

# 项目五小区域控制测量

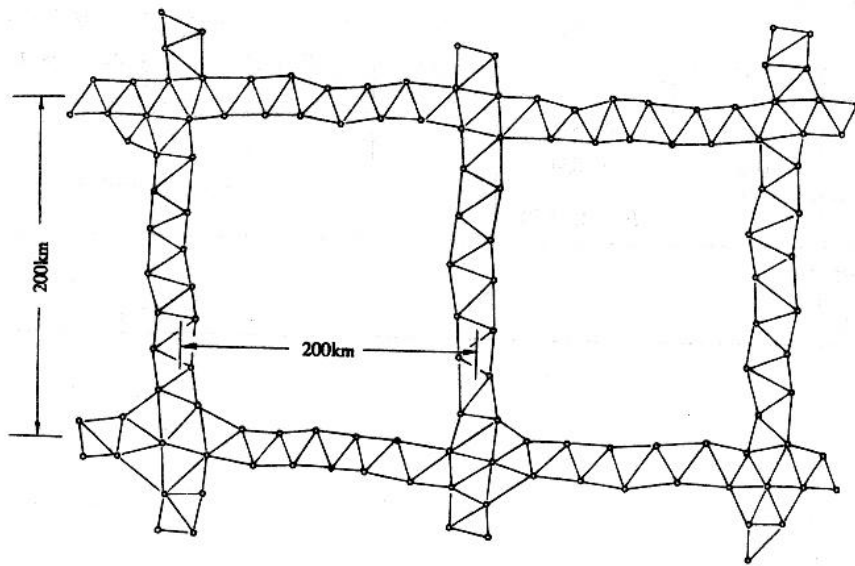
- 5.1 控制测量概述
- 5.2 导线测量
- 5.3 交会定点
- 5.4 高程控制测量

# 5.1 控制测量概述

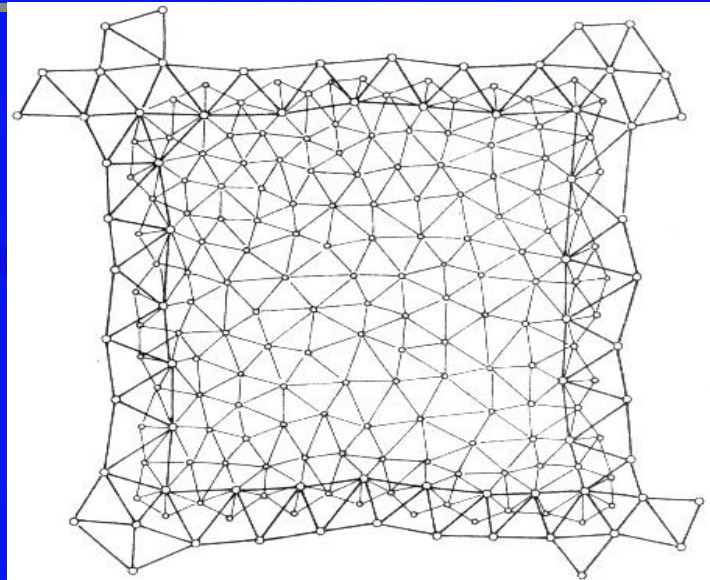
## 5.1.1 测量控制网和施工控制网

- ① 为测图或工程建设的测区建立统一的平面和高程控制网；
- ② 控制误差的积累，保证测量精度；
- ③ 分组施测，提高工作效率。

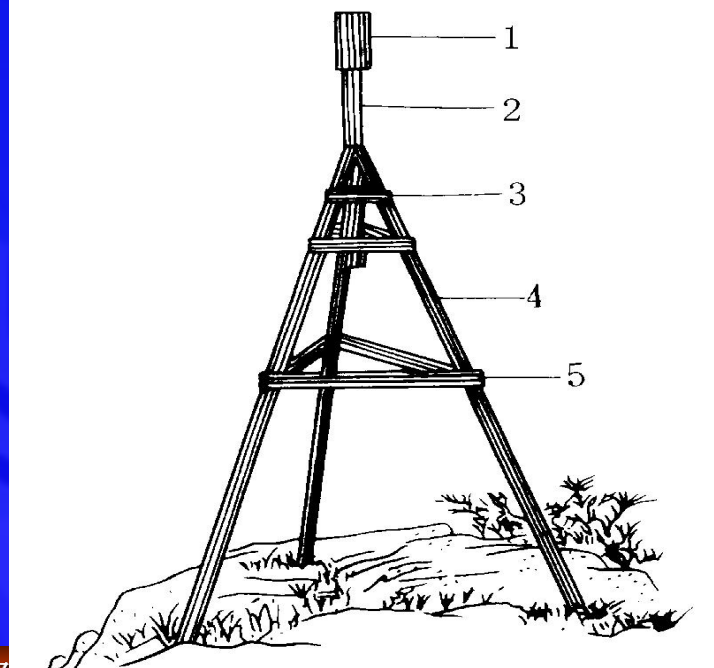
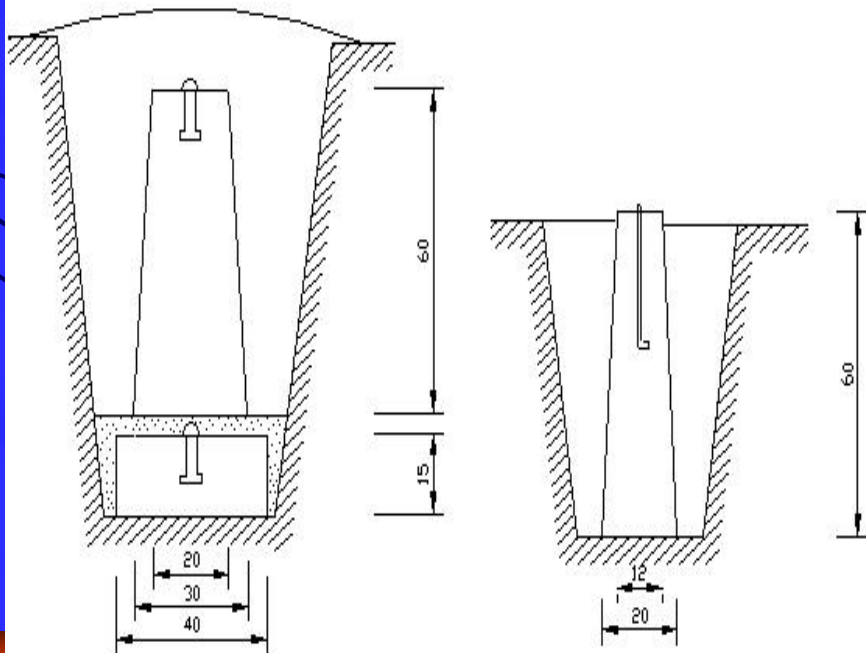
施工控制网布设形式多样，需要结合工程性质和周围条件确定。



一等三角锁



二等连续网



# 国家平面控制网

National horizontal control network



图例	
★ 天文点	★ 首都行政中心
★ 天文点兼测时站、测水位、测水位等	★ 直辖市行政中心
—— 一等导线	—— 国家
—— 二等导线	—— 自治区界
—— 三等导线	—— 特别行政区界
★ 点	—— 水系
	—— 海岸线
	—— 国界线

由 48000 多个点组成的国家平面控制网，是确定地物地貌平面位置的基准系统。

The national horizontal geodetic network composed of over 48,000 points is the reference system for the horizontal position of objects.



国家大地原点 位于山西省太原市晋源区  
National Geodetic Origin Be located in the Yangle town of Shanxi province.



