kl = 100l$

视距测量

❖视线水平时的水平距离和高差公式



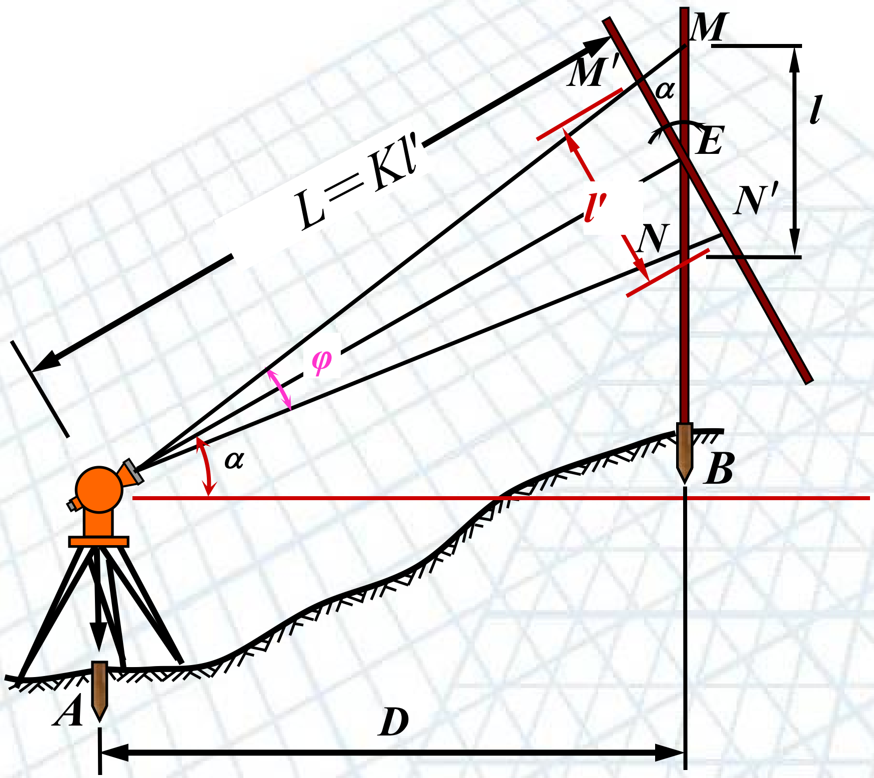
A、B两点间的高差h为: $h = i - v$

i —仪器高

v —十字丝中丝在视距尺上的读数，即中丝读数

视距测量

❖视线倾斜时的水平距离和高差公式



在$\Delta MM'E$和$\Delta NN'E$中

由于φ很小，$\varphi \approx 34'$

$$\angle MM'E = \angle NN'E \approx 90°$$

$$\angle MEM' = \angle NEN' = \alpha$$

$$M'E = ME\cos\alpha$$

$$EN' = EN\cos\alpha$$

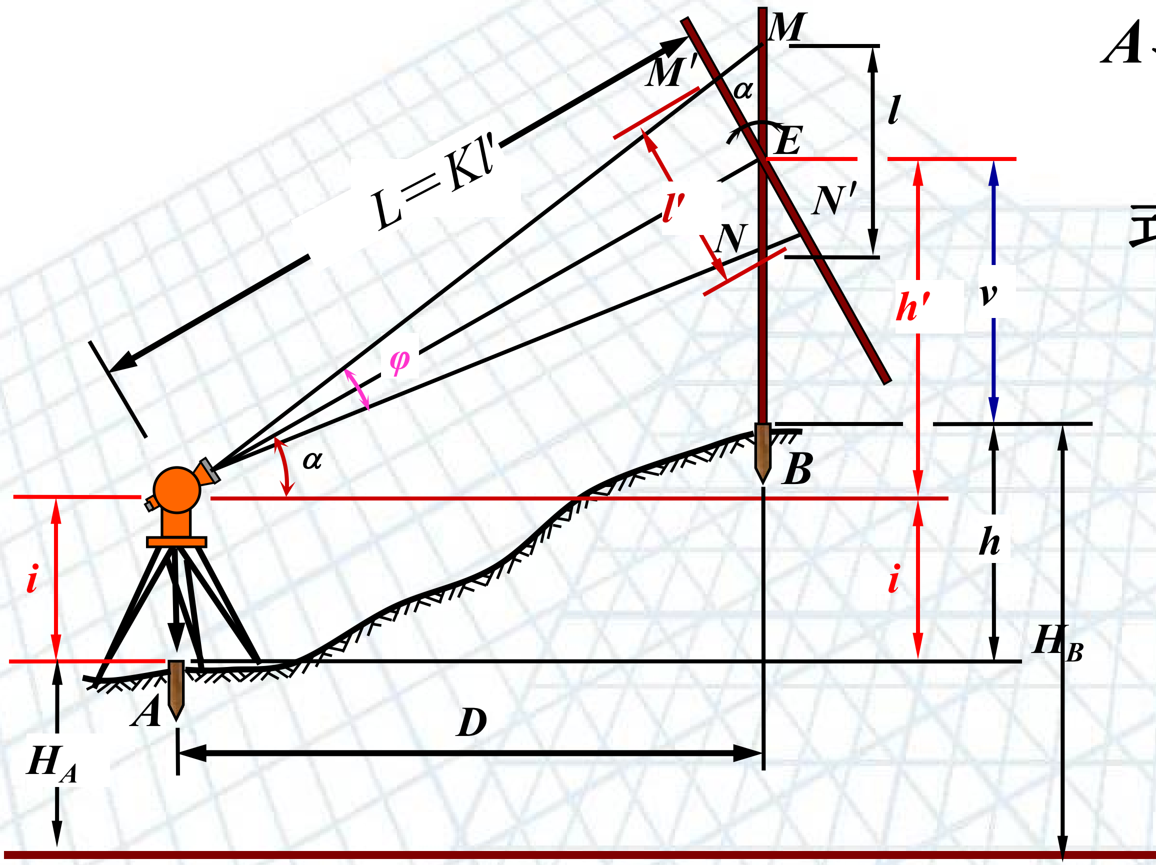
$$M'N' = M'E + EN'$$
$$= ME\cos\alpha + EN\cos\alpha$$
$$= MN\cos\alpha$$

$$l' = l\cos\alpha \qquad L = Kl' = Kl\cos\alpha$$

$$\underline{D = L\cos\alpha = Kl\cos^2\alpha}$$

视距测量

❖视线倾斜时的水平距离和高差公式



A、B两点间的高差h为：

$$h = h' + i - v$$

式中 h' — 高差主值（也称初算高差）。

$$h' = D\tan\alpha$$

$$= Kl\cos\alpha\sin\alpha$$

$$= \frac{1}{2}Kl\sin 2\alpha$$

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

$$h = h' + i - v = \frac{1}{2}Kl\sin 2\alpha + i - v$$

视距测量

❖视线倾斜时的水平距离和高差公式

$$D = Kl\cos^2\alpha$$

$$h = \frac{1}{2}Kl\sin 2\alpha + i - v$$

视距测量

❖ 视距测量的观测和计算

- 在A点安置经纬仪，量取仪器高i，在B点竖立水准尺。
- 盘左位置，转动照准部瞄准B点水准尺，分别读取上、下、中三丝读数，并算出尺间隔l。
- 转动竖盘指标水准管微动螺旋，使竖盘指标水准管气泡居中，读取竖盘读数，并计算垂直角α。
- 根据公式计算出水平距离和高差。

