

精進「導線測量」誤差判斷技術之研究

作者：耿國慶

提要

- 一、「導線測量」與「交會法距離測量」，長久以來基於其重要性與實用性，併列為「砲兵基本測量」。即使在「定位定向系統」為主、「傳統測量」為輔的作業型態，惟為建立測量專業知識，配合「系統」作業與替代「系統」故障時之作業任務等考量，仍無法偏廢。就美軍砲兵測地準則觀察，其相關內容非但未曾刪減，且增加導線測量「誤差判斷」技術，值得國軍重視與省思。
- 二、「導線測量」常因器材條件、自然環境與人為疏失等因素，難免產生微小的「誤差」或超過許可誤差的「錯誤」，當教官、測量官（排長）經由「誤差判斷」程序適切修正後，除可確保測地時效外，亦能發現人為疏失，作為爾後施訓參考。
- 三、「誤差判斷」須先確定誤差類型，始可分析誤差來源，再透過相關技術分離誤差，達到修正成果之目的。通常導線誤差區分為距離、角度與複合、標高等類型，可使用「平行線法」、「徑誤差方位角計算法」分離角度誤差或使用「垂直平分線法」、「密位公式」分離距離誤差。各種分離技術均經過實際驗證，證實成效顯著。
- 四、砲兵測地通常以「器材」為導向，當「定位定向系統」納編後，「導線測量」等相關技術易因重要性減低而逐漸式微。惟基於專業知識、互補與替代性等考量，仍須參考民間測量學術與先進國家準則發展，將「誤差判斷」技術持續精進至科學化與標準化，俾能增進測地任務達成之能力。

關鍵詞：導線測量、誤差判斷、平行線法、徑誤差方位角計算法、垂直平分線法、密位公式、分離誤差

壹、前言

「導線測量」與「交會法距離測量」，長久以來基於其重要性與實用性，併列為「砲兵基本測量」。即使在「定位定向系統」為主的作業型態，惟為建立測量基本觀念，配合「定位定向系統」作業與替代「定位定向系統」故障時之作業任務等考量，仍無法偏廢。美軍將「定位定向系統」、「全球定位系統」（GPS）定義為「自動化」測量，其他方式則稱之為「傳統測量」

(Conventional survey)。¹就其「砲兵測地」相關準則觀察，內容非但未曾刪減且增加導線測量「誤差判斷」技術，值得國軍重視與省思。

「導線測量」通常由於器材條件、自然環境與人為疏失等因素，難免產生微小的「誤差」或超過許可誤差的「錯誤」，當教官、測量官（排長）經由「誤差判斷」程序適切修正後，除可確保時效，亦能發現人為疏失，作為爾後加強訓練參考。如欠缺「誤差判斷」能力時，則須重行現地作業，浪費測地資源。基此，測地人員務須具備導線測量誤差判斷能力，俾盡早修正測地成果，達成測地任務。

貳、導線「誤差判斷」程序

通常適切可行的「測地計畫」，已指導測地人員在現地作業與成果整理階段之檢查要領。惟一般性檢查並無法消除誤差，且誤差常於現地作業與計算過程中造成，直至成果整理完成後始可發現（導線測量作業程序示意，如圖一）。如誤差成因單純，經由「誤差判斷」程序即可修正；當誤差成因複雜時，則須重行現地作業致喪失時效。基此，測地人員務須具備「誤差判斷」之能力，俾盡早修正測地成果，避免浪費測地資源。²

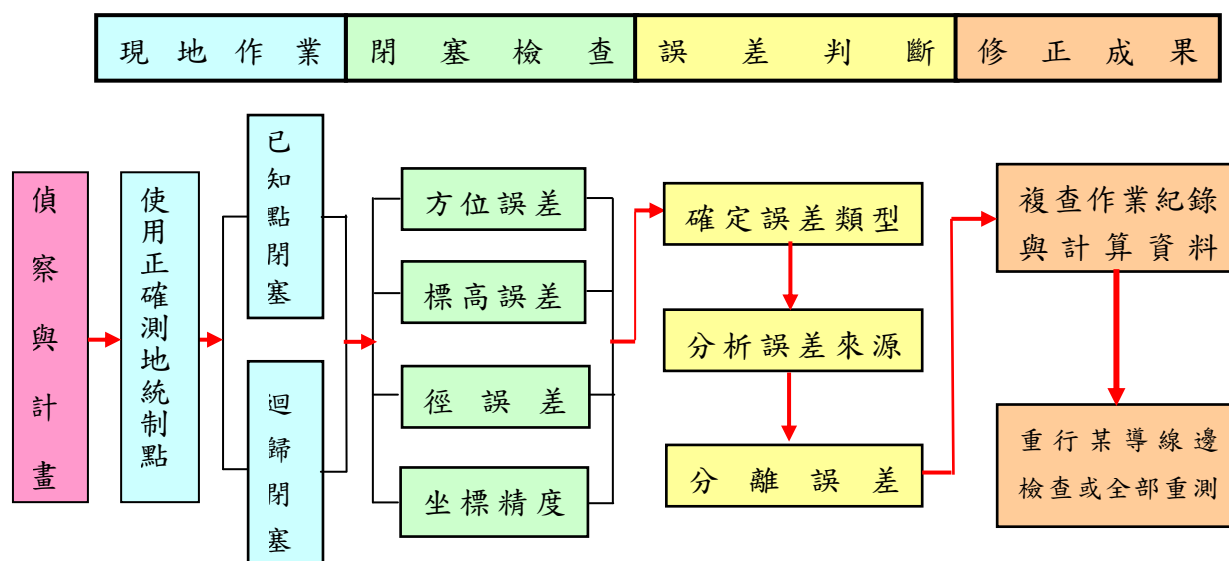
「閉塞導線」（Closed Traverse）之「誤差判斷」程序，係先行確定誤差類型、分析誤差來源，再分離出可疑測站（方位、水平角或高低、天頂角）或導線邊（距離）。作業時須假定目前僅有一種誤差存在，其閉塞誤差必須大到足夠分析來源，且誤差並非在控制之中。再藉由「誤差判斷」指出可疑測站或導線邊，甚至包含複合誤差在內。導線「誤差判斷」程序分述如下：