大地原点标志  
The image of the National Geodetic Origin



## 5.1.2 施工坐标系和测量坐标系

设P点的施工坐标为已知，则可按下式将其换算为测量坐标：

$$x_P = x_0 + A_P \cos \alpha - B_P \sin \alpha$$

$$y_P = y_0 + A_P \sin \alpha + B_P \cos \alpha$$

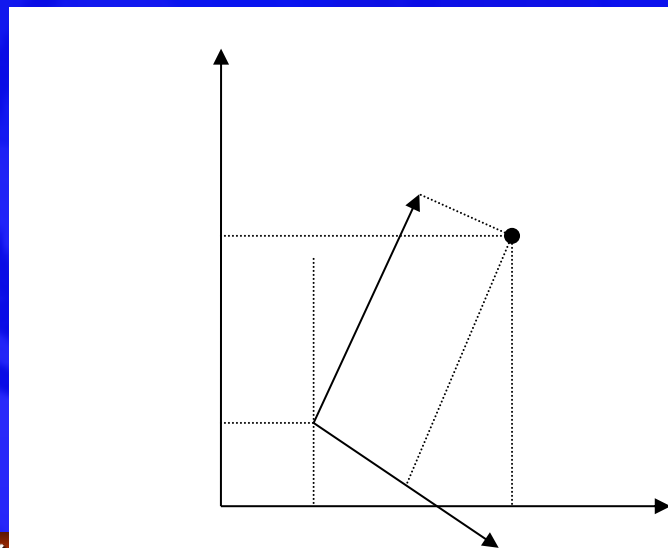
如P点的测量坐标为已知，则可将其换算为施工坐标：

$$A_P = (x_P - x_0) \cos \alpha + (y_P - y_0) \sin \alpha$$

$$B_P = -(x_P - x_0) \sin \alpha + (y_P - y_0) \cos \alpha$$

## 5.1.3 控制网布设一般要求

投影面、布网方案、精度

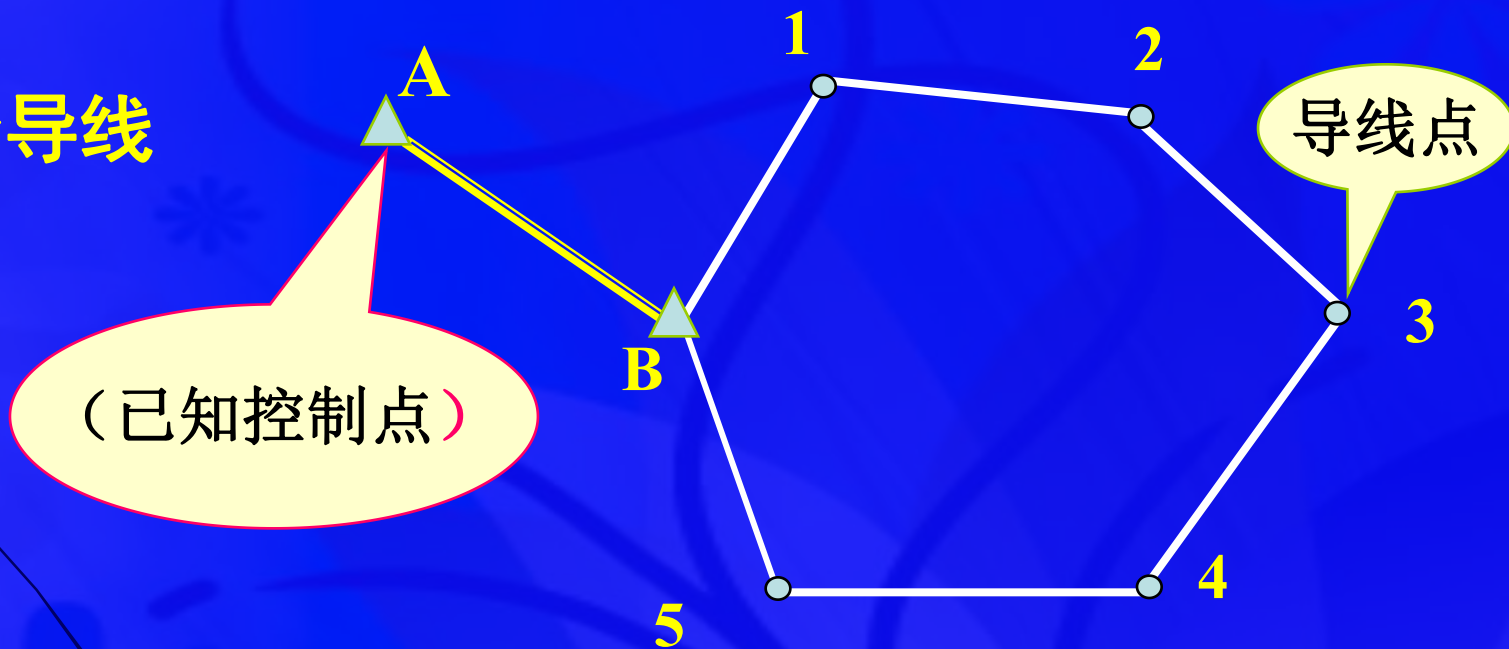


## 5.2 导线测量

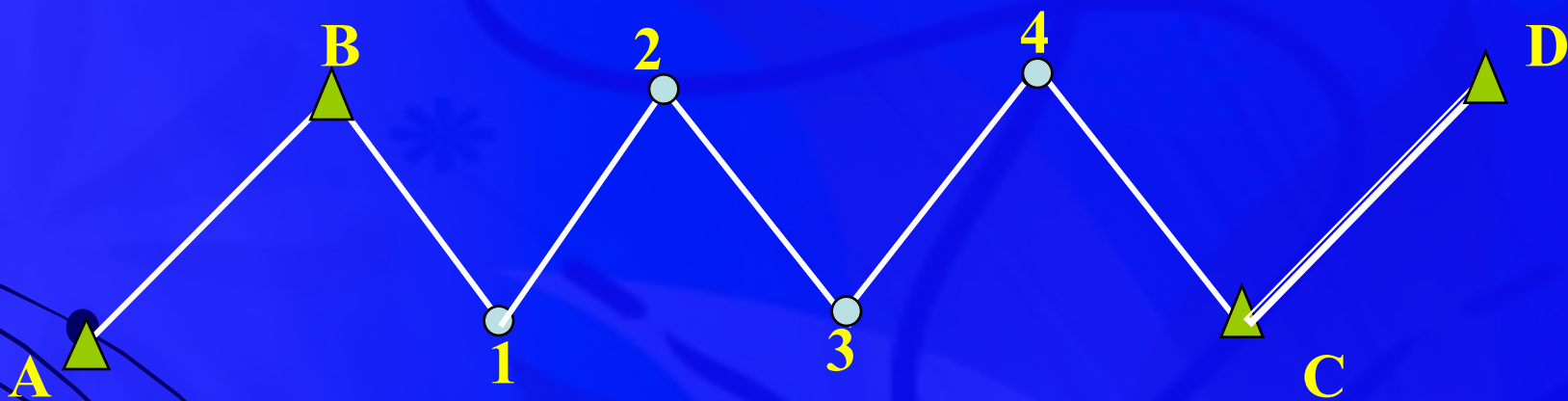
### 5.2.1 导线的布设形式

由测量人员根据测量任务在测区内选定若干控制点，组成的多边形或折线称导线，这些点称导线点。导线可布设成以下三种：

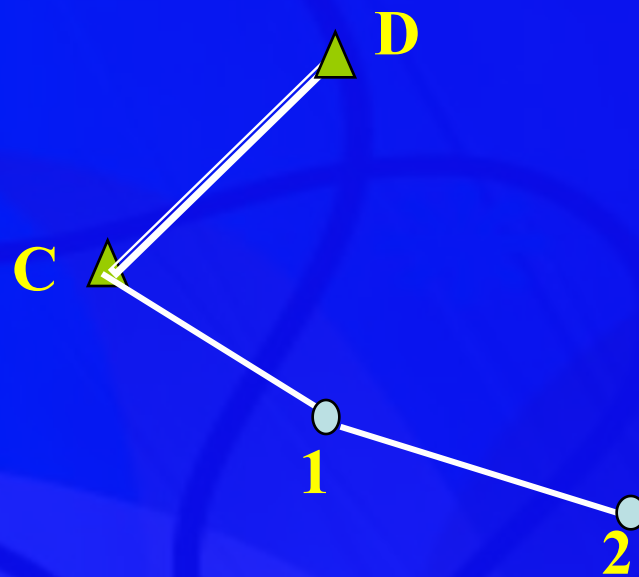
#### 1、闭合导线



## 2、附和导线



### 3、支导线



## 5.2.2 导线测量的外业工作

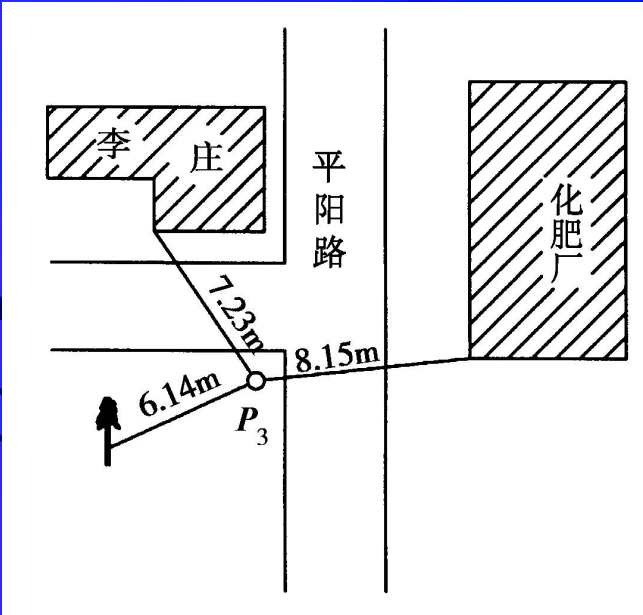
- 踏勘选点，布网设计
- 埋石（埋桩）、编号、作点之记
- 测量导线边长及水平角（联接角和折角）

# 1、踏勘选点

实地选点时应注意下列几点：

- (1) 导线点应选在地势较高、视野开阔的地点，便于施测周围地形；
- (2) 相邻两导线点间要互相通视，便于测量水平角；
- (3) 导线应沿着平坦、土质坚实的地面设置，以便于丈量距离；
- (4) 导线边长要选得大致相等，相邻边长不应悬殊过大；
- (5) 导线点位置须能安置仪器，便于保存。

## 2、建立标志

草 图	导 线 点	相 关 位 置	
	$P_3$	李 庄	5.23 m
		化 肥 厂	8.15 m
		独 立 树	5.14 m

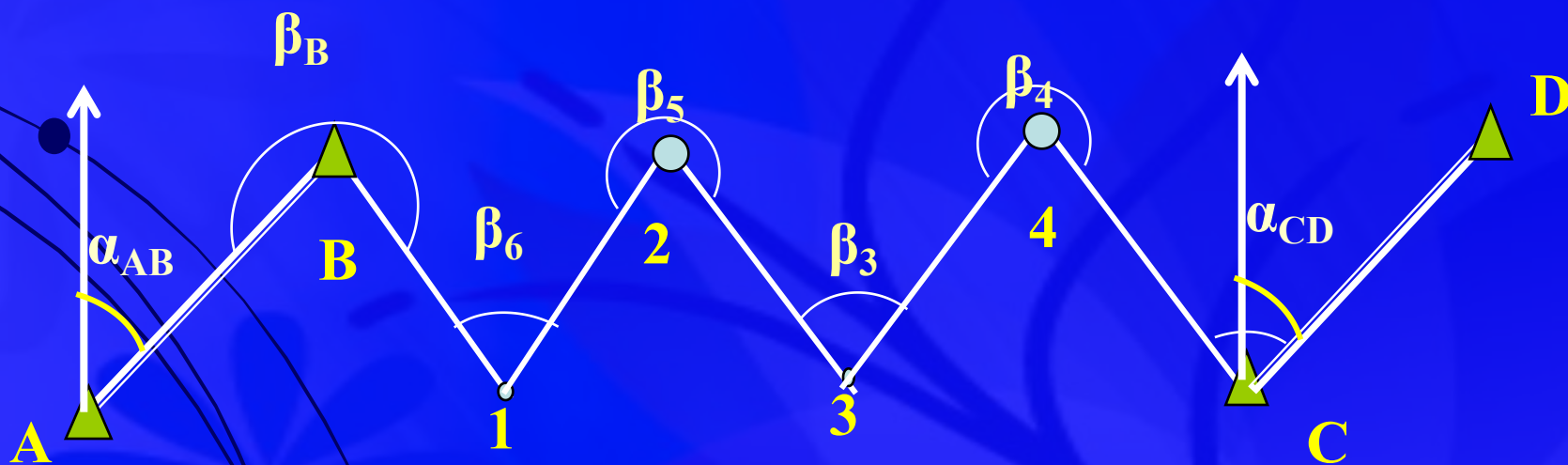
### 3、导线边长测量

导线采用普通钢尺丈量导线边长或用全站仪进行导线边长测量。

### 4、转折角测量

### 5、连接角测量

导线的水平角即转折角，是用经纬仪按测回法进行观测的，在导线点上可以测量导线前进方向的左角或右角。



等级	导线长度	平均边长	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)	测距相对中误差	测回数			方位角闭合差 (")	导线全长相对闭合差
						1"级仪器	2"级仪器	6"级仪器		
三等	14	3	1.8	20	1/150000	6	10	—	$3.6\sqrt{n}$	$\leq 1/55000$
四等	9	1.5	2.5	18	1/80000	4	6	—	$5\sqrt{n}$	$\leq 1/35000$
一级	4	0.5	5	15	1/30000	—	2	4	$10\sqrt{n}$	$\leq 1/15000$
二级	2.4	0.25	8	15	1/14000	—	1	3	$16\sqrt{n}$	$\leq 1/10000$
三级	1.2	0.1	12	15	1/5000	—	1	2	$24\sqrt{n}$	$\leq 1/5000$

