

九十六年專門職業及技術人員高等考試工程測量參考題解

一、導線 (Traverse) 為控制測量中常用方法之一，以圖形形狀而言，包含下列五種：閉合導線 (Closed traverse)、附合導線 (Connecting traverse)、展開導線 (Open traverse)、單主站輻射導線 (Radial traverse from one occupied station)、雙主站輻射導線 (Radial traverse from two occupied stations)。請以圖形配合文字分別說明此五種形狀導線。並舉例說明各形狀導線可以做為檢核之多餘觀測數目、計算方式及其誤差傳播性質。(25 分)

• 96 年土木技師試題 •

參考題解

說明此五種形狀導線如下：

(一)閉合導線 (Closed traverse)

如下圖，閉合導線之起點與終點合一，形成一閉合之多邊形。

多餘觀測數目為 3。

其角度閉合差可以多邊形之幾何條件改正之。閉合導線折角閉合差：

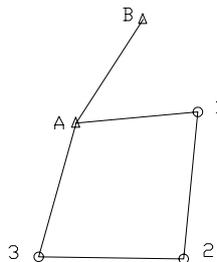
$$\text{外角不符值} : fw = [\beta] - (n+2) \times 180^\circ$$

$$\text{內角不符值} : fw = [\beta] - (n-2) \times 180^\circ$$

$$\text{偏角觀測} : fw = [\beta] - 360^\circ$$

縱距閉合差 $WN = [\Delta N]$ ，橫距閉合差 $WE = [\Delta E]$

誤差傳播性質：靠近已知點之誤差較小，例如圖中點 2 之誤差較大，點 1 及 3 之誤差相對較小。



(二)附合導線 (Connecting traverse)

如下圖，起點終點連接於已知點(三角點或導線點)者稱之。

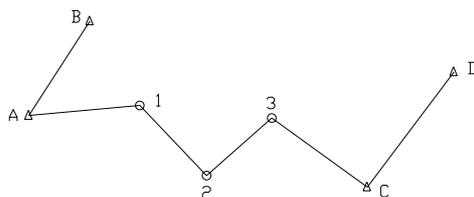
多餘觀測數目為 3。

附合導線具有角度和水平位置之閉合條件。

$$\text{折角閉合差} W = \phi_{AB} + [\beta] - \phi_{CD} \pm 180^\circ \times n$$

$$\text{縱距閉合差} WN = [\Delta N] - (Nc - Na), \text{橫距閉合差} WE = [\Delta E] - (Ec - Ea)$$

誤差傳播性質：靠近已知點之誤差較小，例如圖中點 1 及點 3 之誤差較小，而點 2 之誤差較大。



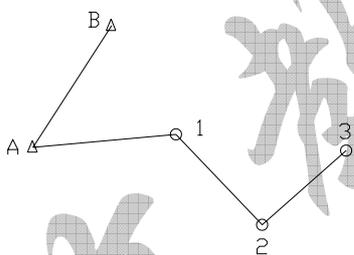
(三)展開導線 (Open traverse)

如下圖，由起始點自由伸展之導線稱為展開導線。

多餘觀測數目為 0。

此等導線無閉合條件，無法得知成果之精度，

誤差傳播性質：靠近已知點之誤差較小，例如圖中點 1 之誤差較小，點 2 之誤差較大，而點 3 之誤差更大。

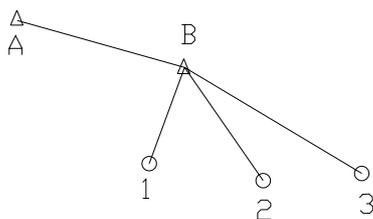


(四)單主站輻射導線 (Radial traverse from one occupied station)

如下圖，A 與 B 為已知點，於 B 點後視觀測 A 點後，依序照準 1、2、3 各點，記錄各水平角及水平距。

多餘觀測數目為 0。無檢核條件。

誤差傳播性質：由觀測值之誤差，依誤差傳播可推得 1、2、3 各點之誤差，且其誤差大小均相同。

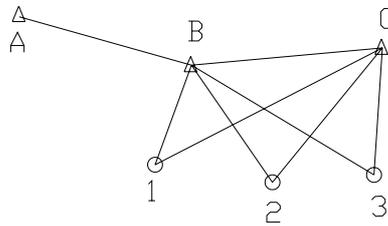


(五)雙主站輻射導線 (Radial traverse from two occupied stations)