- 一、導線閉塞後，先決定方位誤差、標高誤差、徑誤差與坐標精度等誤差判斷相關資料。
- 二、確定誤差所顯示之類型，並分析誤差來源。
- 三、分離可疑測站或導線邊之誤差。
- 四、複查現地作業紀錄與計算資料誤差，並適切修正成果。
- 五、當記錄資料與計算均未發現誤差時，須返回現地重行必要之導線邊（測站）檢查或全部重測。

¹ Tactics, Techniques, and Procedures for FIELD ARTILLERY SURVEY (FM6-2), (Washington, DC : Headquarters Department of the Army, 1993), p1-6.

² "Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft)", (United States Marine Corps, 2000), p10-19。

圖一 導線測量作業程序示意



資料來源：作者自製

參、導線誤差類型

導線測量區分為「非閉塞導線」(Open Traverse)、「閉塞導線」(Closed Traverse)與「角導線」(Directional Traverse)等 3 種形式，其中「閉塞導線」又區分為「已知點閉塞」(Close on second station)、「迴歸閉塞」(Close on starting station)等 2 種，均可提供閉塞檢查與計算精度，俾確保符合相關之作業規範（如表一）。

測地作業因器材條件、自然環境與人為疏失等因素，難免產生微小的「誤差」(Error)或超過許可誤差的「錯誤」(Mistake)。³誤差類型判定「良好」或「失敗」，係依據表一「砲兵導線測量規範」中相關座標、標高、方位閉塞精度要求，如符合規範即為「良好」，反之則為「失敗」。通常導線測量閉塞檢查時發生之方位、坐標誤差狀況（如表二），可歸納為下列 4 種類型：

（一）方位良好，坐標良好：如方位與坐標均閉塞，為良好導線，其標高通常亦能閉塞。

（二）方位良好，坐標失敗：當水平角測量不佳時，將導致方位失敗。因此不論迴歸閉塞或已知點閉塞導線，如方位接近精度規範，坐標則否，即顯示其為距離誤差。

（三）方位失敗，坐標良好：1. 迴歸閉塞導線：如起始或閉塞水平角之外，仍存在其他方位或距離誤差，坐標將無法閉塞。因此導線迴歸閉塞時，如方位失敗、坐標良好，誤差應出現在起始或閉塞水平角。2. 已知點閉塞：如水

³尹鍾奇著，《實用平面測量學》（臺北：國彰出版社，民國 68 年 9 月五版），頁 7。

平角或距離誤差出現在其他位置，將導致閉塞導線坐標錯誤。因此如方位失敗、坐標良好時，誤差必定出現在閉塞水平角。

(四) 方位失敗，坐標失敗：1. 迴歸閉塞：如方位、坐標皆失敗，誤差水平角必定出現在起始或閉塞角以外的測站。惟當方位良好時，將明確顯示出自距離誤差。2. 已知點閉塞：如方位、座標皆失敗，誤差並非出自閉塞水平角，而是在起始點或某一測站。因閉塞水平角誤差並不影響坐標精度，故坐標仍可閉塞。

表一 砲兵導線測量規範表

規範 等級區分		軍 團 砲 兵 (1/3,000)	砲 兵 營 (1/1,000)	砲 兵 連 (1/500)
必要條件				
導線修正		需要	不需要	不需要
座 標 閉 塞	導線全長<9 公里	1/3,000	1/1,000	1/500
	導線全長>9 公里	$\sqrt{K}$	1/1,000	1/500
標 高	導線全長<4 公里	$\sqrt{K}$	±2 公尺	±2 公尺
	導線全長>4 公里	$\sqrt{K}$	$1.2 \times \sqrt{K}$	$1.2 \times \sqrt{K}$
方 位 (與天體觀測、陀 螺儀或預設方位角 比較時)	≤6 個測站	±5 秒×N	±5 秒×N	±1 密位
	≥7 個測站	±5 秒 × $\sqrt{N}$	±5 秒×N	±1 密位×N
方位角位數		1 秒	0.5 密位	1 密位
實施方位檢查測站數		25	20	20
水平角	測量方式	一對回	一對回	累積測角
	紀錄至	1 秒	1 秒	0.5 密位
高低、 天頂角	測量方式	正、倒鏡	正、倒鏡	
	紀錄(計算)至	1 秒	1 秒	1 密位
距 離	捲尺(比較精度)	1/5,000	單次(1/3,000)	單次(須配合步 測檢查)
	測距儀	看讀至 0.001 公尺	看讀至 0.001 公尺	
座標計算至		0.01 公尺	0.01 公尺	0.01 公尺
標高計算至		0.01 公尺	0.01 公尺	0.01 公尺
附 記	K 為距離千除數。 N 為測站數。			

資料來源：作者自製

表二 導線誤差類型與誤差判斷對照

導 線 誤 差 類 型			誤 差 判 斷	
區分	方 位	坐 標	迴 歸 閉 塞 時	已 知 點 閉 塞 時
1	良好	良好	良好導線	良好導線
2	良好	失敗	距離誤差	距離誤差
3	失敗	良好	起始或閉塞水平角	閉塞水平角
4	失敗	失敗	角度誤差	起始或各測站水平角

資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft) (Washing DC: United States Marine Corps, 2000), p10-20.