等 级	仪器型号	光学测微器 两次重合读数 之差	一测回内 2C互差	同一方向值各 测回较差
四等及以上	1" 级仪 器	1	9	6
	2" 级仪 器	3	13	9
一级及以下	2" 级仪 器	—	18	12
	6" 级仪 器	—	—	24

平面控制网等级	仪器型号	观测次数		总测回数	一测回读数较差 (mm)	单程各测回较差 (mm)	往返较差 (mm)
		往	返				
三等	≤ 5 mm级仪器	1	1	6	≤ 5	≤ 5	≤ $2(a + b \times D)$
	≤ 10 mm级仪器			8	≤ 10	≤ 15	
四等	≤ 5 mm级仪器	1	1	4	≤ 5	≤ 5	
	≤ 10 mm级仪器			6	≤ 10	≤ 15	
一级	≤ 10 mm级仪器	1	—	2	≤ 10	≤ 15	—
二、三级	≤ 10 mm级仪器	1	—	1	≤ 10	≤ 15	—

## 5.2.3 导线测量的内业计算

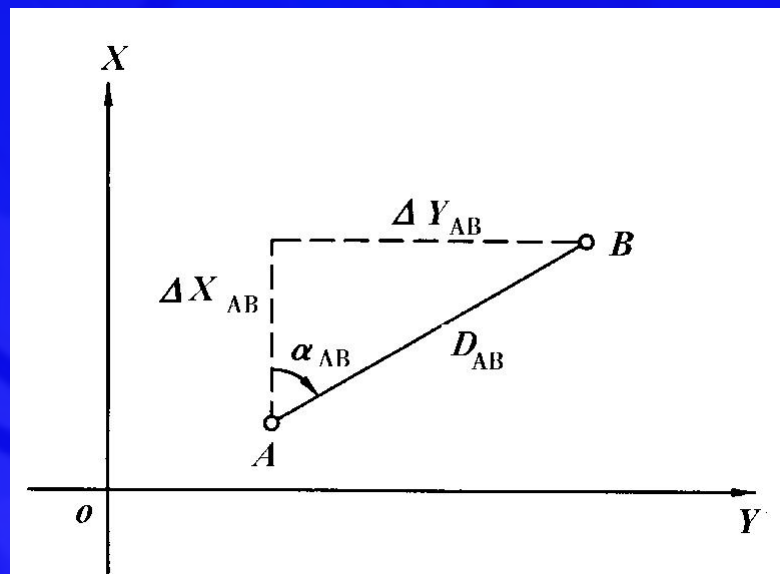
### 1、坐标计算的基本公式

#### 1) 坐标正算

根据已知点的坐标及边长和坐标方位角计算未知点的坐标，即坐标的正算。

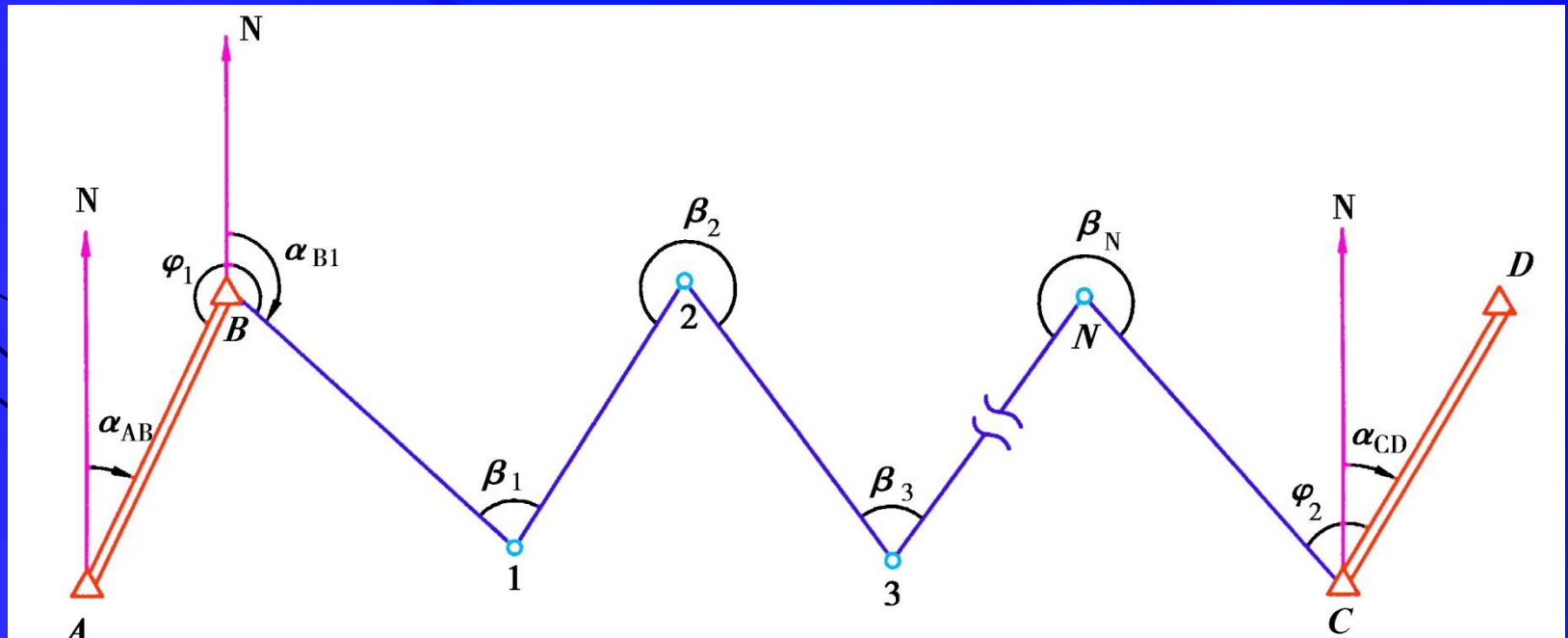
#### 2) 坐标反算

由两个已知点的坐标反算其坐标方位角和边长，即坐标的反算。

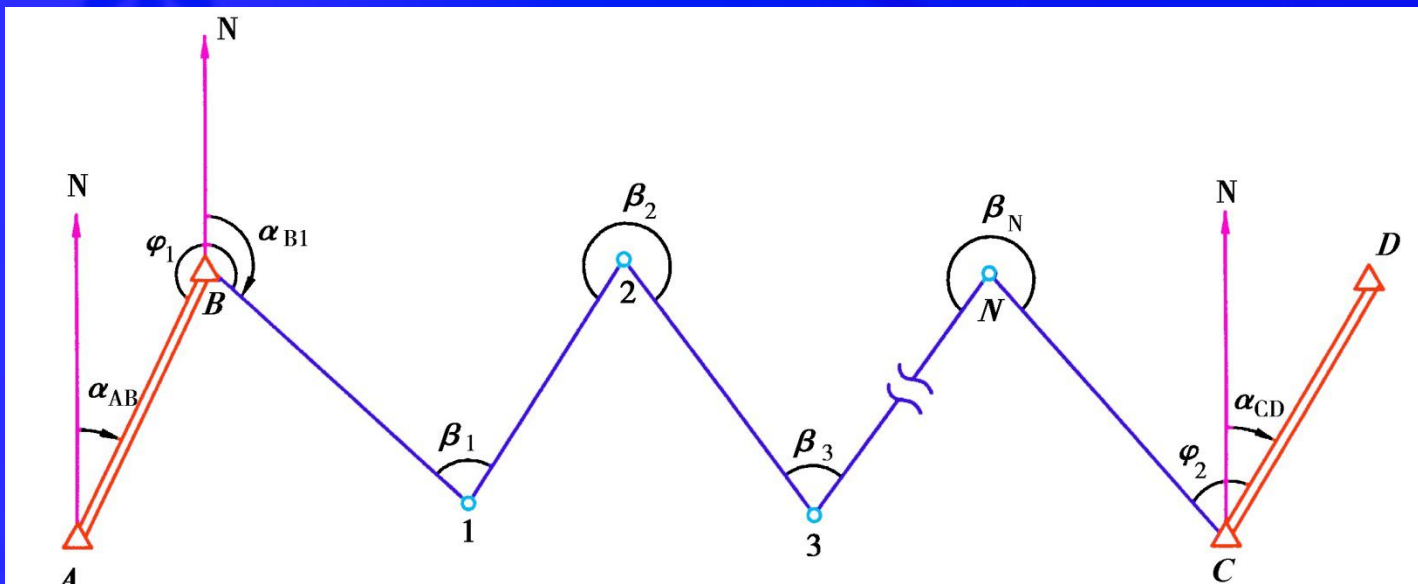


## 2、附和导线的计算

附和导线的坐标计算方法与闭合导线基本上相同，但由于布置形式（见下图）不同，且附和导线两端与已知点相连，因而只是**角度闭合差**与**坐标增量闭合差**的计算公式有些不同，下面介绍这两项的计算方法：