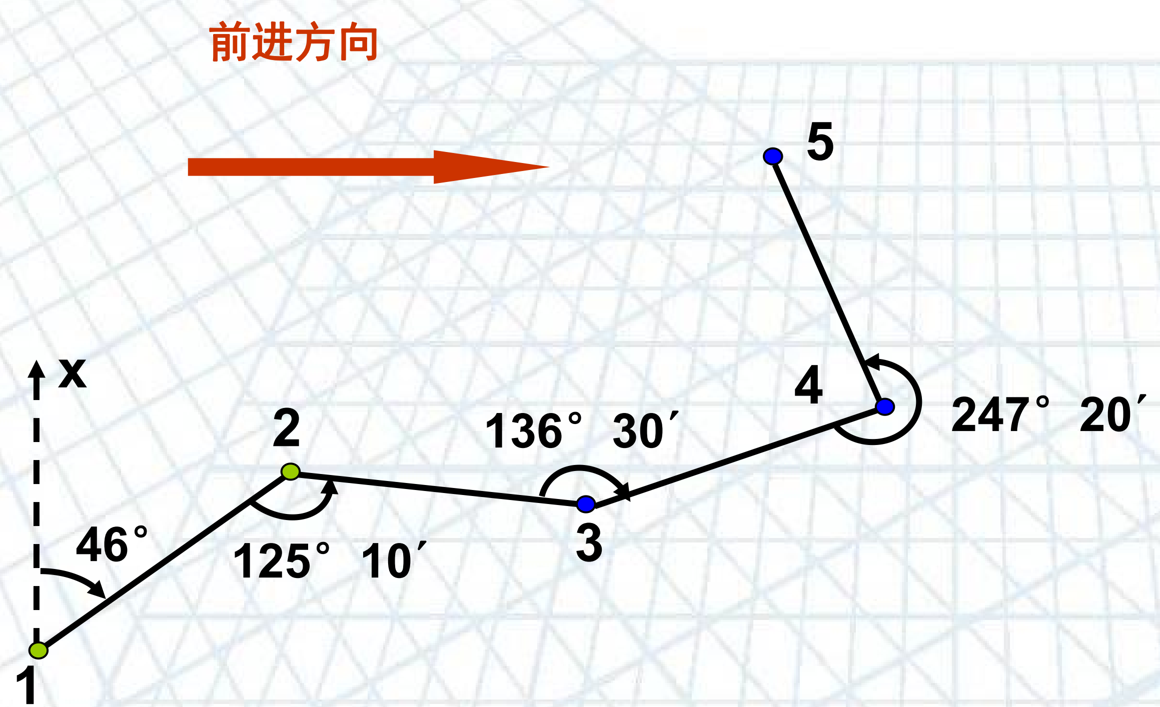
视距测量

测站：*A*　　测站高程：+45.37m　　仪器高：1.45m　　仪器：DJ_6

测点	下丝读数 上丝读数 尺间隔 l / m	中丝读数 v/ m	竖盘读数 L ° ′ ″	竖直角 ° ′ ″	水平距离 D/ m	初算高差 h'/ m	高差 h / m	高程 H / m	备注
1	2.237 0.663 1.574	1.45	87 41 12	+2 18 48	157.14	+6.35	+6.35	+51.72	
2	2.445 1.555 0.890	2.00	95 17 36	-5 17 36	88.24	-8.18	-8.73	+36.64	