肆、分離誤差

導線測量經過確定誤差類型後，始可分析誤差來源，再透過相關技術分離誤差，達到修正成果之目的。導線誤差類型經誤差判斷後，通常區分為距離、角度與複合、標高等不同類型的誤差，各類型誤差相關之分離技術（如表三）分述如後。

表三 分離誤差可用方法、使用時機與限制

目的	方法	適用時機	限制
距離誤差分離	平行線法	一、方位正確，惟坐標失敗。 二、徑誤差方位與距離誤差導線方位相同時。	出現一個以上的可疑邊時，須再用徑誤差方位角計算法確定。
	徑誤差方位角計算法		誤差不明顯時無法使用。
角度誤差分離	垂直線平法	方位失敗且超過容許徑誤差。	徑誤差太小時無法使用。
	密位公式	一、已知點閉塞。 二、直線路徑。 三、出現一個以上的可疑測站。	導線非概略直線或距離過短時，無法使用。

資料來源：作者自製

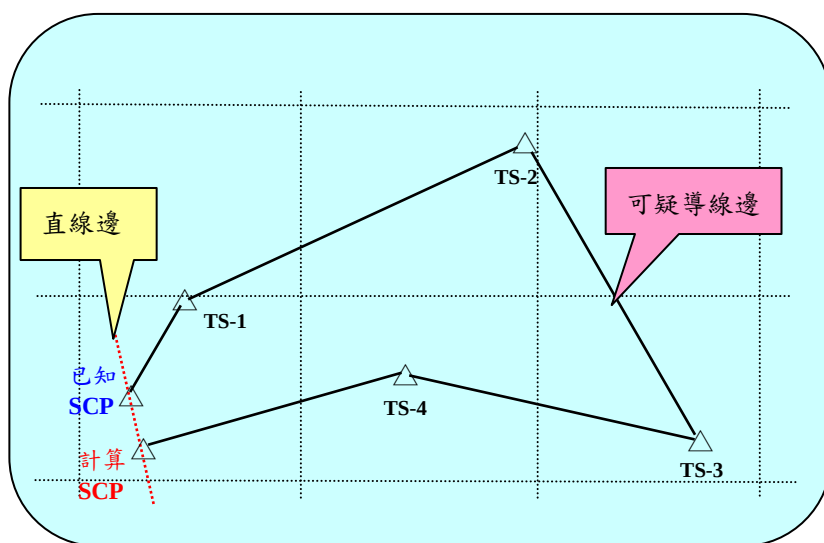
一、距離誤差分離

當導線閉塞之方位誤差小於「容許」範圍，惟坐標閉塞差（徑誤差）超過精度規範時，顯示存在「距離誤差」。不論導線距離誤差無論長或短，如閉塞差（徑誤差）方位與距離誤差之導線方位相同時，即可使用「平行線法」（Parallel line method）與「徑誤差方位角計算法」（Computation of Azimuth

of Radial Error) 分離距離誤差。⁴

(一) 平行線法：測量人員藉由一條與誤差方位相同或平行之線，確定包含距離誤差之導線。作業步驟如下：1. 圖解導線於 1/25,000 方格紙上（比例尺越大更能顯示較小之誤差框），並標示導線各測站，包括已知與計算所得 SCP。2. 在已知與計算所得 SCP 間劃一直線邊，必要時此線可超過標繪點（如圖二），包含誤差之可疑邊，其方向約與直線邊成平行線。圖二所顯示 TS-2 至 TS-3 測站間之導線邊，即包含「距離誤差」。

圖二 平行線法示意



資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-20.

(二) 徑誤差方位角計算法：1. 計算已知至計算所得 SCP 座標之「徑誤差」(Radial Error, RE) 方位角。2. 在導線之圖形或表格上，找尋一個與「徑誤差」概略成反方位角之導線邊（方位概略相差 3200 密位），且不考慮誤差距離是否相似，即為可疑之導線邊。⁵

(三) 誤差分析：「誤差分析」須同時考慮誤差大小與其影響層面，方可確認誤差之導線邊。就角度與距離測量而言，較小之「誤差」(error) 對導線整體精度影響甚微，亦與大到足夠產生「錯誤」(mistake) 之分析方式不同。當某個導線邊之方位幾乎平行於徑誤差時，即顯示其包含誤差。每一個被列入的可疑邊均須檢查紀錄資料與計算過程。如誤差並非出自紀錄或計算時，則須

⁴ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-20.

⁵ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-20.