# ① 角度闭合差的计算

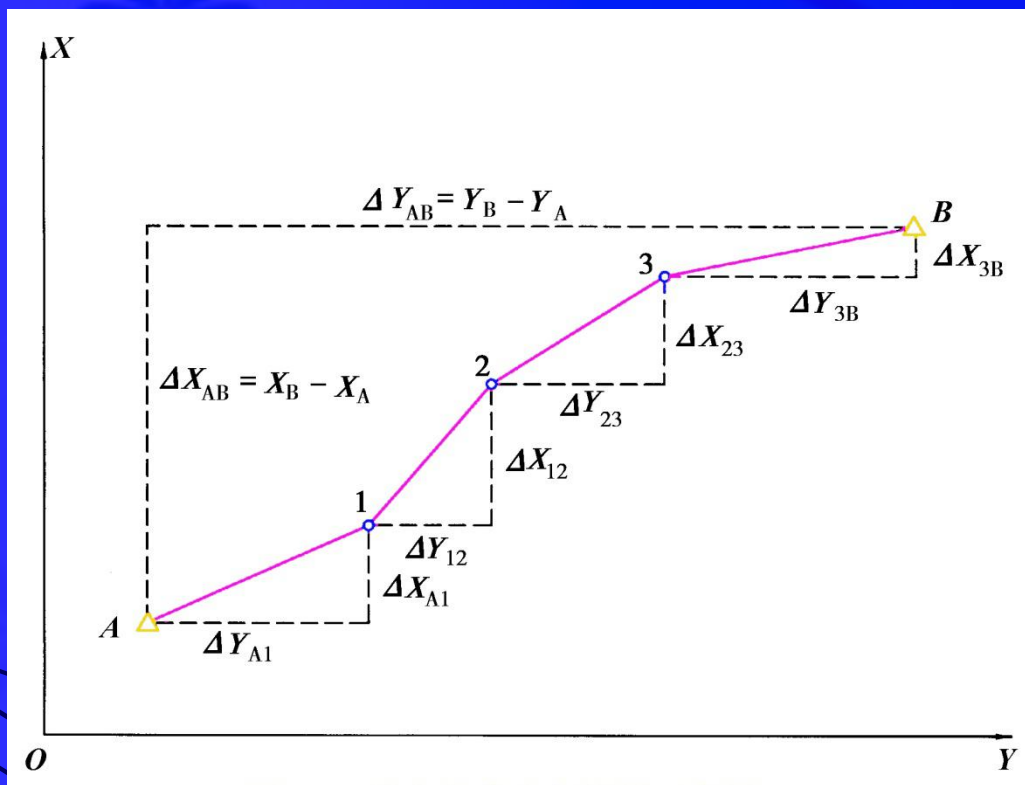


附和导线角度闭合差的一般形式可写为：

$$f_{\beta} = \left( \alpha_{AB} + \sum \beta_{\text{左}} \pm n180^{\circ} \pm n360^{\circ} \right) - \alpha_{CD}$$

$-\sum \beta_{\text{右}}$

## ② 坐标增量闭合差的计算



$$\left. \begin{aligned} f_X &= \sum \Delta X_{\text{算}} - (X_B - X_A) \\ f_Y &= \sum \Delta Y_{\text{算}} - (Y_B - Y_A) \end{aligned} \right\}$$

附和导线坐标增量闭合差的调整方法以及导线精度的衡量均与闭合导线相同。

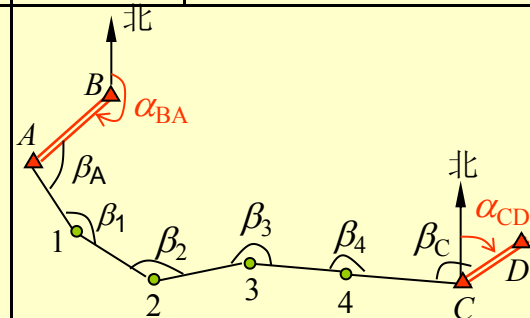
# 附和导线坐标计算表

点号	观测角 (左角) ° ′ ″	改正角 ° ′ ″	坐标 方位角 ° ′ ″	距离 $D$ (m)	增量计算值		改正后增量		坐标值		点号
					$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$x$ (m)	$y$ (m)	
<b>B</b>			<b>235 59 30</b>								
<b>A</b>	99 01 00								505.69	215.63	<b>A</b>
<b>1</b>	165 45 36			225.85							<b>1</b>
<b>2</b>	123 11 24			139.03							<b>2</b>
<b>3</b>	189 20 36			152.55							<b>3</b>
<b>4</b>	159 59 18			100.05							<b>4</b>
<b>C</b>	129 25 24			102.48					166.54	555.25	<b>C</b>
<b>D</b>			<b>46 45 24</b>								
<b><math>\Sigma</math></b>											

辅助计算

$$f_{\beta容} = \pm 60 \sqrt{n}$$

$$k_{容} = 1/2000$$



# 附和导线坐标计算表

点号	观测角 (左角) ° ′ ″	改正角 ° ′ ″	坐标 方位角 ° ′ ″	距离 $D$ (m)	增量计算值		改正后增量		坐标值		点号
					$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$x$ (m)	$y$ (m)	
<b>B</b>			<b>235 59 30</b>								
<b>A</b>	+6 99 01 00	99 01 06							<b>505.69</b>	<b>215.63</b>	<b>A</b>
<b>1</b>	+6 165 45 36	165 45 42	155 00 36	<b>225.85</b>	+5 -205.91	-4 +88.21	-205.86	+88.15	299.83	303.80	<b>1</b>
<b>2</b>	+6 123 11 24	123 11 30	144 46 18	<b>139.03</b>	+3 -115.45	-3 +80.20	-115.44	+80.15	186.29	383.95	<b>2</b>
<b>3</b>	+6 189 20 36	189 20 42	85 55 48	<b>152.55</b>	+3 +6.13	-3 +152.46	+6.16	+152.43	192.45	556.40	<b>3</b>
<b>4</b>	+6 159 59 18	159 59 24	95 18 30	<b>100.05</b>	+2 -12.53	-2 +90.26	-12.51	+99.24	159.54	655.64	<b>4</b>
<b>C</b>	+6 129 25 24	129 25 30	95 15 54	<b>102.48</b>	+2 -13.02	-2 +101.65	-13.00	+101.63	<b>166.54</b>	<b>555.25</b>	<b>C</b>
<b>D</b>			<b>46 45 24</b>								
<b>Σ</b>	<b>888 45 18</b>	<b>888 45 54</b>									
				<b>540.00</b>	<b>-341.10</b>	<b>+541.58</b>	<b>-340.95</b>	<b>+541.64</b>			

辅助计算

$$\alpha'_{CD} = \alpha_{BA} + \Sigma \beta_{测} - n \cdot 180$$

$$= 46^\circ 44'48''$$

$$- \alpha_{CD} = 46^\circ 45'24''$$


---


$$f_\beta = -36''$$

$$f_{\beta容} = \pm 60'' \sqrt{6} = \pm 145''$$

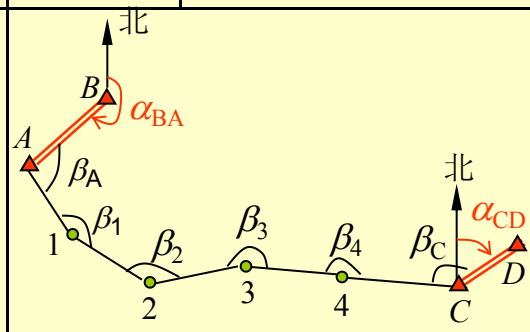
$$f_x = \Sigma \Delta x_{测} - (x_C - x_A) = -0.15$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{测} - (y_C - y_A) = +0.14$$

$$f_D = \pm \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0.20m$$

$$K = 0.20 / 540.00 = 1/3500$$

$$k_{容} = 1/2000$$



# 1、角度闭合差的计算与调整

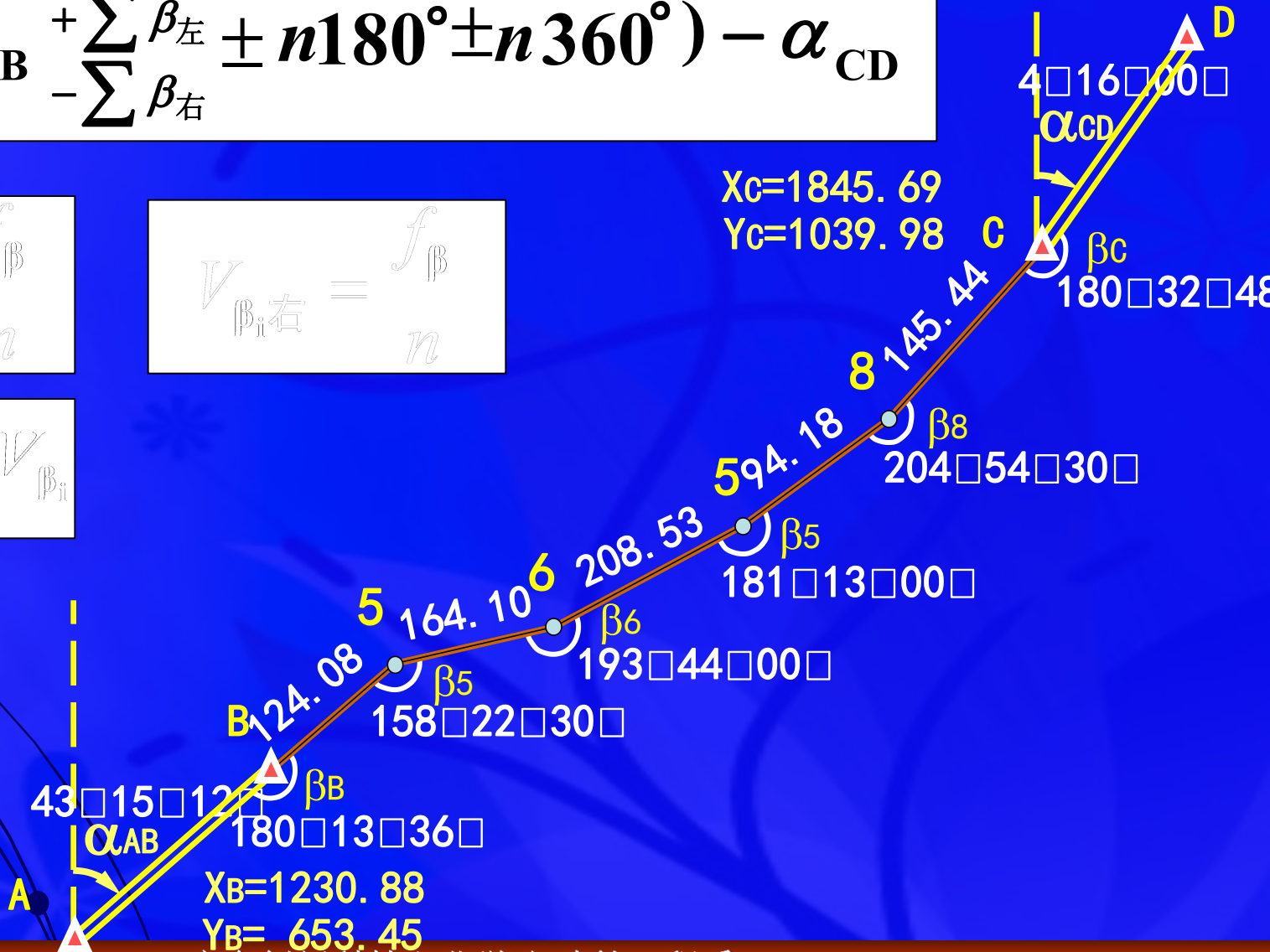
$$f_{\beta} = (\alpha_{AB} + \sum \beta_{\text{左}} - \sum \beta_{\text{右}} \pm n180^{\circ} \pm n360^{\circ}) - \alpha_{CD}$$