直线定向

例题：已知$\alpha_{12}=46°$，β_2、β_3及β_4的角值均注于图上，试求其余各边坐标方位角。

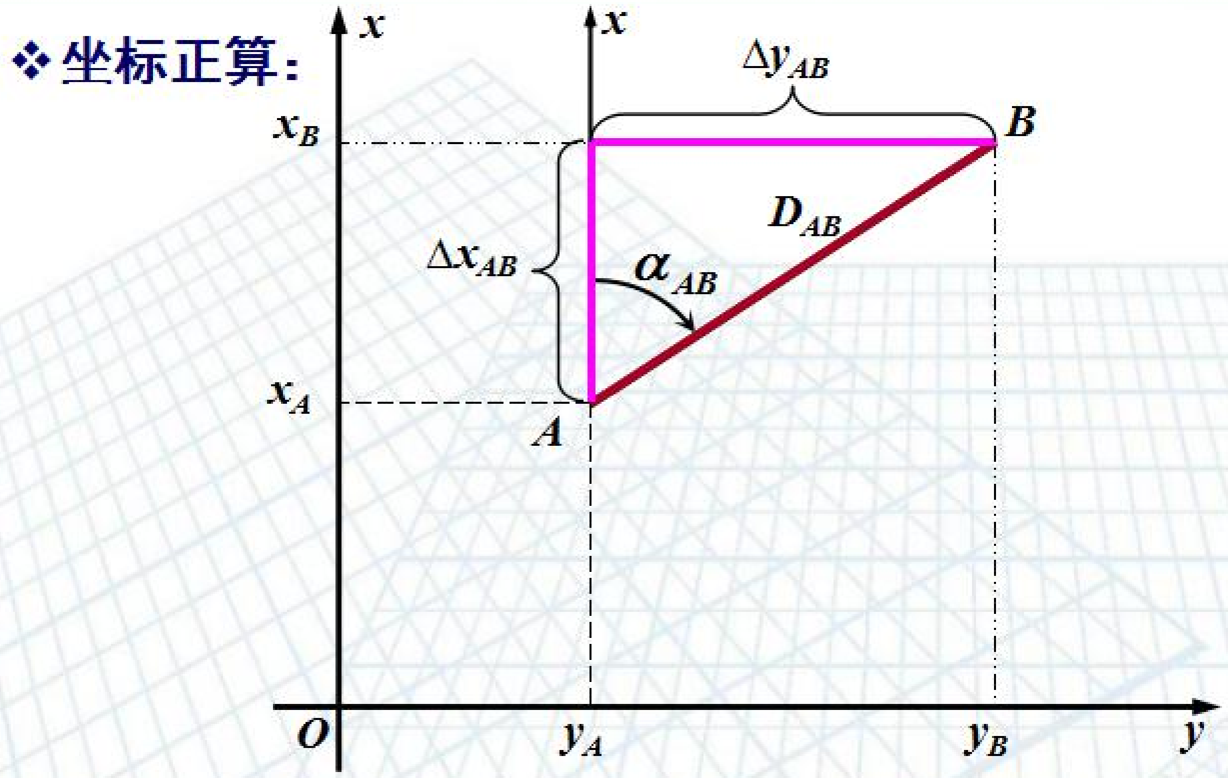


坐标正算

例题：已知AB边的边长及坐标方位角为，

$D_{AB}=135.62\,\text{m}$，$\alpha_{AB}=80°36'54''$ 若A点的坐标为，

$x_A=435.56\,\text{m}$，$y_A=658.82\,\text{m}$ ，试计算终点B的坐标。

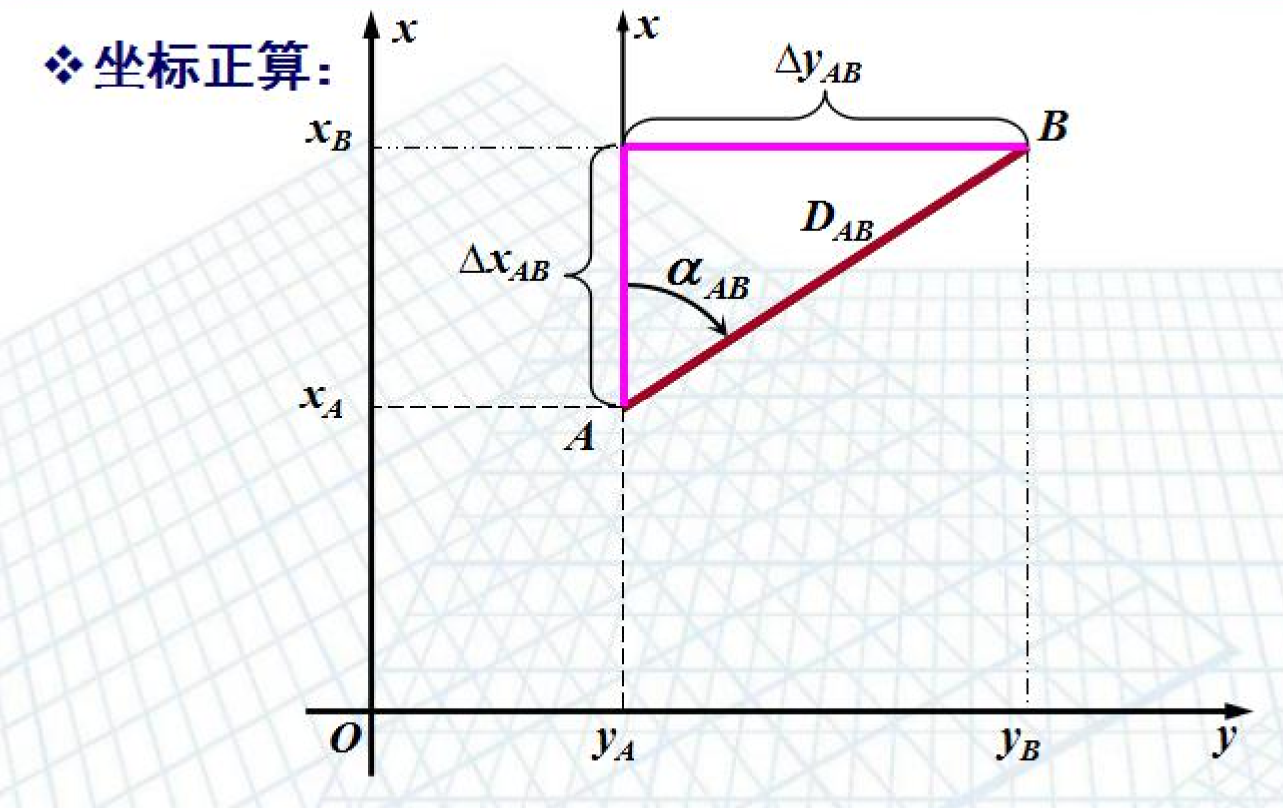


坐标反算

例题：已知A、B两点的坐标分别为

$x_A = 342.99\,\mathrm{m}$，$y_A = 814.29\,\mathrm{m}$，$x_B = 304.50\,\mathrm{m}$，$y_B = 525.72\,\mathrm{m}$

试计算AB的边长及坐标方位角。



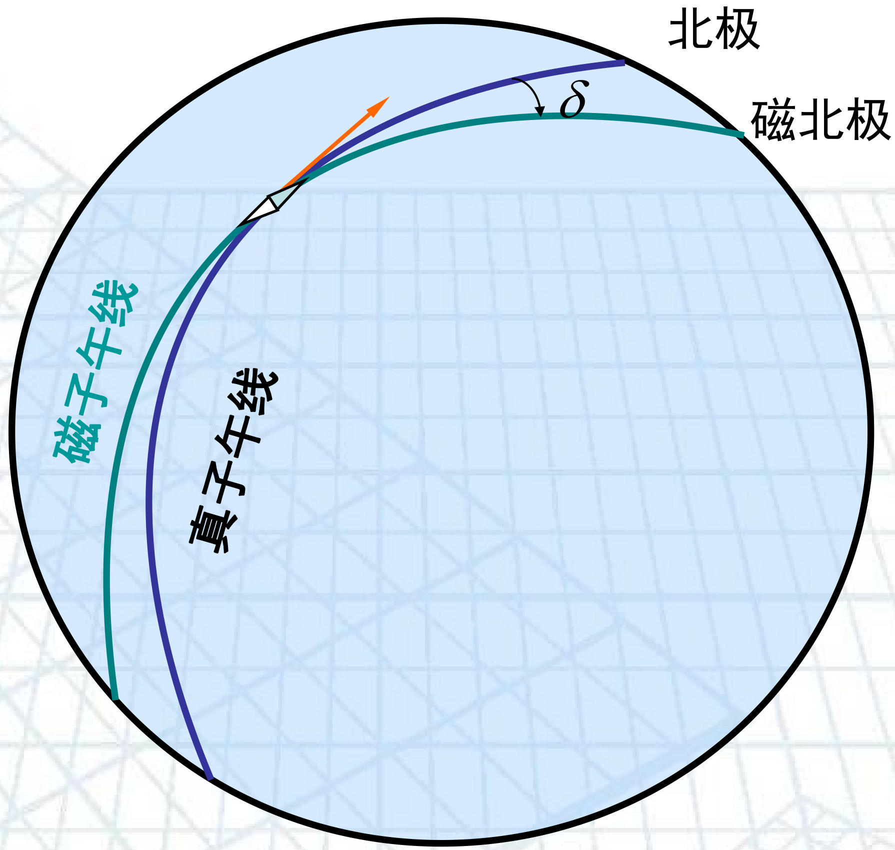
4、直线定向

- ❖为了确定地面点的平面位置，不但要已知直线的长度，并且要已知直线的方向。确定直线与标准方向之间的关系，称为**直线定向**。
- ❖作为直线定向用的基本方向有下列三种：
  - ■ 真子午线方向
  - ■ 磁子午线方向
  - ■ 坐标纵轴方向

直线定向

❖ 标准方向

- **真子午线方向**：通过地球表面某点的真子午线的切线方向，称为该点的真子午线方向。
- **磁子午线方向**：磁子午线方向是在地球磁场作用下，磁针在某点自由静止时其轴线所指的方向。