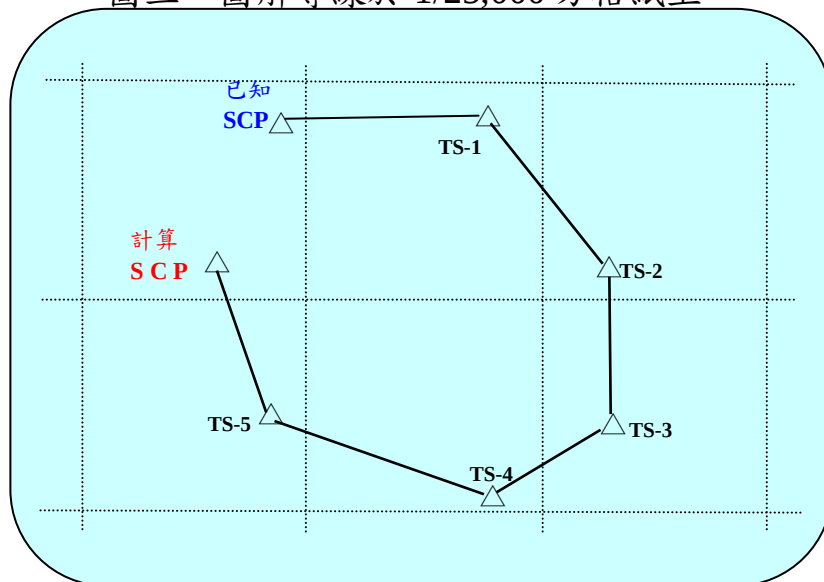
進一步對每一個可疑邊實施重測，直至找到包含誤差的導線邊為止。

二、角度誤差分離

「角度誤差」表示導線閉塞方位超過「容許誤差」範圍。就方向盤而言，每站（次）測角誤差須小於 ± 1 密位；測距經緯儀則為每站（次）測角誤差須小於 ± 5 秒。當導線成果判斷為角度誤差，且超過「容許徑誤差」（Alloeable RE）時，即可使用「垂直平分線法」（Perpendicular bisector method）與「密位公式」（Mil relation formula，WoRM rule）分離角度誤差。⁶

（一）垂直平分線法：「垂直平分線法」係將徑誤差之垂直平分線延伸至測量區域，其通過或最接近之測站，即為包含角度誤差之測站。作業步驟如下：1. 圖解導線於 1/25,000 方格紙上（比例尺越大更能顯示較小之誤差），⁷須包含已知與計算所得之 SCP（如圖三）。2. 以直線標繪已知與計算所得 SCP，此線可由標繪點向前或向後延伸，並定出此線之中央點。如徑誤差夠大，則可測量其距離，以確定中央位置。3. 使用「半圓儀」（protractor）、扇形尺等量角器，標繪徑誤差之垂直線，並延伸至測量區域。4. 垂直平分線所通過或接近之測站（TS-3），即為包含角度誤差之測站（如圖四）。

圖三 圖解導線於 1/25,000 方格紙上

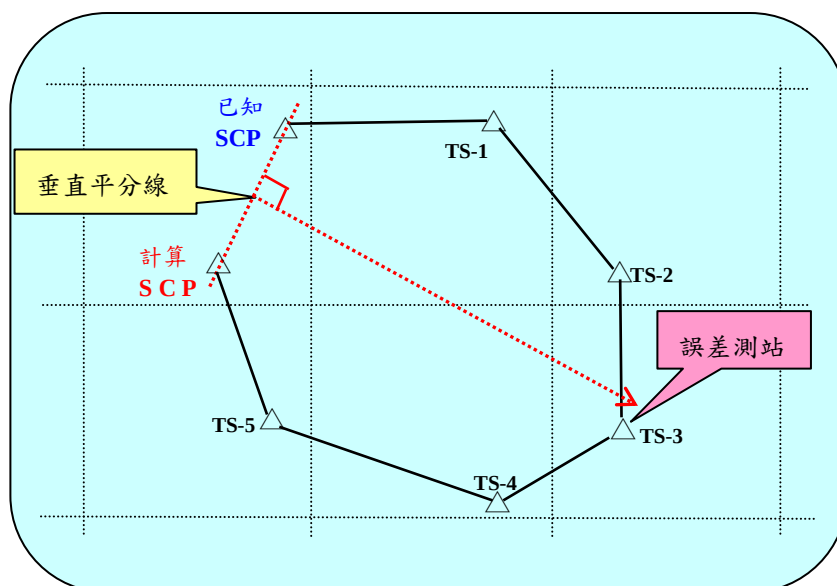


資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-21。

⁶ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-21。

⁷ 施永富，《測量學》（臺北：三民書局，2012 年 9 月修訂三版一刷），頁 295-296。

圖四 標繪垂直平分線確認 TS-3 測站包含誤差



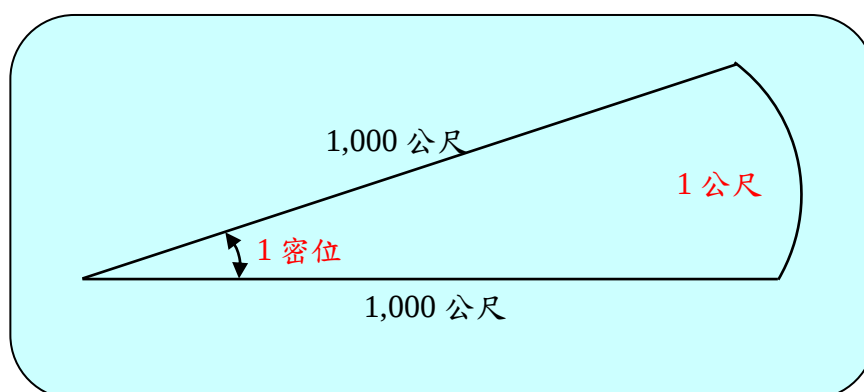
資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-21。

(二) 密位公式：當導線行已知點閉塞或成直線路徑，且出現一個以上之可疑測站時，即無法使用「垂直平分線法」確認誤差測站，須改採「密位公式」判斷誤差測站。⁸

1. 密位公式說明：通常角度 1 密位在 1,000 公尺距離外之另一端，將造成 1 公尺之移動（如圖五）。密位公式係利用角度與距離之關係，藉由徑誤差對應之距離，確定某一包含角度誤差之測站。包含角度誤差之測站其距離計算以公里（千公尺）為單位，以「徑誤差」除「方位誤差」得之。

公式： $R=W/m$ R =公里距離 W =閉塞徑誤差 m =方位誤差

圖五 密位公式示意



資料來源：Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-22。

⁸ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-22。

2. 計算範例：某一測量班沿著道路成直線路徑實施已知點閉塞導線測量，其方位誤差 10 密位、坐標閉塞徑誤差 26.32 公尺，測量班長已判斷導線失敗為角度誤差，並使用「垂直平分線法」分析出三個包含誤差之可疑測站。如何利用「密位公式」，計算最可疑測站之距離（R）？解： $R = \text{閉塞徑誤差} / \text{方位誤差} = 26.32 \text{ 公尺} / 10 \text{ 密位} = 2.632 \text{ 公里}$ （即 2,632 公尺）。