$$V_{\beta_{i\text{左}}} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

$$V_{\beta_{i\text{右}}} = \frac{f_{\beta}}{n}$$

$$\beta_i = \beta_{\text{测}i} + V_{\beta_i}$$

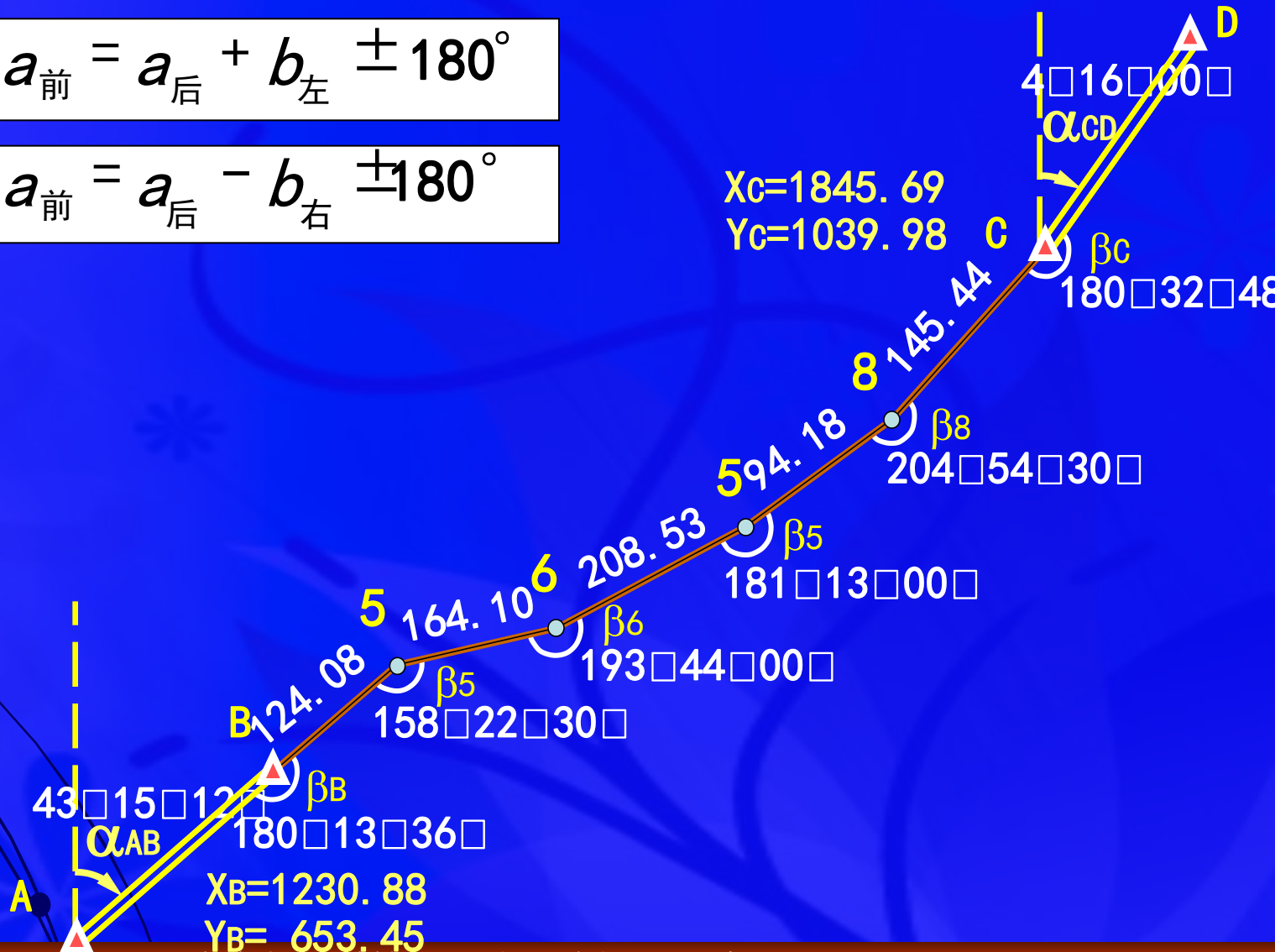
$X_C = 1845.69$   
 $Y_C = 1039.98$



## 2、各边方向角的推算

左角法:  $a_{前} = a_{后} + b_{左} \pm 180^\circ$

右角法:  $a_{前} = a_{后} - b_{右} \pm 180^\circ$

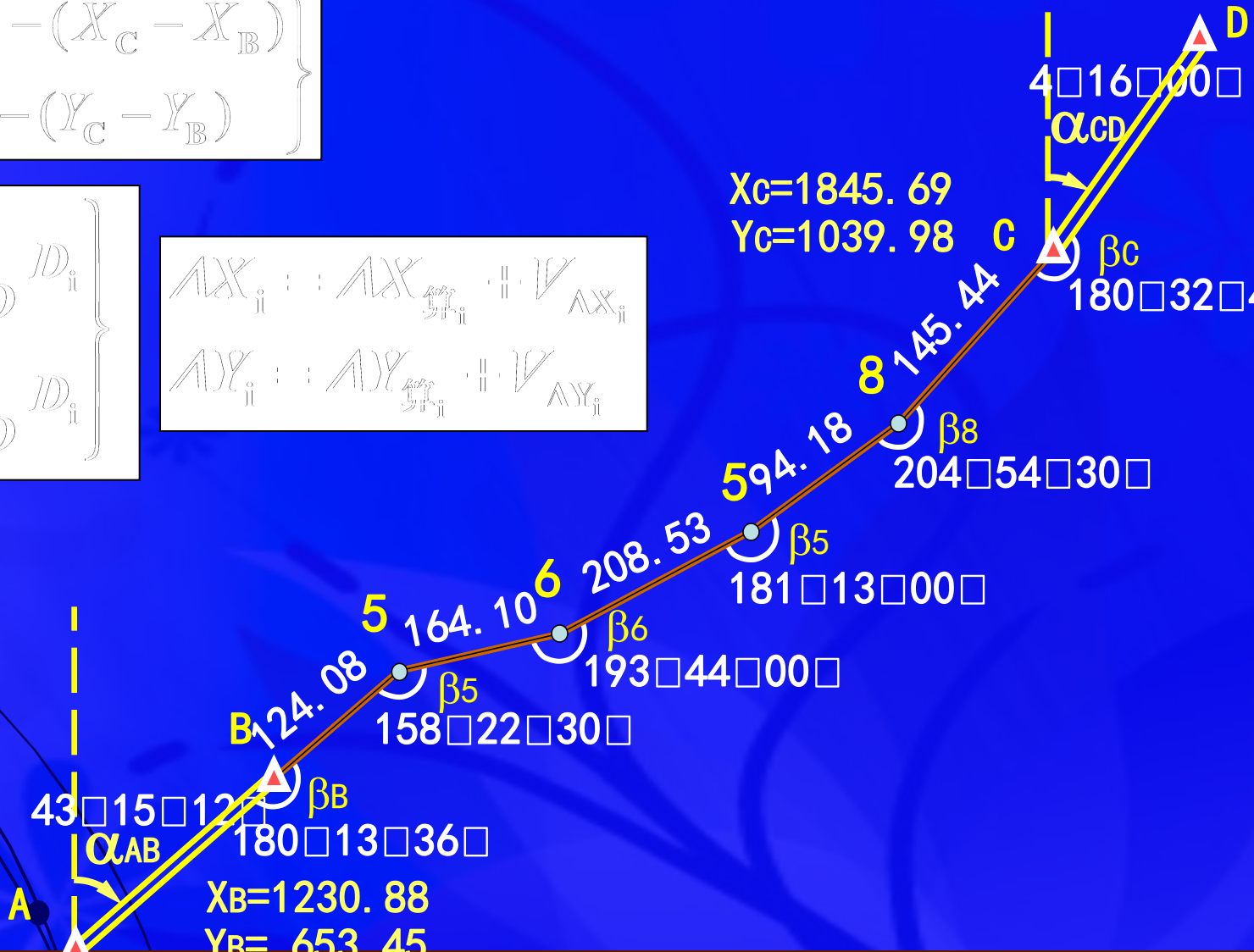


# 3、坐标增量闭合差的计算与调整

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta X_{\text{算}} - (X_C - X_B) \\ f_y &= \sum \Delta Y_{\text{算}} - (Y_C - Y_B) \end{aligned} \right\}$$