直线定向

真子午线方向是用天文测量方法或用陀螺经纬仪测定的。

陀螺仪GP1-2A

直线定向

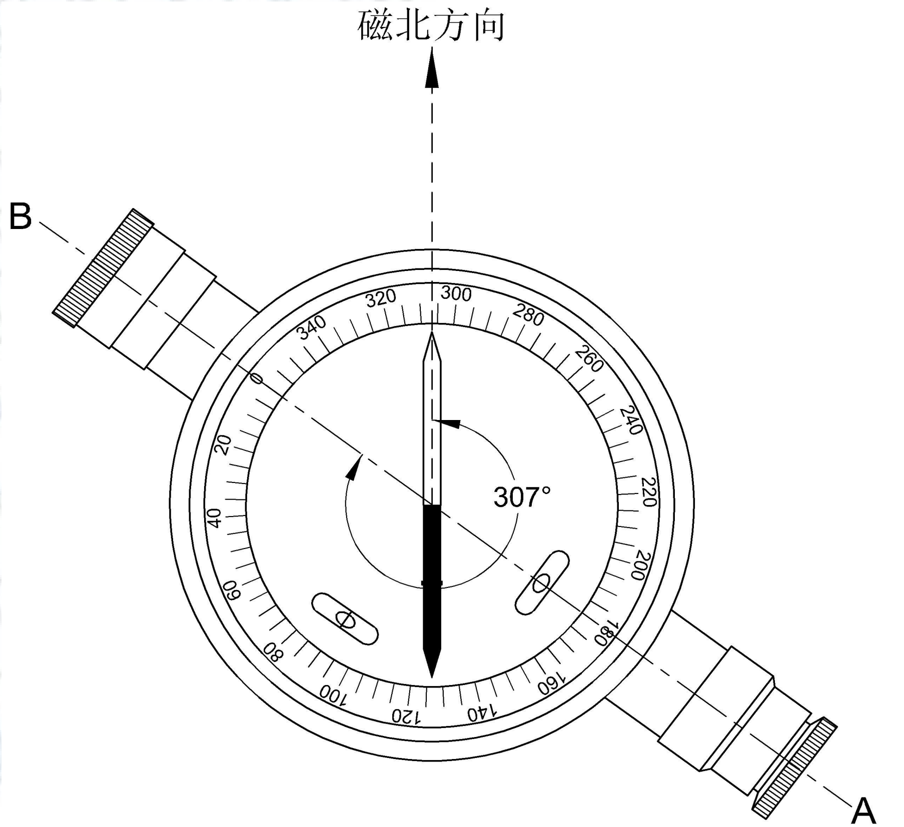
磁子午线方向可用罗盘仪测定。

DQL-1B型森林罗盘仪

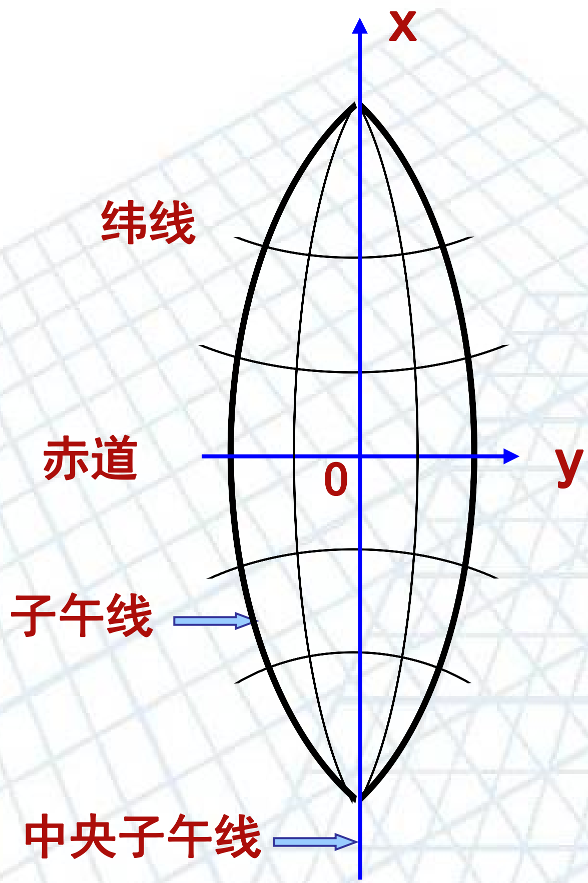
DQL-1型森林罗盘仪

直线定向

磁子午线方向可用罗盘仪测定。



直线定向

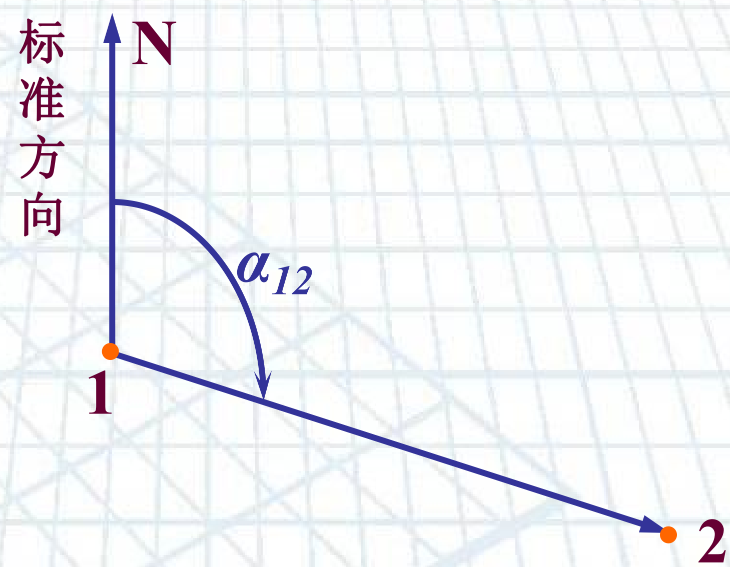


- **坐标纵轴方向：**在高斯平面直角坐标系中，坐标纵轴线方向就是地面点所在投影带的中央子午线方向。在同一投影带内，各点的坐标纵轴线方向是彼此平行的。

直线定向

❖ **方位角：测量工作中，常采用方位角表示直线的方向。从直线起点的标准方向北端起，顺时针方向量至该直线的水平夹角，称为该直线的方位角。**

- 方位角取值范围是$0^\circ \sim 360^\circ$。
- 因标准方向有真子午线方向、磁子午线方向和坐标纵轴方向之分，对应的方位角分别称为真方位角（用A 表示）、磁方位角（用A_m表示）和坐标方位角（用 α 表示）。



直线定向

❖ 三种方位角之间的关系

- 真北方向与磁北方向之间的夹角称为磁偏角，用δ表示。
- 真北方向与坐标纵轴北方向之间的夹角称为子午线收敛角，用γ表示。
- δ和γ的符号规定相同：
  - 当磁北方向或坐标纵轴北方向在真北方向东侧时，δ和γ的符号为“＋”；
  - 当磁北方向或坐标纵轴北方向在真北方向西侧时，δ和γ的符号为“－”。