三、複合誤差分離

「複合誤差」係指方位與距離兩者皆發生誤差，或超過一個方位或距離誤差。當導線出現複合誤差時，將同時顯示方位誤差，應依程序先判斷方位（角度）誤差，並確認存在此誤差之可疑測站。如經複查作業記錄與計算資料後，仍未發現誤差所在，此時應對全部導線重行測量。⁹

四、標高誤差分離

「標高誤差」源自高低（天頂）角誤差。當導線標高誤差超過容許誤差規範時，可利用計算與地圖定點比對標高之方式分離可疑測站。¹⁰

（一）「迴歸閉塞導線」：高低（天頂）角正、負值相等，當正、負值差異甚大時，標高誤差極為明顯。

（二）「已知點閉塞導線」、「非閉塞導線」：某些測站計算所得標高經比對地圖等高線後差異甚大，顯示某一前測站出現高低角誤差，可經由檢查現地作業紀錄與計算過程找到誤差測站。如誤差並非出自現地作業記錄或計算時，則須返回現地重行高低（天頂）角測量。

伍、運用實例

導線測量之「誤差判斷」程序，包括確定「導線誤差類型」與「分離誤差」相關技術，皆已納入美軍 2000 年「陸戰隊砲兵測地」（MCWP3-1.6.15）中。作者為能突破理論框架，研究各種「分離誤差」法之正確作法與實際成效，甚至刻意運用錯誤方式觀察影響之結果。曾多次利用「砲兵基本測量」課程學員、生錯誤作業實際驗證，特將其中較具體且典型之運用實例分述如下。

一、標高誤差分離

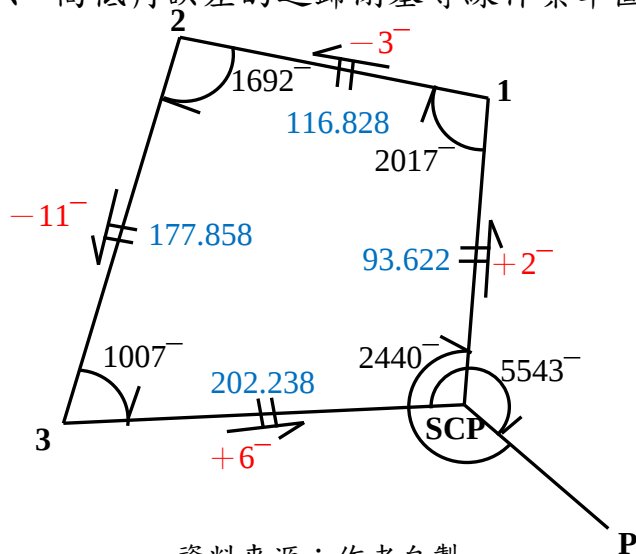
某次迴歸閉塞導線練習，成果檢查時發現方位與坐標精度良好，惟標高誤差過大（作業草圖，如圖六）。誤差判斷、分離標高誤差，提供爾後作業改進

⁹ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-22。

¹⁰ Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft), (Washington DC: United States Marine Corps, 2000), p10-22。

參考之要領分述如下：

圖六 高低角誤差的迴歸閉塞導線作業草圖



資料來源：作者自製

(一) 確定誤差類型，分析誤差來源（如表四）

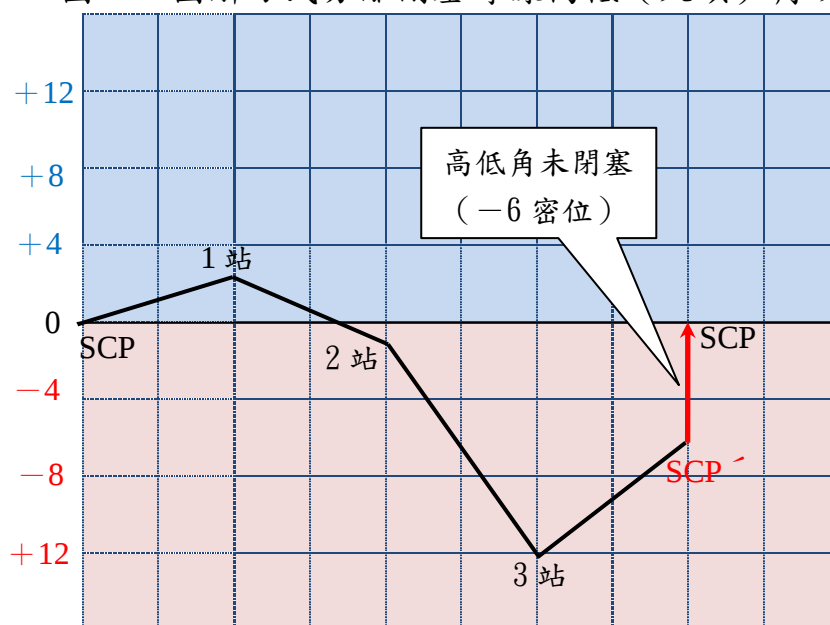
表四 高低角誤差的迴歸閉塞導線作業誤差判斷

區 分		誤 差 狀 況		誤差判斷（迴歸閉塞）		結 論	
方 位		方位總閉塞差 +1 密位		良好		高低（天頂）角誤差	
坐 標		坐標精度 1/2,500		良好			
標 高		標高誤差 +1.02 公尺		失敗			
				失敗			
高 低（天 頂）角誤差 來 源 分 析		一、M2 方向盤高低管形水準氣泡與測距經緯儀水準氣泡、電子氣泡可能偏差？ 二、M2 方向盤是否曾實施「已知高低角法」校正？ 三、整置器材時，是否踩緊腳架尖部？ 四、作業中器材高與覘標高兩者是否一致？					