如下圖，A、B 與 C 為已知點，於 B 點後視觀測 A 後，依序照準 1、2、3 各點，記錄各水平角及水平距。再於 C 點後視觀測 B 點後，依序照準 1、2、3 各點，記錄各水平角及水平距。

多餘觀測數目為 $2n$ 。n 為新點之點數。例如下圖多餘觀測數目為 6。

誤差傳播性質：由觀測值之誤差，依誤差傳播可分別推得 1、2、3 各點之誤差，且其誤差大小不相同，但較單主站輻射導線之誤差小。



二、目前內政部已於台灣本島、馬祖、澎湖、金門，佈設 e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統。請說明此一系統之作業原理、目前可達之精度、提供服務之方式及其應用。(25 分)

• 96 年土木技師試題 •

參考題解

(一)電子化 GPS (e-GPS) 之作業原理：

RTK 技術是移動站結合基站藉由無線電等方式傳送的載波相位觀測量，以解算週波未定值，並利用參考站與移動站之間觀測量系統誤差的空間高相關性，以差分技術消去大部分之誤差，從而實現公分級的定位精度。RTK 技術在應用中遇到的最大問題就是基站改正資料的有效作用距離。GPS 電離層、對流層等誤差的空間相關性隨基準站和移動站距離的增加而逐漸失去線性，因此在距離較遠時，經過差分處理後的移動站資料仍然含有很大的殘餘誤差，從而導致定位精度的降低和無法正確解算載波相位的整數週波未定值 (Integer Ambiguity)。傳統單一參考站的即時動態定位 (Real Time Kinematic, RTK) 受電離層、對流層等系統誤差影響，作業距離都非常有限，使得移動站只能在參考站數公里範圍內才有可能達到公分級的定位精度。傳統的單主站 RTK 有時是將主站加密，以讓 RTK 作業時能服務全區，但此方式將增加大量建置基準站的成本。

電子化 GPS (e-GPS) 之作業原理，主要是由數十個 GPS 衛星基準站的接收器接收 GPS 衛星訊號，透過網際網路等方式傳輸至控制與計算中心，由控制計算中心以內差模式估算移動站附近之電離層、對流層等誤差，再藉由網路傳送資料至移動站，移動站利用 GPRS/GSM 無線通訊模組藉由網路取得資料，以虛擬參考基站 (Virtual Reference Station, VRS) 利用短基線即時動態定位 (RTK) 方式解算移動站站標。與傳統的單主站 RTK 將主站加密的方式比較，e-GPS 可降低主站布設密度。

(二)目前可達之精度：

目前公佈之精度為平面 2 公分， 高程 5 公分。

(三)提供服務之方式：

虛擬參考基站 (Virtual Reference Station, VRS) 網路 RTK 定位，係利用區域內多個 GPS 衛星基準站全天候連續地接收衛星資料，並經由網際網路或其他通訊設備與控制計算中心連接，控制計算中心彙整所有基準站所接收之資料，即時解算各參考站間之系統誤差影響量，從而建立區域內即時性的系統誤差模式，得到區域內觀測數據的系統誤差影響量，利用此系統誤差模式以內插的方式根據移動站的概略坐標產生虛擬參考基站 (Virtual Reference Station, VRS)，最後此虛擬參考站與移動站進行標準的短基線 RTK 定位得到移動站之坐標。這樣可大大增加 RTK 之可用範圍，同時提昇系統的效率及可靠度。

透過網際網路高速、寬頻之數據傳輸技術，可完成建置全國性電子化 GPS (e-GPS) 衛星定位測量基準網，就其連續定位觀測資料，建構區域性定位誤差內插模式，並配合虛擬基準站 (Virtual Base Station, VBS) 即時動態定位技術，獲得高精度的定位成果。

在網路 RTK 技術中，用多個 GPS 衛星基準站組成的 GPS 網路來估計一個地區的 GPS 誤差模型，並為 GPS 網絡覆蓋地區的 RTK 用戶提供系統誤差即時內插的數據。

內政部土地測量局採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術，建置全國性 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統，透過全國各地所建置數十個衛星定位基準站，接收 GPS 衛星資料，可以在極短的時間內，獲得公分等級的即時動態定位服務。