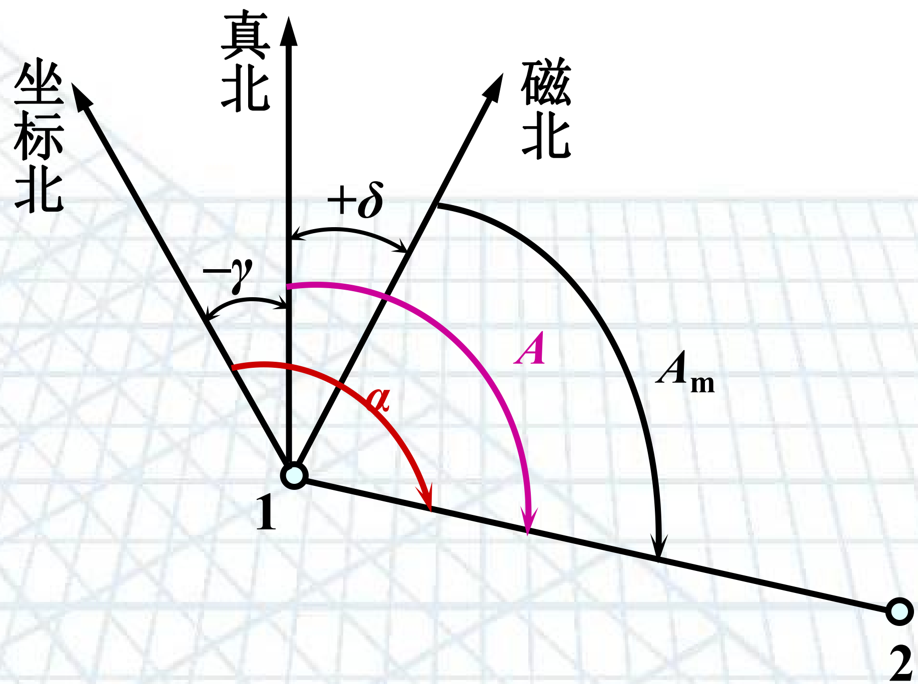
直线定向

❖三种方位角之间的关系

$$A = A_m + \delta$$

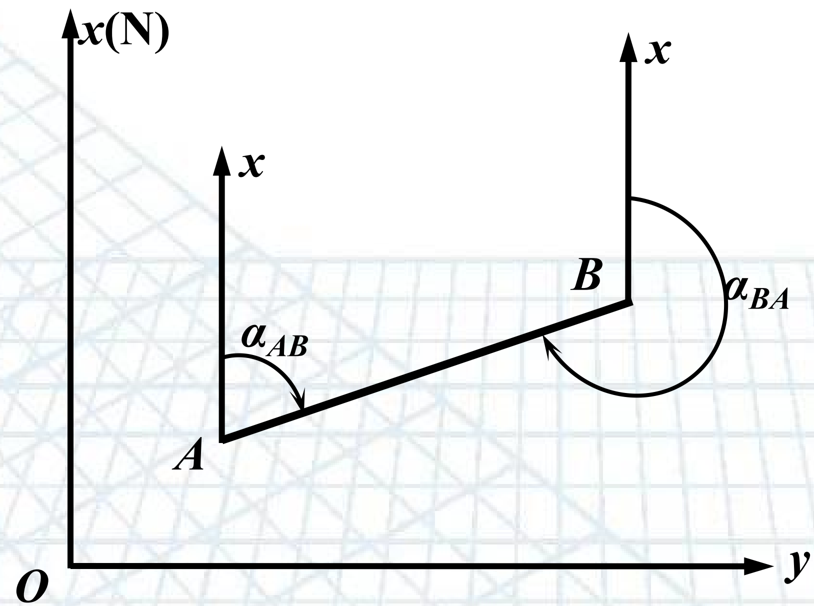
$$A = \alpha - \gamma$$

$$\alpha = A_m + \delta + \gamma$$



直线定向

❖正、反坐标方位角

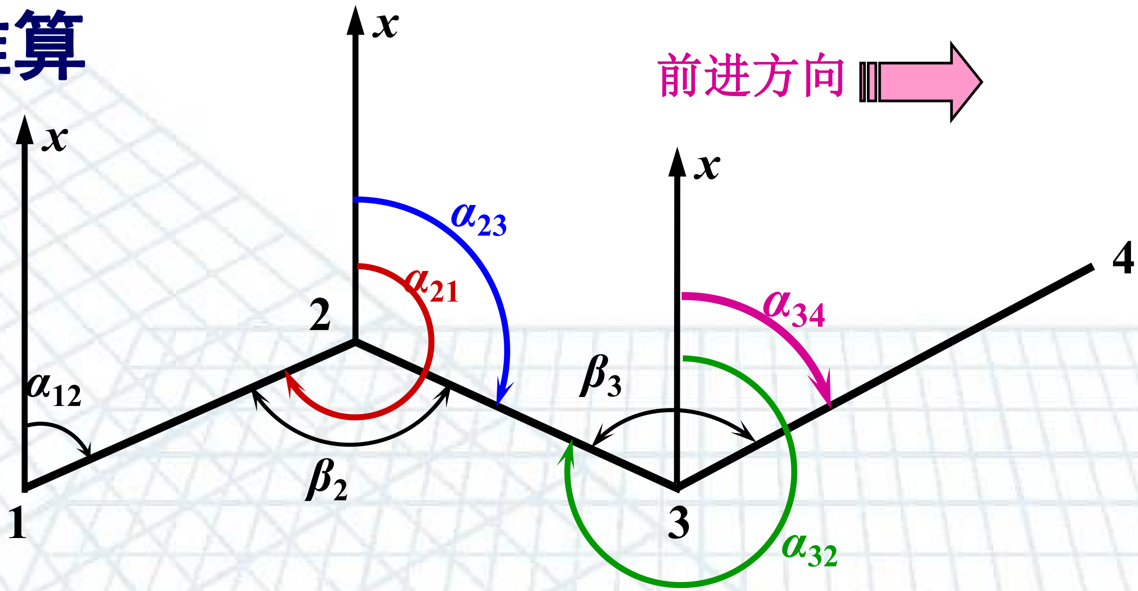


正、反坐标方位角间的关系为：

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180°$$

直线定向

❖坐标方位角的推算



$$\alpha_{23}=\alpha_{21}-\beta_2=\alpha_{12}+180^\circ-\beta_2 \qquad \alpha_{23}=\alpha_{12}-\beta_2+180^0$$

$$\alpha_{前}=\alpha_{后}-\beta_{右}+180^0$$

$$\alpha_{34}=\alpha_{32}+\beta_3-360^\circ=\alpha_{23}+180^\circ+\beta_3-360^\circ$$

$$=\alpha_{23}+\beta_3-180^0 \qquad \boldsymbol{\alpha_{前}=\alpha_{后}+\beta_{左}-180^0}$$

❖坐标方位角的推算

■ 推算坐标方位角的一般公式为：

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + \beta_{左} + 180^{0}$$

$$\boldsymbol{\alpha_{前} = \alpha_{后} - \beta_{右} + 180^{0}}$$

注意：

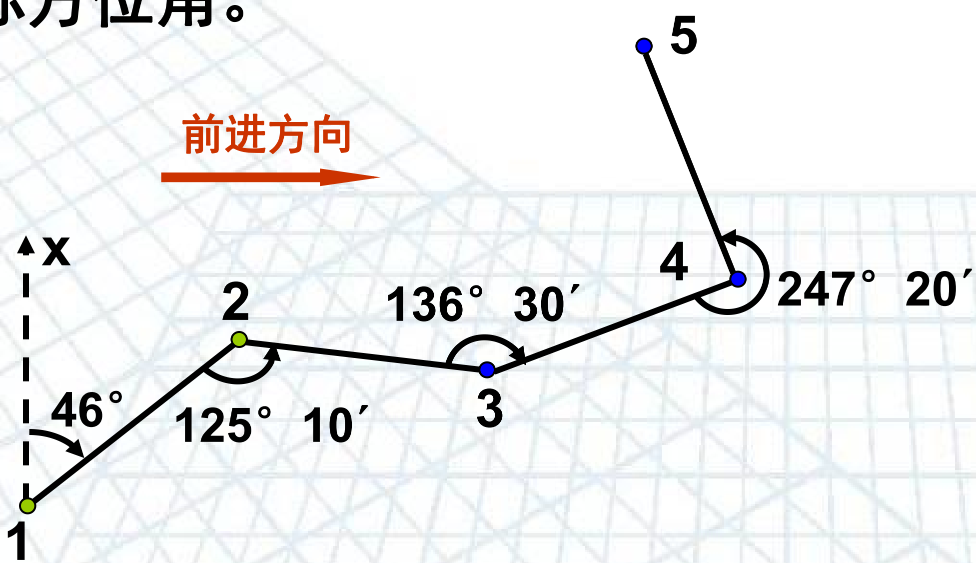
计算中，若$\alpha_{前} > 360°$，减360°；

若$\alpha_{前} < 0°$，加360°。

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + (\beta_{左} - \beta_{右}) \pm 180^{0}$$