資料來源：作者自製

(二) 迴歸閉塞導線高低(天頂)角誤差分離圖解(如圖七)

圖七 圖解方式分離閉塞導線高低(天頂)角誤差



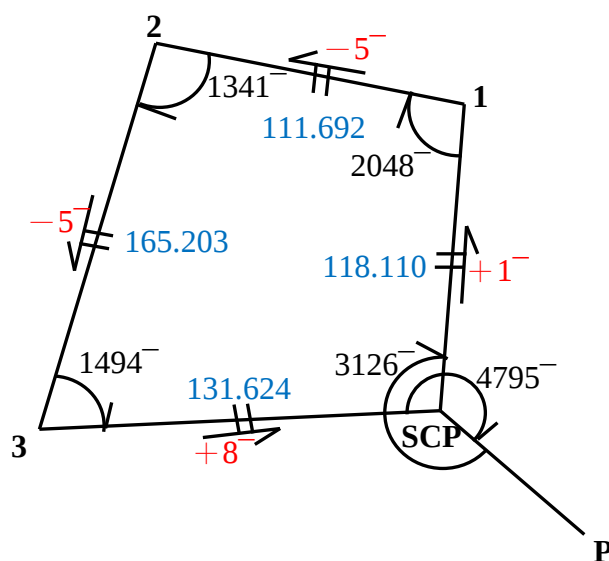
資料來源：作者自製

(三) 依據高低(天頂)角誤差來源分析(參考表四)，重行高低(天頂)角測量與修正成果。

二、距離誤差分離

某次迴歸閉塞導線練習，成果檢查時發現方位與標高精度良好，惟坐標誤差過大(作業草圖如圖八，成果如表五)。實施誤差判斷、分離距離誤差，改進坐標精度之運用實例，分述如下。

圖八 坐標失敗的迴歸閉塞導線作業草圖



資料來源：作者自製

表五 坐標失敗的迴歸閉塞導線計算結果

SCP 已知	16930.00 48970.00 20.00	1 站	17047.21 48955.43 20.12	2 站	17106.87 49049.85 19.57	3 站	16949.50 49100.13 18.76	SCP 計算	16922.69 48971.26 19.79
方位總閉塞差： 5000''-5004'' =-4 密位 (合格) ※< 方向盤每站 (次)容許誤差±1 密位(±1''×5 次=± 5'')。			坐標差： 16930.00-16922.69=+7.31 48970.00-48971.26=-1.26 徑誤差： $\sqrt{(7.31)^2+(1.26)^2}=7.42$ 總長：118.110+111.692+165.203+ 138.624=526.629 公尺 精 度： $1/526.629 \div 7.42 = 1/70.97 \div 0$ (不合格) ※方向盤精度要求為 1/500。				標高誤差： 20.00-19.79 =-0.21 公尺 (合格) ※標高容許誤差 為±2 公尺。		

資料來源：作者自製

(一) 確定誤差類型，分析誤差來源：坐標精度之決定條件為方位角、距離，基於「方位總閉塞差」合格，導致坐標精度不合格之原因判定為捲尺測量的「距離錯誤」（如表六），且距離錯誤大小可由坐標差得之。本次作業 X 軸坐標差為 +7.31 公尺，Y 軸坐標差則為 -1.26 公尺，因 X 軸誤差較大，可將其視為概略「距離誤差值」，且初步研判可疑（距離錯誤）導線邊在東西向。

表六 坐標失敗的迴歸閉塞導線誤差判斷

區 分	誤 差 狀 況		誤差判斷（迴歸閉塞）	結 論
方 位	方位總閉塞差 －4 密位	良好	良好導線	距離錯誤
坐 標	坐標精度 0（無精度）	失敗	方位（水平）角正確	
			距離措誤	
標 高	標高誤差 －0.21 公尺	良好	距離措誤	
			高低（天頂）角正確	
距 離 誤 差 來 源 分 析	一、捲尺測量距離分劃看讀不正確？ 二、捲尺未實施兩次測量，並利用「比較精度」驗證距離？ 三、前、後捲尺手不正確交換測針？ 四、捲尺曾因斷裂修理，距離發生較大誤差？			

資料來源：作者自製

(二) 利用「平行線法」分離距離誤差與判斷可疑導線邊：1. 使用適當比例尺方格紙，依據坐標將 SCP（已知）、1 站、2 站、3 站、SCP'（計算所得）之各點定於方格紙上（如圖九）。2. 將 SCP（已知）與 SCP'（計算所得）兩點劃上紅色連線。3. 比對紅色連線與閉塞導線邊平行者，即為可疑（距離錯誤）導線。就本例而言，可疑導線邊為東西向的 SCP-1 與 2-3 兩條。

(三) 利用「徑誤差方位角計算法」確定最可疑導線邊：「平行線法」

2. 在導線坐標計算表（或圖解方格紙）中，找到與徑誤差方位角概略成「反方位角」1774 密位（ $4974^- - 3200^-$ ）最接近的 SCP-1（1725 密位），即為最可疑的導線邊（如表七，圖九）。