藉由全國性 e-GPS，在台灣本島、馬祖、澎湖、金門任何地點，只要可以 GPS 衛星接收儀同時接收五顆以上 GPS 衛星訊號，可以全天候經由 GPRS/GSM 或其他無線上網方式，在極短的時間內，接收虛擬基準站之資料，獲得即時動態定位 (RTK) 短基線求解。

(四) e-GPS 之應用

(1)提供多目標定位服務。

(2)地籍測量：

辦理土地複丈等地籍測量作業時，可運用 e-GPS 技術進行精密計算及測量。

(3)精密定位及導航。

(4)工程施工。

(5)結構物安全監測。

(6)工務局、建設局、都發局、環保局等主管之相關工作。

- (7)警政、消防及救災應用方面，可以具有勤務派遣、災區監控與事故管理功能。
- (8)產業界中，如建設公司、營造廠、顧問公司、客（貨）運公司等。營建應用方面的管線規劃、施工管理、樁位測定與放樣。
- (9)軍事國防。
- (10)地殼變動之監測。
- (11)資源探勘等用途。

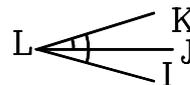
三、方向組法（Direction Method）為水平角測量之一種常用測量方法。請以文字配合圖形說明方向組法之作業方式、各作業項目可以消除之誤差種類與性質。並以三測回、四個方向之方向組法為例，模擬一份觀測記錄表並完成其化算，最小角度讀數為一秒。(25分)

• 96年土木技師試題 •

參考題解

(一)地面上有 I、J、K、L 四個點，欲以經緯儀方向組法一測回觀測，以測得其水平角 $\angle KLJ$ 及 $\angle KLI$ ，其方向組法之作業方式如下：

- (1)於 L 點整置儀器。
- (2)後視 K 點，讀數。
- (3)以上盤動作照準 J 點，讀數。
- (4)以上盤動作照準 I 點，讀數。
- (5)倒鏡，照準 I 點，讀數。
- (6)照準 J 點，讀數。
- (7)照準 K 點，讀數。



各測回須變動度盤起始值，如二測回時，各測回度盤起始讀數： 0° 、 90° ；三測回時，各測回度盤起始讀數： 0° 、 60° 、 120° 。

(二)各作業項目可以消除之誤差種類與性質：

1. 各測回須變動度盤起始值，可消除度盤刻劃不均勻的誤差。
2. 正倒鏡觀測水平角可消除 (1)視準軸誤差 (2)視準軸偏心誤差 (3)水平軸誤差。
3. 可檢查錯誤。

(三)以三測回、四個方向之方向組法為例，模擬之觀測記錄表如下：

測站	測點	鏡位	讀數	正倒鏡平均	改正後平均值
P	A	正	$0^\circ 00' 00''$	$0^\circ 00' 00''$	$0^\circ 00' 00''$
		倒	$180^\circ 00' 00''$		

	B	正	30° 02' 08"	30° 02' 08"	30° 02' 08"
		倒	210° 02' 08"		
	C	正	74° 40' 18"	74° 40' 18"	74° 40' 18"
		倒	254° 40' 18"		
	D	正	150° 21' 08"	150° 21' 08"	150° 21' 08"
		倒	330° 21' 08"		

測站	測點	鏡位	讀數	正倒鏡平均	改正後平均值
P	A	正	60° 13' 20"	60° 13' 20"	0° 00' 00"
		倒	240° 13' 20"		
	B	正	90° 15' 40"	90° 15' 30"	30° 02' 10"
		倒	270° 15' 20"		
	C	正	134° 53' 40"	134° 53' 40"	74° 40' 20"
		倒	314° 53' 40"		
	D	正	210° 34' 20"	210° 34' 30"	150° 21' 10"
		倒	30° 34' 40"		

測站	測點	鏡位	讀數	正倒鏡平均	改正後平均值
P	A	正	120° 00' 00"	120° 00' 00"	0° 00' 00"
		倒	300° 00' 00"		
	B	正	150° 02' 12"	150° 02' 12"	30° 02' 12"
		倒	330° 02' 12"		
	C	正	194° 40' 22"	194° 40' 22"	74° 40' 22"
		倒	14° 40' 22"		
	D	正	270° 21' 12"	270° 21' 12"	150° 21' 12"
		倒	90° 21' 12"		

三測回平均值如下： $\angle APB=30^{\circ} 02' 10''$ ， $\angle BPC=74^{\circ} 40' 20''$ ， $\angle CPD=150^{\circ} 21' 10''$