直线定向

例题：已知$\alpha_{12}=46°$，β_2、β_3及β_4的角值均注于图上，试求其余各边坐标方位角。



解：

$\alpha_{23}=\alpha_{12}-\beta_2+180°$ $= 46°-125°10′+180° = 100°50′$

$\alpha_{34}=\alpha_{23}+\beta_3-180°$ $= 100°50′+136°30′-180° = 57°20′$

$\alpha_{45}=\alpha_{34}-\beta_4+180°$ $= 57°20′-247°20′+180°$

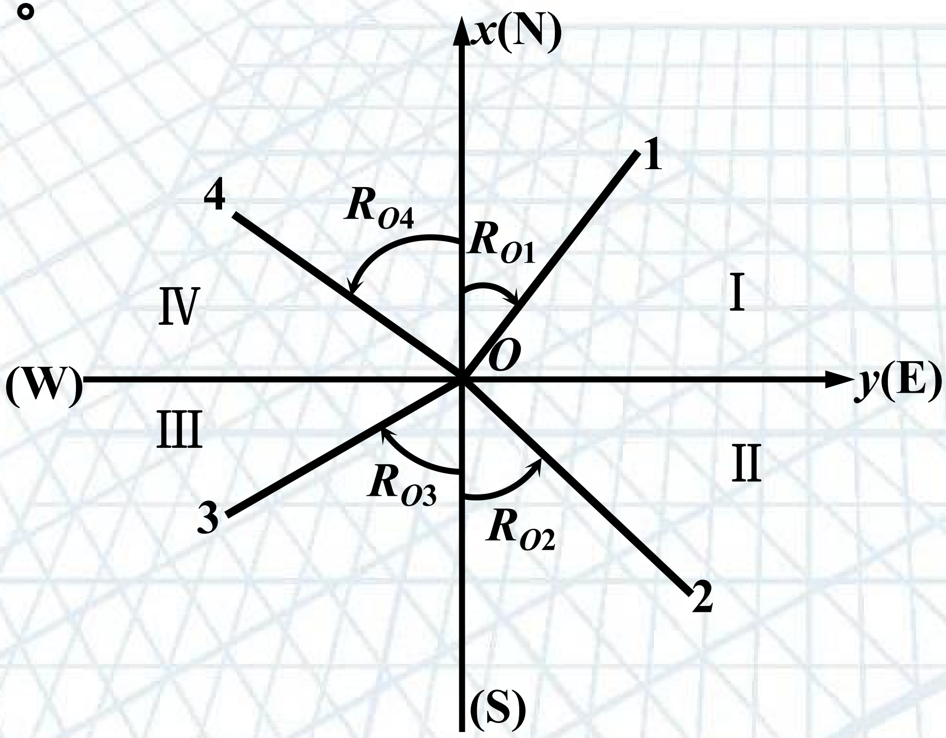
$= 350$ $-10° < 0°$ （$-10°+360°$）

$\alpha_{23}=\alpha_{12}-\beta_2+\beta_3-\beta_4\pm180°$

直线定向

❖象限角：

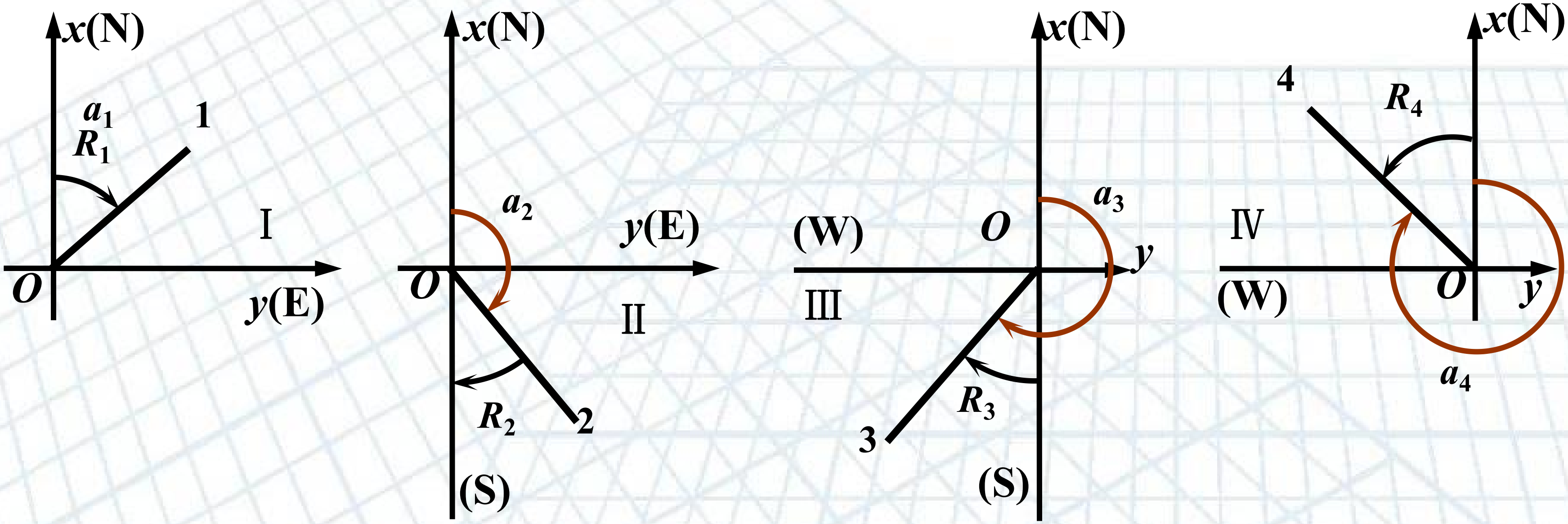
- 由坐标纵轴的北端或南端起，沿顺时针或逆时针方向量至直线的锐角，称为该直线的象限角，用R表示，其角值范围为0°～90°。



直线定向

❖ 象限角

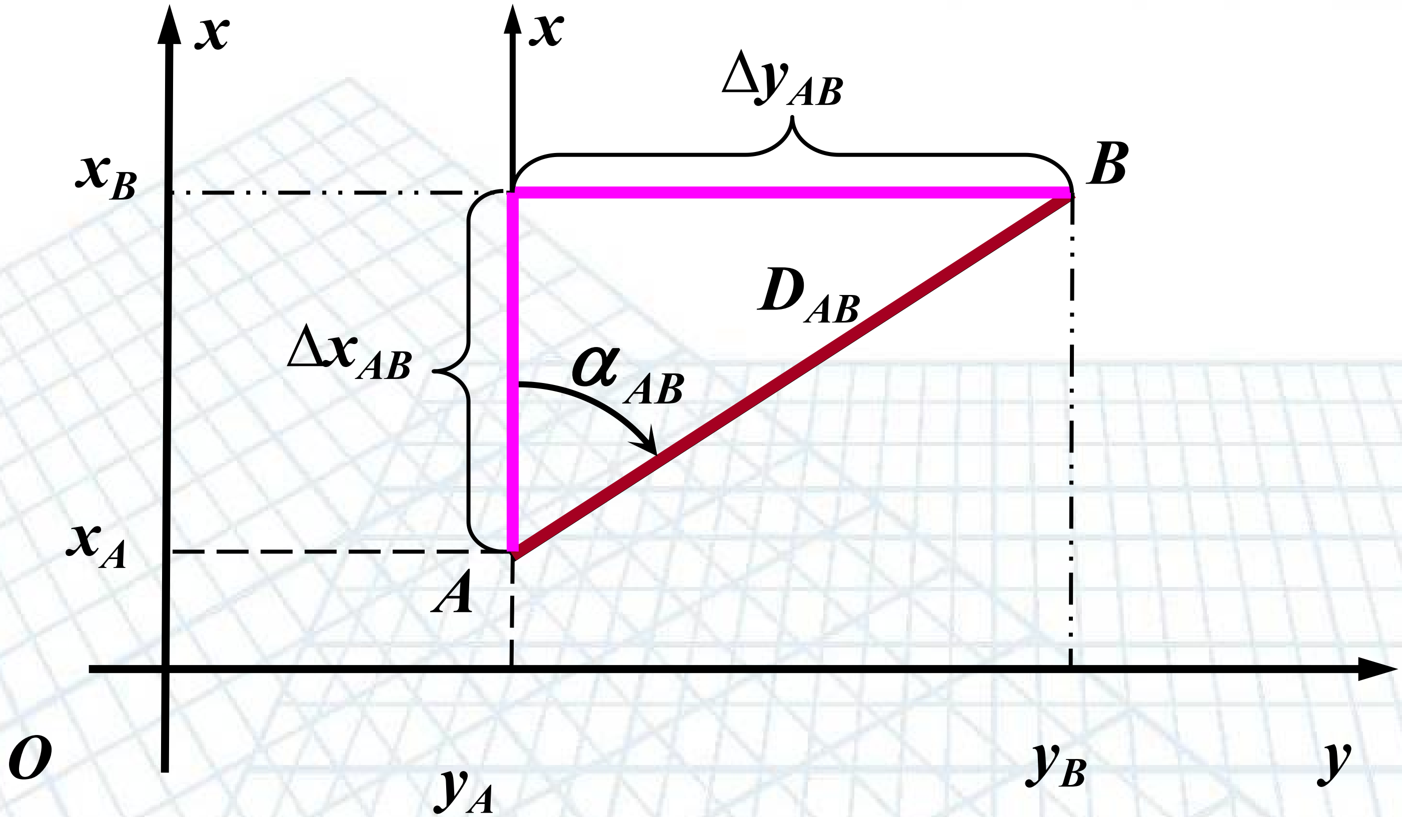
- 坐标方位角与象限角的换算关系

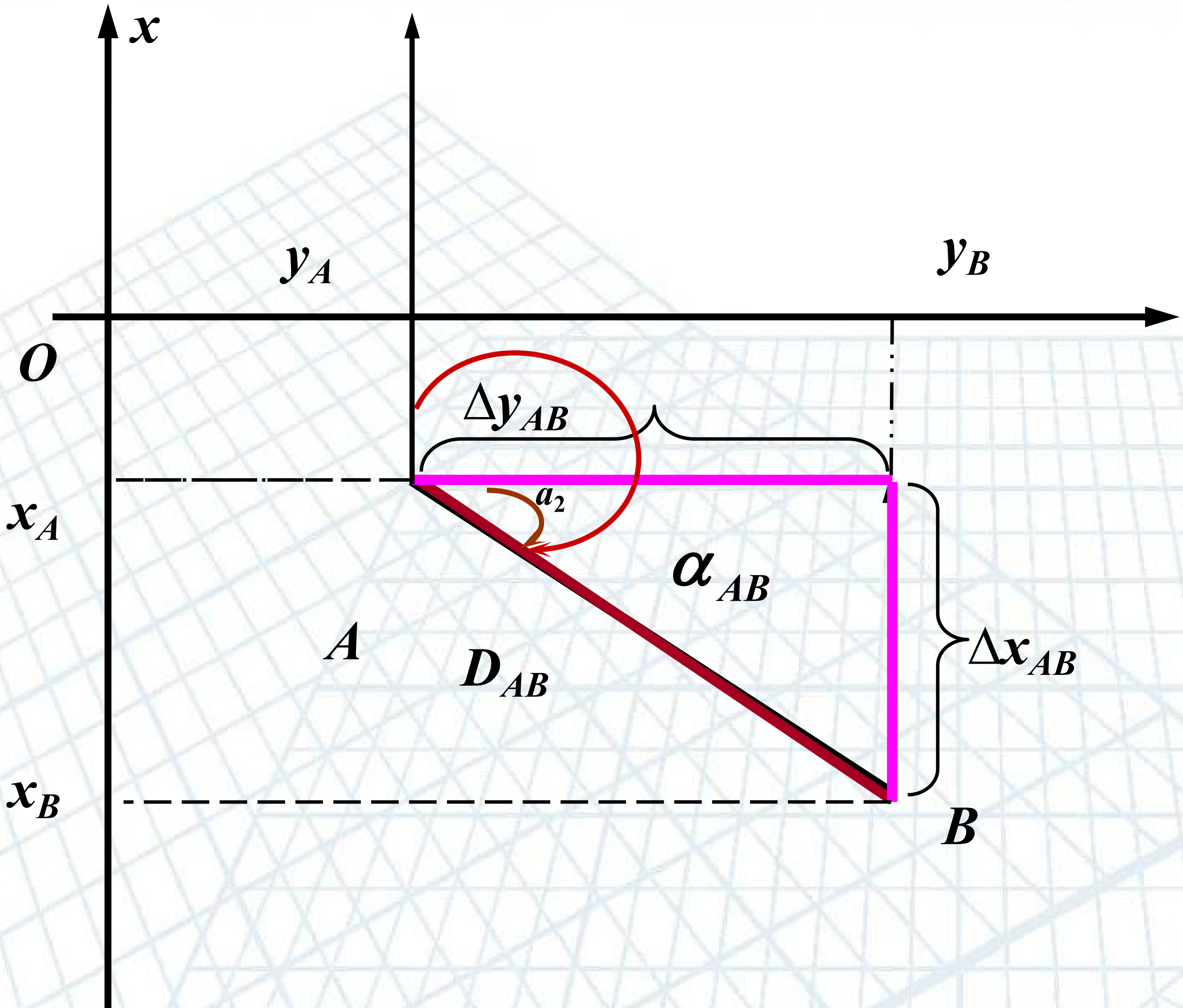


$R = \alpha$ $\quad R = 180° - \alpha$ $\quad R = \alpha - 180°$ $\quad R = 360° - \alpha$