47

表七 錯誤迴歸閉塞導線使用「徑誤差方位角計算法」檢查結果

SCP 已知	16930.00	1 站	17047.21	2 站	17106.87	3 站	16949.50	SCP' 計算	16922.69
	48970.00		48955.43		49049.85		49100.13		48971.26
	20.00		20.12		19.57		18.76		19.79
	↗5000		↗1725		↗572		↗5113		↗3406
徑誤差 方位角	4974 密位（反方位角 1774 密位）								
徑 誤 差 方 位 角 計 算 法 檢 查 要 領		已知（SCP）坐標：16930.00－ 48970.00 計算所得（SCP'）坐標：16922.69－ 48971.26 徑誤差方位角（SCP－SCP'）＝4973.86÷4974 密位 概略反方位角之導線邊： <u>SCP-1</u> （4974－3200＝1774；核對 各測站方位角，以 <u>SCP-1</u> 的 1725 最接近）							

資料來源：作者自製

(四) 修正誤差，重行成果計算：經過前述誤差分離與判斷可疑導線邊程序後，確定出現錯誤之最可疑導線邊為 SCP-1。為確定檢查結果正確，將 SCP-1 原距離 (118.110 公尺) 加 7.31 公尺 (X 軸坐標差)，改用 125.420 公尺重行成果計算 (如表八)，其坐標精度已由原本 0 (無精度)，大幅提升為 1/1,400，顯見誤差判斷程序正確。

表八 迴歸閉塞修正 2-3 導線邊距離後計算結果

SCP 已知	16930.00	1 站	17054.46	2 站	17114.12	3 站	16956.76	SCP 計算	16929.94
	48970.00		48954.53		49048.95		49099.23		48970.36
	20.00		20.12		19.57		18.76		19.80
方位總閉塞差： 5000 ⁻ - 5004 ⁻ = -4 密位 (未修正) ※ < 方向盤每站 (次) 容許誤差±1 密位 (±1 ⁻ ×5 次=± 5 ⁻)。			坐標差： 16930.00 - 16929.94 = +0.06 48970.00 - 48970.36 = -0.36 徑誤差：√ (0.06) ² + (0.36) ² = 0.36 總 長：125.420 + 111.692 + 165.203 + 131.624 = 533.939 公尺 精 度：1/533.939 ÷ 0.36 = 1/1483 ≐ 1/1,400 評 定：合格 (修正正確) ※方向盤精度要求為 1/500。				標高誤差： 20.00-19.80 = -0.20 公尺 評定： 精度提升 (較修正前誤差 減少 0.01 公尺) ※標高容許誤差 為±2 公尺。		

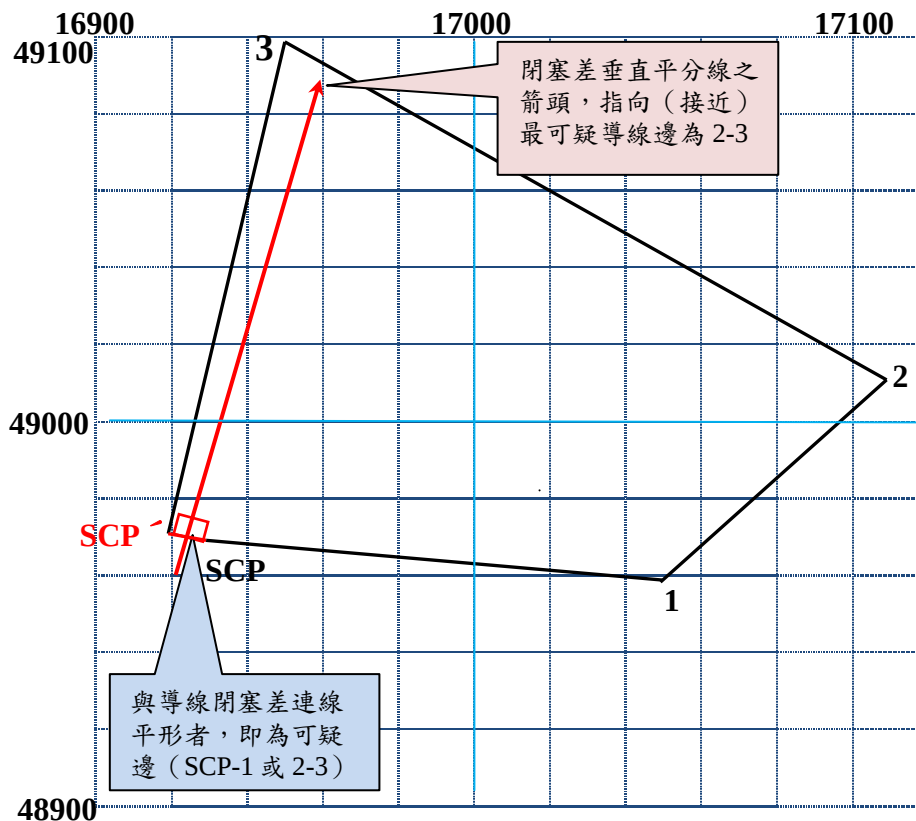
資料來源：作者自製

(五) 測試「垂直平分線法」運用於距離誤差分離之可行性：距離誤差分離僅可使用「平行線法」與「徑誤差方位角計算法」，為何「垂直平分線法」不適用？為消除學者疑惑與避免誤用，特利用本實例證明。

1. 利用 SCP-1 確定最可疑導線邊：本例 (圖九) 已利用「平行線法」分離距離誤差與判斷可疑導線邊為東西向的 SCP-1 與 2-3 兩條，特基於實驗需要放棄「徑誤差方位角計算法」，採用不適合的「垂直平分線法」來確定最可疑

導線邊，俾確定不適用的原因與嚴重後果。首先使用適當比例尺方格紙，依據坐標將 SCP（已知）、1 站、2 站、3 站、SCP'（計算所得）之各點定於方格紙上，將 SCP 與 SCP' 劃上紅色連線，並在連線中央劃一條垂直平分線（如圖十），其箭頭通過或接近 2-3。