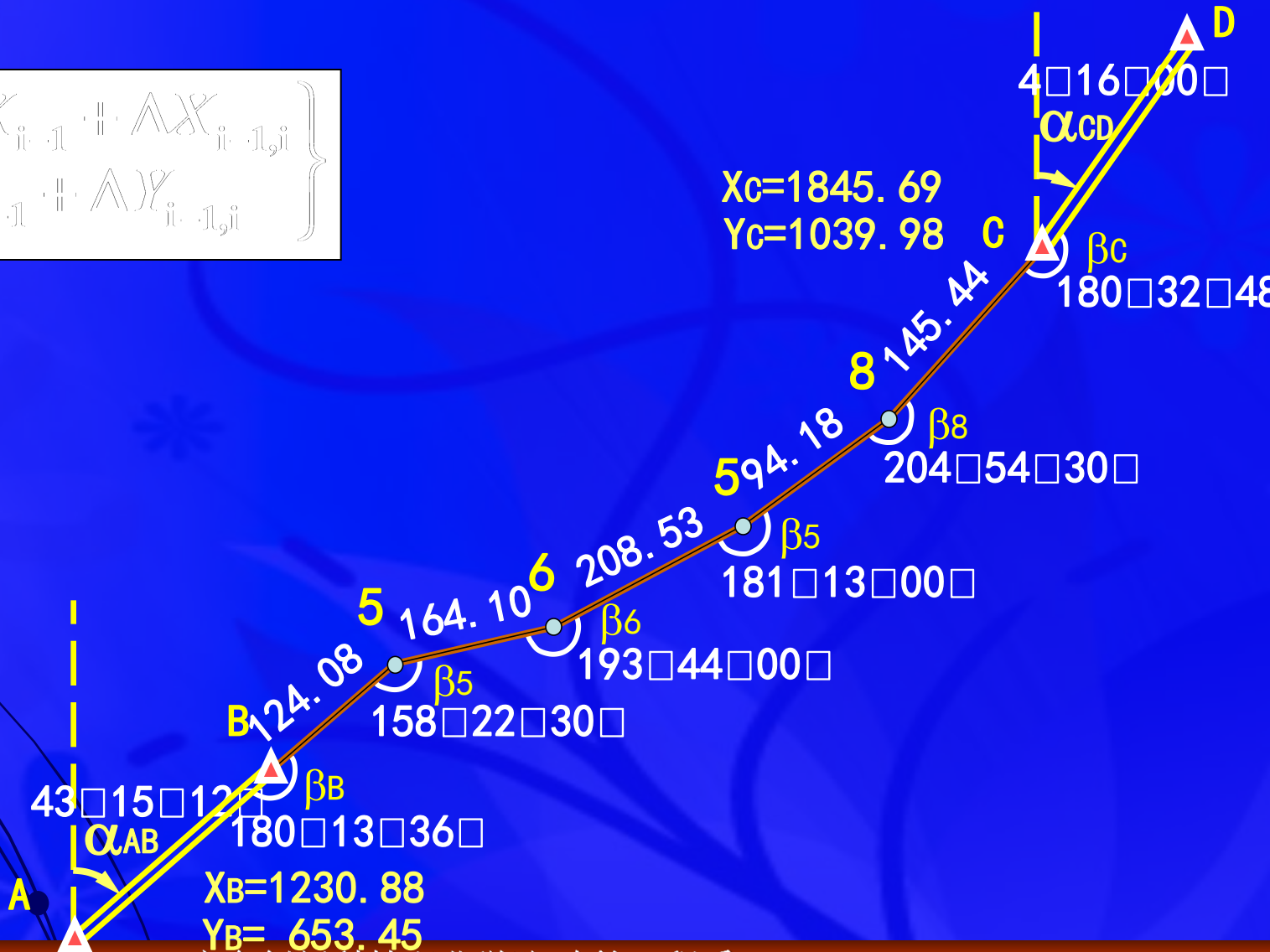
$$\left. \begin{aligned} V_{\Delta X_i} & \dots \dots \dots \frac{f_x}{\sum_{i=1}^n \Delta X_i} \Delta X_i \\ V_{\Delta Y_i} & \dots \dots \dots \frac{f_y}{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i} \Delta Y_i \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned} \Delta X_i & \dots \dots \dots \frac{f_x}{\sum_{i=1}^n \Delta X_i} \Delta X_i \\ \Delta Y_i & \dots \dots \dots \frac{f_y}{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i} \Delta Y_i \end{aligned}$$



# 4、推算各点坐标。

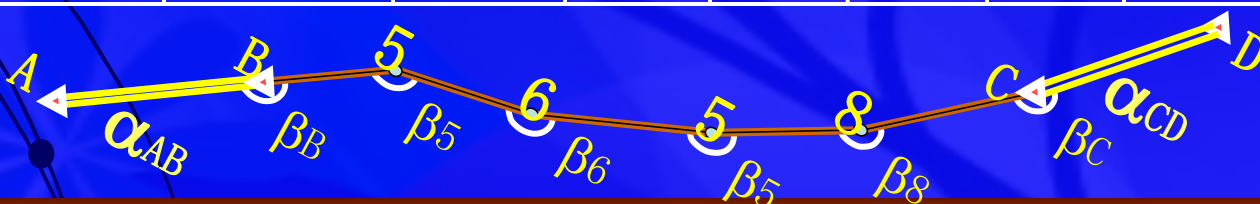
$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \Delta X_{i-1,i} \\ Y_i &= Y_{i-1} + \Delta Y_{i-1,i} \end{aligned} \right\}$$



点号	转折角 (右) □ □ □	改正后 转折角 □ □ □	方位角 $\alpha$ □ □ □ □	边长 D (米)	坐标 增量(米)		改正后 增量(米)		坐标(米)		点号
					$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y	
A			43 15 12								
B	180 13 36			124.08					1230.88	653.45	B
5	158 22 30			164.10							5
6	193 44 00			208.53							6
5	181 13 00			94.18							5
8	204 54 30			145.44							8
C	180 32 48		4 16 00						1845.69	1039.98	C
D											

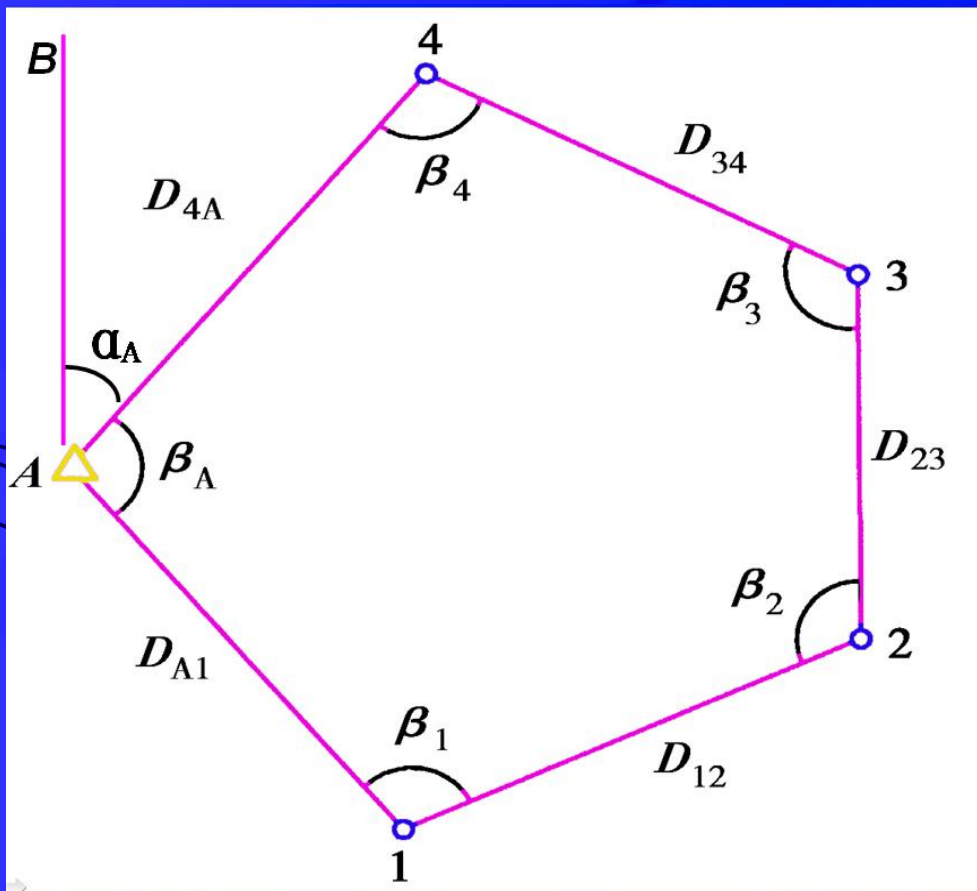


点号	转折角 (右)	改正后 转折角	方位角	边长 D (米)	坐标 增量(米)		改正后 增量(米)		坐标(米)		点号
	□ □ □		$\alpha$		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y	
A											
B	+8 180 13 36	180 13 44	43 15 12								
5	+8 158 22 30	158 22 38	43 03 28	124.08	90.66	84.51	90.64	84.53	1230.88	653.45	B
6	+8 193 44 00	193 44 08	44 40 50	164.10	116.68	115.39	116.66	115.42	1321.52	558.18	5
5	+8 181 13 00	181 13 08	30 56 42	208.53	158.85	105.23	158.83	105.26	1438.18	853.60	6
8	+8 204 54 30	204 54 38	29 43 34	94.18	81.59	46.50	81.58	46.52	1615.01	980.86	5
C	+8 180 32 48	180 32 56	4 48 56	145.44	146.92	12.38	146.90	12.40	1698.59	1025.58	8
D			4 16 00						1845.69	1039.98	C
$\Sigma$	1119 00 24			538.33	614.90	366.41	614.81	366.53			



# 3、闭合导线的计算

## 角度闭合差的计算与调整



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

$$V_{\beta_i} = \frac{f_{\beta}}{n} \quad \beta_i = \beta_{测i} - V_{\beta_i}$$

## 坐标方位角推算

- 计算AB的坐标方位角  $\alpha_{AB}$
- 根据坐标方位角推算公式, 计算每条边的坐标方位角

## 坐标增量的计算

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{i-1,i} &= D_{i-1,i} \cdot \cos \alpha_{i-1,i} \\ \Delta Y_{i-1,i} &= D_{i-1,i} \cdot \sin \alpha_{i-1,i} \end{aligned} \right\}$$

# 坐标增量闭合差的计算与调整

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \Delta X_{ij} &= f_x \\ \sum_{i=1}^n \Delta Y_{ij} &= f_y \end{aligned} \right\} f_{\text{闭}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad |K| = \frac{f_{\text{闭}}}{\sum_{i=1}^n l_{ij}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_{ij} / f_{\text{闭}}}$$