四、若設地球為一球形，其半徑為 6371 公里，請分別說明此一曲率對水平距離、水平角度、高差之影響。請以圖形、公式、配合文字說明。並計算距離 10 公里、20 公里、面積 100 平方公里、200 平方公里時上述三項影響之數值。(25 分)

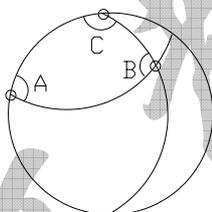
參考題解

大地水準面為一接近橢球體之不規則幾何曲面；在測量作業中，有時亦可將大地水準面近似為球體；而在測區範圍較小及精度要求較低之情形時，則往往以水平面代替水準面。

至於以水平面代替水準面，對於角度測量、距離測量以及高程測量之影響與限制，說明如下：

(1) 水平角度測量

在傳統測量方式，角度係以在地面上之精密經緯儀觀測得到。在小區域之範圍內，橢球體之表面接近平面，因此往往將球面三角形之內角近似為平面三角形之內角。但球面三角形之內角和其實大於相同三點所形成之平面三角形之內角和，二者之較差稱為球面角超。球面角超 $\varepsilon = \frac{A}{R^2} \times 206265''$ 。上式中 A 為三角形之面積，R 表地球之半徑（以 6371 公里）。如下圖中，球面三角形之內角和等於 $180^\circ + \text{球面角超}$ 。



在三角形面積為 200 km^2 時，球面角超僅約為 $1''$ 。至於三角形面積為其他情形時之球面角超摘要列於下表：

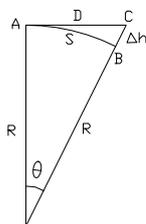
面積 A	100 km^2	170 km^2	200 km^2	400 km^2
球面角超 ε	$0.51''$	$0.86''$	$1.02''$	$2.03''$

由上表中，若角度誤差要求在 $1''$ 內，面積在 170 km^2 或 200 km^2 以內之測區進行角度測量，其實可以不計地球曲率之影響，角度逕以平面角處理即可。

(2) 水平距離測量

圖中 R 表地球半徑（以 6371 公里），S 表 AB 圓弧之弧長， θ 表 AB 圓弧所對之圓心角。自 A 作切線 AC，以 AC 表水平面，D 表水平面上之長度。

$$S = R\theta, \quad D = R \times \tan \theta$$



若以水平面代替水準面，即以 D 代替 S ，則距離誤差 $\Delta S = D - S$ 。在距離 10 km 長，距離誤差僅約為 0.82 cm。

至於其他情形時之距離誤差及相對精度摘要列於下表：

距離 S	10 km	20 km	50 km
距離誤差 ΔS	0.82 cm	6.6 cm	1.03 m
相對精度 $\frac{\Delta S}{S}$	$\frac{1}{1,220,000}$	$\frac{1}{304,000}$	$\frac{1}{48,700}$

由上表中，若量距精度要求在 $\frac{1}{304,000}$ 以下時，距離 20 km 內之測量作業，將水準面視為水平面所產生之距離誤差可忽略不計。

(3) 高程測量

如上圖中，地球曲率對於高程之誤差影響為 $\Delta h = \frac{D^2}{2R}$ 。上式中 D 為兩點間之距離， R 表地球之半徑（以 6370 公里）。在距離 100 m 長，高程誤差約為 0.78 mm。至於其他情形時之高程誤差摘要列於下表：

距離 D	100 m	200 m	350 m	500 m	10 km	20 km
高程誤差 Δh	0.78 mm	3.1 mm	9.6 mm	20 mm	7.848 m	31.392 m

由上表中，在短距離仍須考慮地球曲率對於高程之影響。

以上分別針對角度、距離及高程測量作業，探討將水平面代替水準面之影響及限制。由前述可知，在 20 公里三角形邊長所圍成範圍內（面積約 170 平方公里）之測量作業，可視為平面測量，不考慮地球曲率之影響，點與點之距離視為直線距離，角度以平面角計算，如此可簡化量測方式及計算；但對於高程測量，仍須顧及地球之曲率。至於所測地區較廣大（超過 170 平方公里），測量作業則須顧及地球曲率等因素。

實力學員請於 96/12/15(六) 13:00 免費回班參加

“96 年專技高考”之考題剖析講座