象限角的意义

进行坐标正算和反算




x
y_A
y_B
O
Δy_{AB}
x_A
a_2
α_{AB}
A
D_{AB}
Δx_{AB}
x_B
B

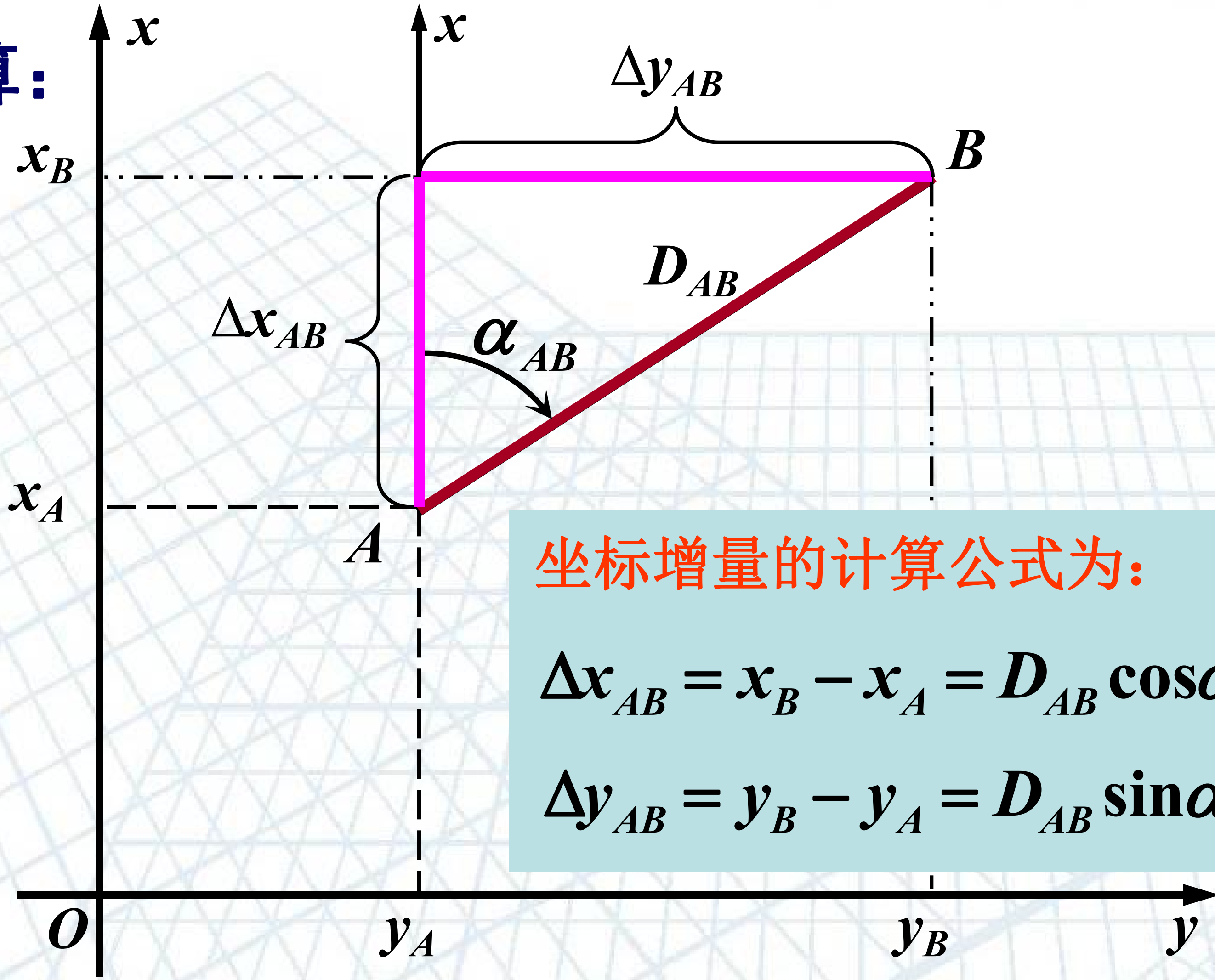
5、坐标正算和坐标反算

❖ **坐标正算：**

- 根据直线起点的坐标、直线长度及其坐标方位角计算直线终点的坐标，称为坐标正算。
- 直线两端点A、B的坐标值之差，称为坐标增量，用Δx_{AB}、Δy_{AB}表示。

坐标正算和坐标反算

❖ **坐标正算：**



坐标增量的计算公式为：

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A = D_{AB}\cos\alpha_{AB}$$

$$\Delta y_{AB} = y_B - y_A = D_{AB}\sin\alpha_{AB}$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标正算

■ 坐标增量正、负号的规律如下表所示。

象限	坐标方位角α	Δx	Δy
Ⅰ	$0^\circ \sim 90^\circ$	+	+
Ⅱ	$90^\circ \sim 180^\circ$	−	+
Ⅲ	$180^\circ \sim 270^\circ$	−	−
Ⅳ	$270^\circ \sim 360^\circ$	+	−

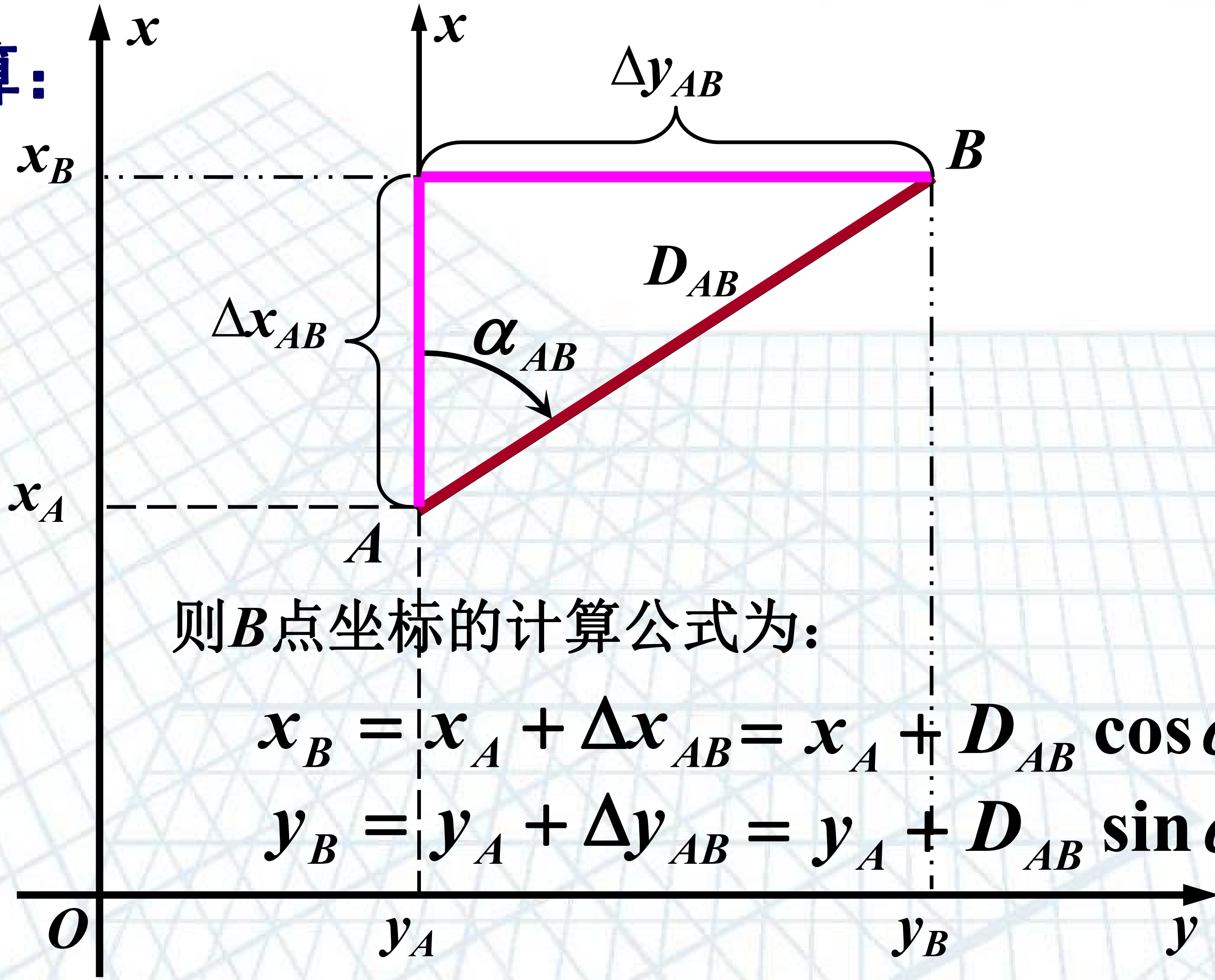
则B点坐标的计算公式为:

$$x_B = x_A + \Delta x_{AB} = x_A + D_{AB}\cos\alpha_{AB}$$

$$y_B = y_A + \Delta y_{AB} = y_A + D_{AB}\sin\alpha_{AB}$$

坐标正算和坐标反算

❖ **坐标正算：**



则*B*点坐标的计算公式为：

$$x_B = x_A + \Delta x_{AB} = x_A + D_{AB}\cos\alpha_{AB}$$

$$y_B = y_A + \Delta y_{AB} = y_A + D_{AB}\sin\alpha_{AB}$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标正算

例题：已知*AB*边的边长及坐标方位角为，

$D_{AB} = 135.62\,\text{m}$， $\alpha_{AB} = 80°36'54''$ 若*A*点的坐标为，

$x_A = 435.56\,\text{m}$， $y_A = 658.82\,\text{m}$ ， 试计算终点*B*的坐标。

解: $$x_B = x_A + D_{AB}\cos\alpha_{AB}$$

$$= 435.56\,\text{m} + 135.62\,\text{m} \times \cos 80°36'54''$$

$$= 457.68\,\text{m}$$

$$y_B = y_A + D_{AB}\sin\alpha_{AB}$$

$$= 658.82\,\text{m} + 135.62\,\text{m} \times \sin 80°36'54''$$

$$= 792.62\,\text{m}$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标反算

- 根据直线起点和终点的坐标，计算直线的边长和坐标方位角，称为坐标反算。
- 按下式计算坐标方位角时，计算出的是象限角，因此，应根据坐标增量Δx、Δy的正、负号，按表决定其所在象限，再把象限角换算成相应的坐标方位角。

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2} \qquad \alpha_{AB} = \arctan \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标反算

- 例题：已知A、B两点的坐标分别为

$x_A = 342.99\,\text{m}$，$y_A = 814.29\,\text{m}$，$x_B = 304.50\,\text{m}$，$y_B = 525.72\,\text{m}$

试计算AB的边长及坐标方位角。

解：计算A、B两点的坐标增量

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A = 304.50\,\text{m} - 342.99\,\text{m} = -38.49\,\text{m}$$

$$\Delta y_{AB} = y_B - y_A = 525.72\,\text{m} - 814.29\,\text{m} = -288.57\,\text{m}$$

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta x_{AB}^2 + \Delta y_{AB}^2} = \sqrt{(-38.49\,\text{m})^2 + (-288.57\,\text{m})^2}$$

$$= 291.13\,\text{m}$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标反算

■ 例题：已知*A*、*B*两点的坐标分别为

$x_A = 342.99\,\text{m}$，$y_A = 814.29\,\text{m}$，$x_B = 304.50\,\text{m}$，$y_B = 525.72\,\text{m}$

试计算*AB*的边长及坐标方位角。

解：　先计算象限角

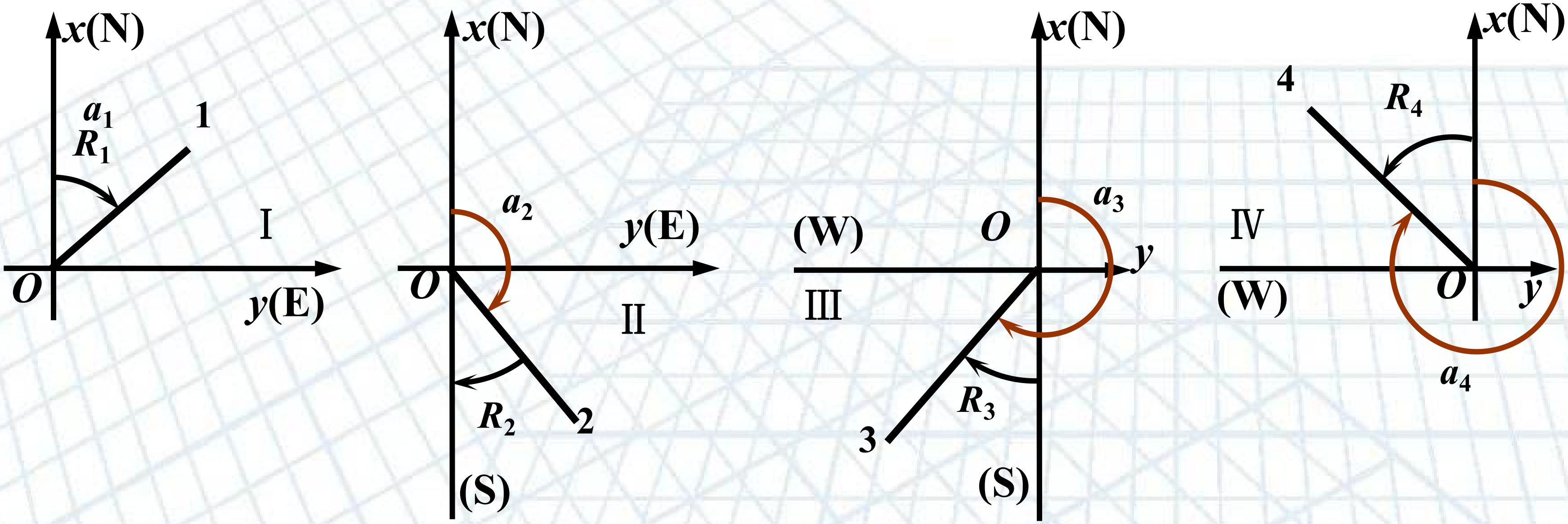
$$R_{AB} = arctan\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}} = \text{arctan}\frac{\boxed{-}\,288.57\,\text{m}}{\boxed{-}\,38.49\,\text{m}} = 82°24'09''$$

该直线位于第III象限，象限角为南偏西 $82°24'09''$

坐标正算和坐标反算

❖ 象限角

■ 坐标方位角与象限角的换算关系



$$R=\alpha \qquad R=180^\circ-\alpha \qquad R=\alpha-180^\circ \qquad R=360^\circ-\alpha$$

坐标正算和坐标反算

❖ 坐标反算

- 例题：已知*A*、*B*两点的坐标分别为

$x_A = 342.99\,\text{m}$，$y_A = 814.29\,\text{m}$，$x_B = 304.50\,\text{m}$，$y_B = 525.72\,\text{m}$

试计算*AB*的边长及坐标方位角。

解：　先计算象限角

$$R_{AB} = arctan\frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}} = \text{arctan}\frac{\boxed{-}\,288.57\,\text{m}}{\boxed{-}\,38.49\,\text{m}} = 82°24'09''$$

该直线位于第III象限，象限角为南偏西 $82°24'09''$

$$\alpha_{AB} = 180^0 + 82^0 24'09'' = 262^0 24'09''$$