所有坐标增量改数的总和，其数值应等于坐标增量闭合差而符号相反，即：

$$\left. \begin{aligned} \sum V_{\Delta X} &= V_{\Delta X1} + V_{\Delta X2} + \cdots + V_{\Delta Xm} = -f_x \\ \sum V_{\Delta Y} &= V_{\Delta Y1} + V_{\Delta Y2} + \cdots + V_{\Delta Ym} = -f_y \end{aligned} \right\}$$

设  $V_{\Delta X_i}$ 、 $V_{\Delta Y_i}$  分别为纵、横坐标增量的改正数，即：

$$\left. \begin{aligned} V_{\Delta X_i} &= \frac{\int_x}{\sum_{i=1}^n \Delta X_i} \cdot \Delta X_i \\ V_{\Delta Y_i} &= \frac{\int_y}{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i} \cdot \Delta Y_i \end{aligned} \right\}$$

则改正后的坐标增量为：

$$\begin{aligned} \Delta X_{i'} &= \Delta X_{i-1,i} + V_{\Delta X_i} \\ \Delta Y_{i'} &= \Delta Y_{i-1,i} + V_{\Delta Y_i} \end{aligned}$$

## 坐标推算

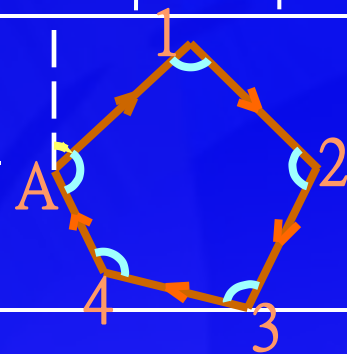
● 用改正后的坐标增量，就可以从导线起点的已知坐标依次推算其它导线点的坐标，即：

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + \Delta X_{i-1,i} \\ Y_i &= Y_{i-1} + \Delta Y_{i-1,i} \end{aligned} \right\}$$



# 例题：闭合导线坐标计算表

点号	转折角 (右) □ □	改正后 转折角 □ □	方向角 $\alpha$ □ □	边长 D (米)	坐标 增量(米)		改正后 增量(米)		坐标(米)		点号
					$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y	
A	□	□	□		-2	+2			536.25	328.54	A
1	+12 95 03 00	95 03 12	48 43 18	115.10	+55.93	+86.50	+55.91	+86.52	612.18	415.26	1
2	+12 105 15 06	105 15 18	131 40 06	100.09	-66.54	+54.55	-66.56	+54.59	545.62	490.05	2
3	+12 101 46 24	101 46 36	206 22 48	108.32	-95.04	-48.13	-95.06	-48.11	448.56	441.94	3
4	+12 123 30 06	123 30 18	284 36 12	94.38	+23.80	-91.33	+25.48	-91.32	452.34	350.62	4
A	+12 112 22 24	112 22 36	341 05 54	65.58	+63.94	-21.89	+63.93	-21.88	536.25	328.54	A
1			48 43 18								
$\Sigma$	539 59 00	540 00 00		485.45	+0.09	-0.08	0	0			



$$\Sigma \beta_{理} = 540 \square 00 \square 00 \square$$

$$\beta = \Sigma \beta_{测} - \Sigma \beta_{理} = -60 \square$$

$$\beta_{容} = \square 40 \square \frac{c}{\lambda} 5 = \square 89 \square$$

$$x = +0.09$$

$$y = -0.08$$

$$= \sqrt{x^2 + y^2} = 0.120$$

$$K = \frac{1}{\Sigma D} = \frac{1}{4000} < \frac{1}{2000}$$

表 6-10 附和导线坐标计算表

点号	观测角 (左角) /° ' "	改正数 /″	改正角 /° ' "	坐标方位角 $\alpha$ /° ' "	距离 $D$ /m	增量计算值		改正后增量		坐标值		点号
						$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	x/m	y/m	
1	2	3	4=2+3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
B												B
A	91 47 00	+6	91 47 06	<u>245 45 24</u>						<u>2688.88</u>	<u>1686.66</u>	A
1	170 42 50	+6	170 42 56	157 32 30	215.20	+4 -198.88	-4 +82.21	-198.84	+82.17	2490.04	1768.83	1
2	118 50 23	+6	118 50 29	148 15 26	167.65	+3 -142.57	-3 +88.20	-142.54	+88.17	2347.50	1857.00	2
3	193 45 25	+6	193 45 31	87 05 55	163.19	+3 +8.26	-2 +162.98	+8.29	+162.96	2355.79	2019.96	3
4	213 09 52	+6	213 09 58	100 51 26	120.41	+2 -22.68	-2 +118.25	-22.66	+118.23	2333.13	2138.19	4
C	111 25 06	+6	111 25 12	134 01 24	192.39	+3 -133.70	-3 +138.34	-133.67	+138.31	<u>2199.46</u>	<u>2276.50</u>	C
D				<u>65 26 36</u>								D
$\Sigma$	899 40 36	+36	899 41 12		858.84	-489.57	+589.98	-489.42	+589.84	示意图		

辅助计算

$$f_{\beta} = 245^{\circ}45'24'' + 899^{\circ}40'36'' - 6 \times 180^{\circ} - 65^{\circ}26'36'' = -36''$$

$$f_{\beta容} = \pm 40''\sqrt{6} = \pm 97''$$

$$f_x = \sum \Delta x_{测} - (x_C - x_A) = -0.15m$$

$$f_y = \sum \Delta y_{测} - (y_C - y_A) = +0.14m$$

$$\text{导线全长闭合差 } f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \approx \pm 0.21m$$

$$\text{导线全长相对闭合差 } K = \frac{0.21}{858.84} = \frac{1}{4200}$$

$$\text{导线全长容许相对闭合差 } K_{容} = \frac{1}{2000}$$

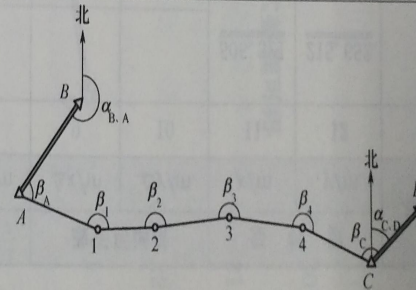


表 6-9 闭合导线坐标计算表

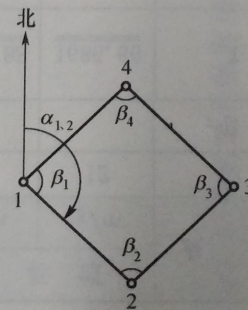
点号	观测角 (左角) /° ' "	改正数 /″	改正角 /° ' "	坐标方位角 $\alpha$ /° ' "	距离 $D$ /m	增量计算值		改正后增量		坐标值		点号
						$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$\Delta x/m$	$\Delta y/m$	$x/m$	$y/m$	
1	2	3	4=2+3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1										<u>506.321</u>	<u>215.652</u>	1
2	107 48 30	+13	107 48 43	<u>125 30 00</u>	105.22	-2 -61.10	+2 +85.66	-61.12	+85.68	445.201	301.332	2
3	73 00 20	+12	73 00 32	53 18 43	80.18	-2 +47.90	+2 +64.30	+47.88	+64.32	493.081	365.652	3
4	89 33 50	+13	89 34 03	306 19 15	129.34	-3 +76.61	+2 -104.21	+76.58	-104.19	569.661	261.462	4
1	89 36 30	+12	89 36 42	215 53 18	78.16	-2 -63.32	+1 -45.82	-63.34	-45.81	<u>506.321</u>	<u>215.652</u>	1
2				<u>125 30 00</u>								
$\Sigma$	359 59 10	+50	360 00 00		392.90	+0.09	-0.07	0.00	0.00			

辅助计算

$$\begin{aligned} \Sigma\beta_{测} &= 359^{\circ}59'10'' \\ -\Sigma\beta_{理} &= 360^{\circ}00'00'' \\ f_{\beta} &= -50'' \\ f_{\beta容} &= \pm 60''\sqrt{4} = \pm 120'' \end{aligned}$$

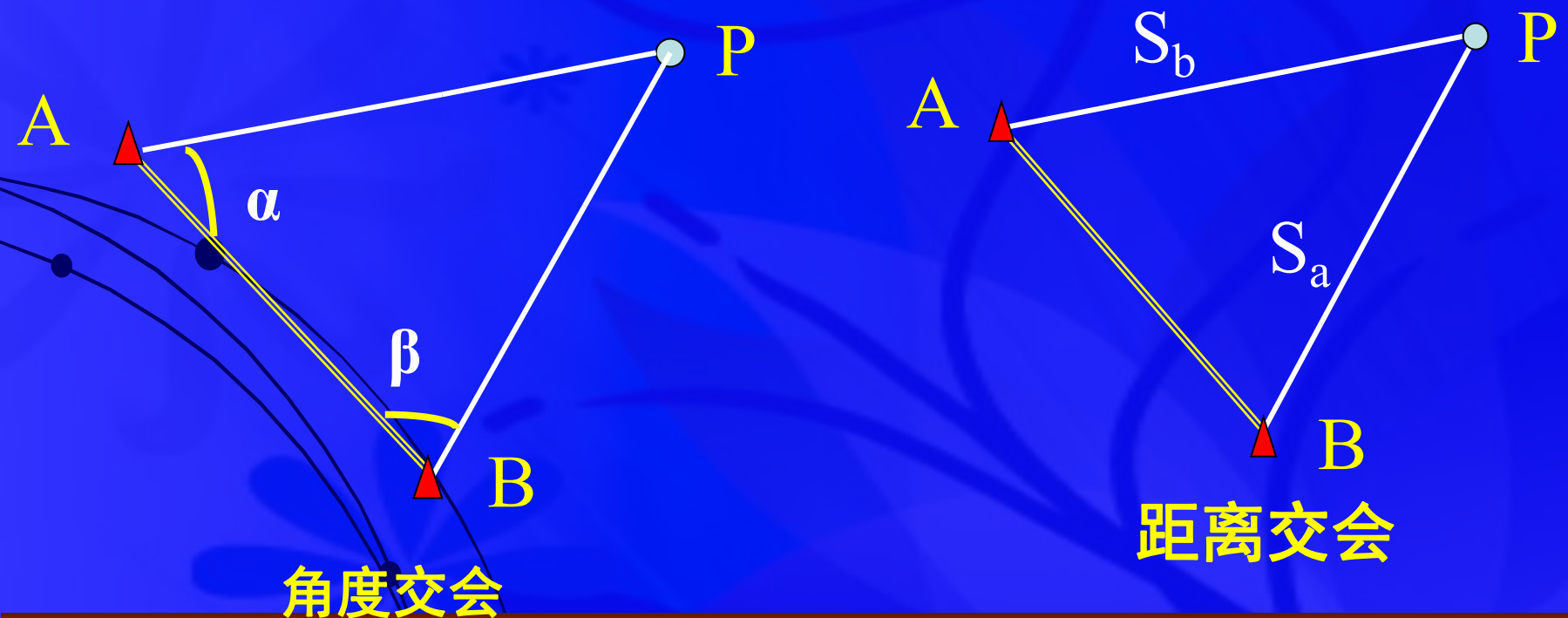
$$\begin{aligned} f_x &= \Sigma\Delta x_{测} = +0.09m, \quad f_y = \Sigma\Delta y_{测} = -0.07m \\ \text{导线全长闭合差 } f_D &= \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0.11m \\ \text{导线全长相对闭合差 } K &= \frac{0.11}{392.90} \approx \frac{1}{3400} \\ \text{容许的相对闭合差 } K_{容} &= \frac{1}{2000} \end{aligned}$$

示意图



## 5.3 交会法定点

**交会定点：**平面控制网是测定一系列点的平面坐标但在测量中往往会遇到只需要确定一个点或两个点的平面坐标，如增设个图根点；这时可以根据已知控制点，采用交会法确定点的平面坐标。



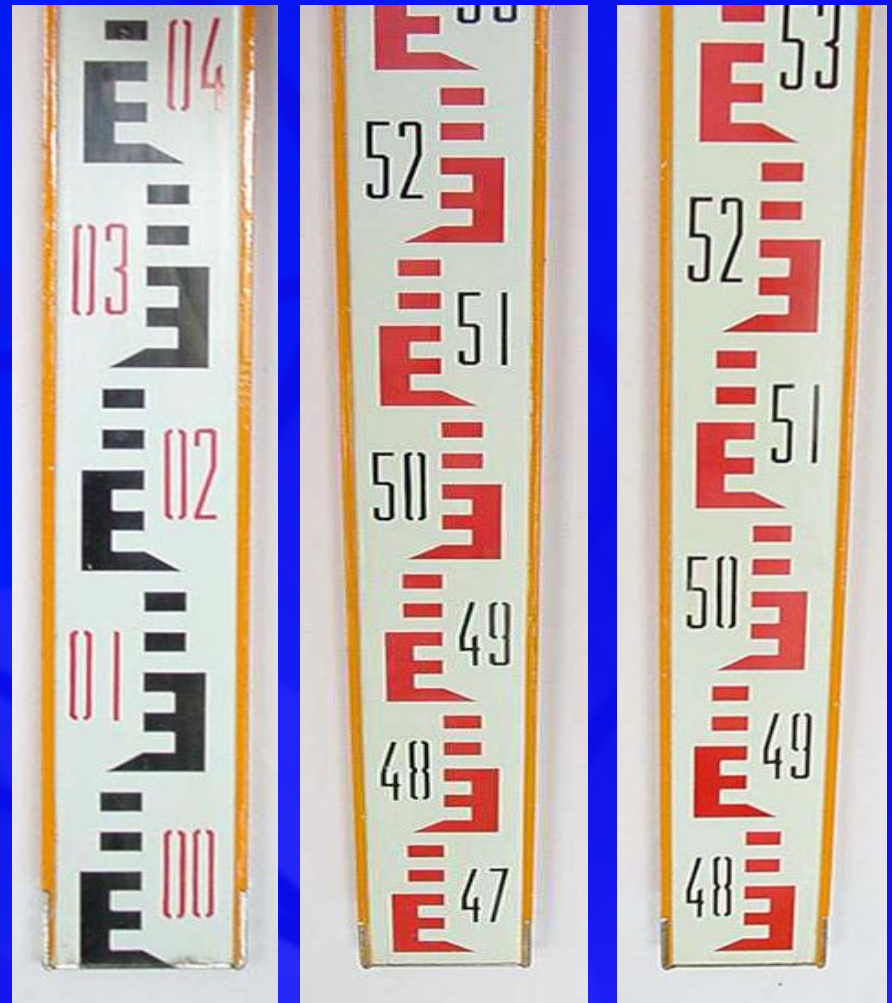
## 5.4 高程控制测量

当所求水准点的精度要求较高时，普通水准测量就达不到精度要求，因此必须采取高等级的水准测量方法。

三、四等水准测量，除用于国家高程控制网的加密外，还常用作小地区的首级高程控制，以及工程建设地区内工程测量和变形观测的基本控制。

## 5.4.1 三、四等水准测量

- 一、仪器:DS<sub>3</sub>水准仪
- 二、工具:双面水准尺



### 三、四等水准测量一站观测顺序

- ① 后视水准尺**黑**面:用上、下视距丝读数, 用中丝读数
- ② 前视水准尺**黑**面:用上、下视距丝读数, 用中丝读数
- ③ 前视水准尺**红**面:用中丝读数
- ④ 后视水准尺**红**面:用中丝读数

四等水准测量可采用后、后、前、前的观测顺序

# 水准测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪型号	水准尺	观测次数		往返较差、附和或环线闭合差	
					与已知点联测	附和或环线	平地 (mm)	山地 (mm)
二等	2	—	DS <sub>1</sub>	因瓦	往返各一次	往返各一次	$4\sqrt{L}$	—
三等	6	≤50	DS <sub>1</sub>	因瓦	往返各一次	往一次	$12\sqrt{L}$	$4\sqrt{n}$
			DS <sub>3</sub>	双面		往返各一次		
四等	10	≤16	DS <sub>3</sub>	双面	往返各一次	往一次	$20\sqrt{L}$	$6\sqrt{n}$
五等	15	—	DS <sub>3</sub>	单面	往返各一次	往一次	$30\sqrt{L}$	—
图根	20	≤5	DS <sub>3</sub>	单面	往返各一次	往一次	$40\sqrt{L}$	$12\sqrt{n}$

等级	水准仪型号	视线长度(m)	前后视较差(m)	前后视累积差(m)	视线离地面最低高度(m)	基、辅分划或黑、红面读数较差(mm)	基、辅分划或黑、红面所测高差较差(mm)
二等	DS <sub>1</sub>	50	1	3	0.5	0.5	0.7
三等	DS <sub>1</sub>	100	3	6	0.3	1.0	1.5
	DS <sub>3</sub>	75				2.0	3.0
四等	DS <sub>3</sub>	100	5	10	0.2	3.0	5.0
五等	DS <sub>3</sub>	100	近似相等	—	—	—	—
图根	DS <sub>3</sub>	100	近似相等	—	—	—	—

# 水准测量的记录

测站 编号	点号	后尺	上丝	前尺	上丝	方向	水准尺读数		K+黑 - 红	高差中数	备注
		下丝	下丝	下丝	黑面		红面				
		后距		前距							
		视距差 d		视距累计差 $\Sigma d$							
		(1)		(5)		后	(3)	(14)	(15)		
		(2)		(6)		前	(7)	(12)	(13)		
		(4)		(8)		后-前	(9)	(16)	(17)	(18)	
		(10)		(11)							
1	BMA   TP1	1.571		0.739		后	1.384	6.171	0		
		1.197		0.363		前	0.551	5.239	-1		
		37.4		37.6		后-前	0.833	0.932	+1	0.8325	
		-0.2		-0.2							
2	TP1   TP2	1.965		2.141		后	1.832	6.519	0		
		1.700		1.874		前	2.007	6.793	+1		
		26.5		26.7		后-前	-0.175	-0.274	-1	-0.1745	
		-0.2		-0.4							

# 水准测量的记录练习

将观测数据填在记录表上，并完成一测站所有计算内容

## 第一站

后视黑	上：2.121
	下：1.747
	中：1.934
前视黑	上：2.196
	下：1.821
	中：2.008
前视红	中：6.796
后视红	中：6.621

## 第二站

后视黑	上：1.914
	下：1.539
	中：1.726
前视黑	上：2.055
	下：1.678
	中：1.869
前视红	中：6.554
后视红	中：6.513

**第一站 后尺红面尺底4687，前尺红面尺底4787**

# 测段的计算与检核

测站 编号	点号	后尺	上丝	前尺	上丝	方向	水准尺读数		K +黑- 红	高差中数	备注
		下丝		下丝			黑面	红面			
		后距		前距							
		视距差 d		视距累计差 $\Sigma d$							
		(1)		(5)		后	(3)	(14)	(15)		
		(2)		(6)		前	(7)	(12)	(13)		
		(4)		(8)		后 -前	(9)	(16)	(17)	(18)	
		(10)		(11)							
1	BMA   TP1	1.571		0.739		后	1.384	6.171	0		
		1.197		0.363		前	0.551	5.239	-1		
		37.4		37.6		后 -前	0.833	0.932	+1	0.8325	
		-0.2		-0.2							
2	TP1   TP2	1.965		2.141		后	1.832	6.519	0		
		1.700		1.874		前	2.007	6.793	+1		
		26.5		26.7		后 -前	-0.175	-0.274	-1	-0.1745	
		-0.2		-0.4							

1. 视距部分

$$\text{末站}(11) = \Sigma(4) - \Sigma(8)$$

2. 高差部分  $\Sigma(9) = \Sigma(3) - \Sigma(7)$

$$\Sigma(16) = \Sigma(14) - \Sigma(12)$$

3. 高差中数

偶数时:  $\Sigma h_{\text{中}} = \{ \Sigma(9) + \Sigma(16) \} / 2 = \Sigma(18)$

奇数站:  $\Sigma h_{\text{中}} = [ \Sigma(9) + \Sigma(16) \pm 100 ] / 2 = \Sigma(18)$

## 5.4.2 三角高程测量

三角高程测量是根据已知点高程及两点之间的竖直角和距离，应用三角公式计算两点间的高差，求出未知点的高程。

$$h_{AB} = S \sin \alpha + i - v$$