圖十 使用「垂直平分線法」判斷最可疑導線邊為 2-3



資料來源：作者自製

2. 修正錯誤，重行計算：將「垂直平分線法」所得之最可疑 2-3 導線邊修正（X 軸減 7.31 公尺）後，重行計算成果。坐標精度雖已明顯提升為 1/500（如表九），惟不如 SCP-1 修正後之精度 1/1,400（表八），顯見「垂直平分線法」不適用於分離距離誤差，且將嚴重誤導結果。

表九 2-3 導線邊距離修正後之計算結果

SCP 已知	16930.00 48970.00 20.00	1 站	17047.21 48955.43 20.12	2 站	17106.87 49049.85 19.57	3 站	16956.47 49097.90 18.79	SCP 計算	16929.65 48969.04 19.83
方位總閉塞差： 5000″-5004″ =-4 密位 (未修正) ※ < 方向盤每站 (次) 容許誤差±1			坐標差： 16930.00-16929.65=+0.35 48970.00-48969.04=+0.94 徑誤差： $\sqrt{(0.35)^2+(0.96)^2}=1.02$ 總 長：118.110+111.692+157.893+ 138.624=519.319 公尺				標高誤差： 20.00-19.83 =-0.17 公尺 評定： 精度提升 (較修正前誤差)		

密位 ($\pm 1^- \times 5$ 次 = $\pm 5^-$)。	精 度： $1/519.319 \div 1.02 = 1/509 \div 1/500$ 評 定：合格（修正正確） ※方向盤精度要求為 1/500。	減少 0.04 公尺） ※標高容許誤差為 ± 2 公尺。
--	---	-------------------------------------

資料來源：作者自製

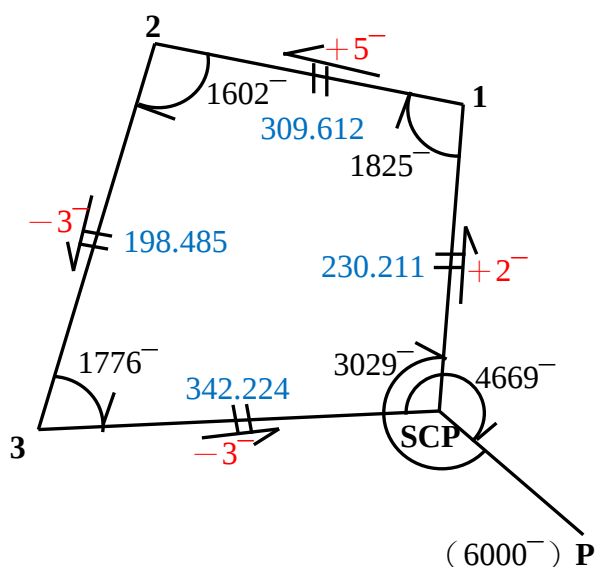
（六）律定加強訓練課目：本例距離誤差出自「捲尺測量」發生錯誤，須將該課目列為訓練重點。惟為避免前、後捲尺手僅依賴「比較精度」（即「精密度」—Precision）判定距離品質，應使用測距經緯儀設立「參考基線」，以標準距離提供訓練「精確度」（Accuracy）¹¹之依據。

三、角度誤差分離

某次迴歸閉塞導線練習，成果檢查時發現方位與坐標失敗，僅標高良好（作業草圖，如圖十一；成果如表十）。實施誤差判斷、分離角度誤差，改進坐標精度之運用實例，分述如下。

（一）確定誤差類型，分析誤差來源：坐標精度之決定條件為方位角、距離，基於「方位總閉塞差」達 -101 密位，導致坐標精度不合格之原因判定為「角度錯誤」（如表十一），且錯誤大小可由「方位總閉塞差」得之，「誤差判斷」的重點則在找到可疑測站。

圖十一 方位、坐標失敗的迴歸閉塞導線作業草圖



資料來源：作者自製

¹¹ 同註 7，頁 29。

表十 方位、坐標失敗的迴歸閉塞導線計算結果

SCP 已知	20000.00 50000.00 20.00	1 站	20122.40 49805.02 20.45	2 站	20414.32 49908.18 21.97	3 站	20348.55 50095.46 21.39	SCP 計算	20010.97 50039.27 20.38
方位總閉塞差： 6000 ⁻ - 6101 ⁻ = -101 密位 評 定：失敗 ※ < 方向盤每站 （次）容許誤差±1 密位（±1 ⁻ ×5 次=± 5 ⁻ ）。			坐標差： 20000.00 - 20010.97 = -10.97 50000.00 - 50039.27 = -39.27 徑誤差：√（10.97） ² + （39.27） ² = 40.77 公尺 總 長：230.211 + 309.612 + 198.485 + 342.224 = 1080.532 公尺 精 度：1/1080.532 ÷ 40.77 = 1/26 ≒ 0（無精度） 評 定：失敗 ※方向盤精度要求為 1/500。				標高誤差： 20.00-20.38 = -0.38 公尺 評定：合格 ※標高容許誤差 為±2 公尺。		

資料來源：作者自製

表十一 方位、坐標失敗的迴歸閉塞導線誤差判斷

區 分	誤 差 狀 況		誤差判斷（迴歸閉塞）	結 論
方 位	方位總閉塞差 －101 密位	失敗	失敗導線	角度錯誤
坐 標	坐標精度 0（無精度）	失敗	方位（水平）角錯誤	
			距離正確	
標 高	標高誤差 －0.38 公尺	良好	距離正確	
			高低（天頂）角正確	
角 度 錯 誤 來 源 分 析	一、方向盤（測距經緯儀）未使用累積（一對回）測角？ 二、方向盤（測距經緯儀）分劃看讀錯誤？ 三、起始或各測站水平角錯誤？			

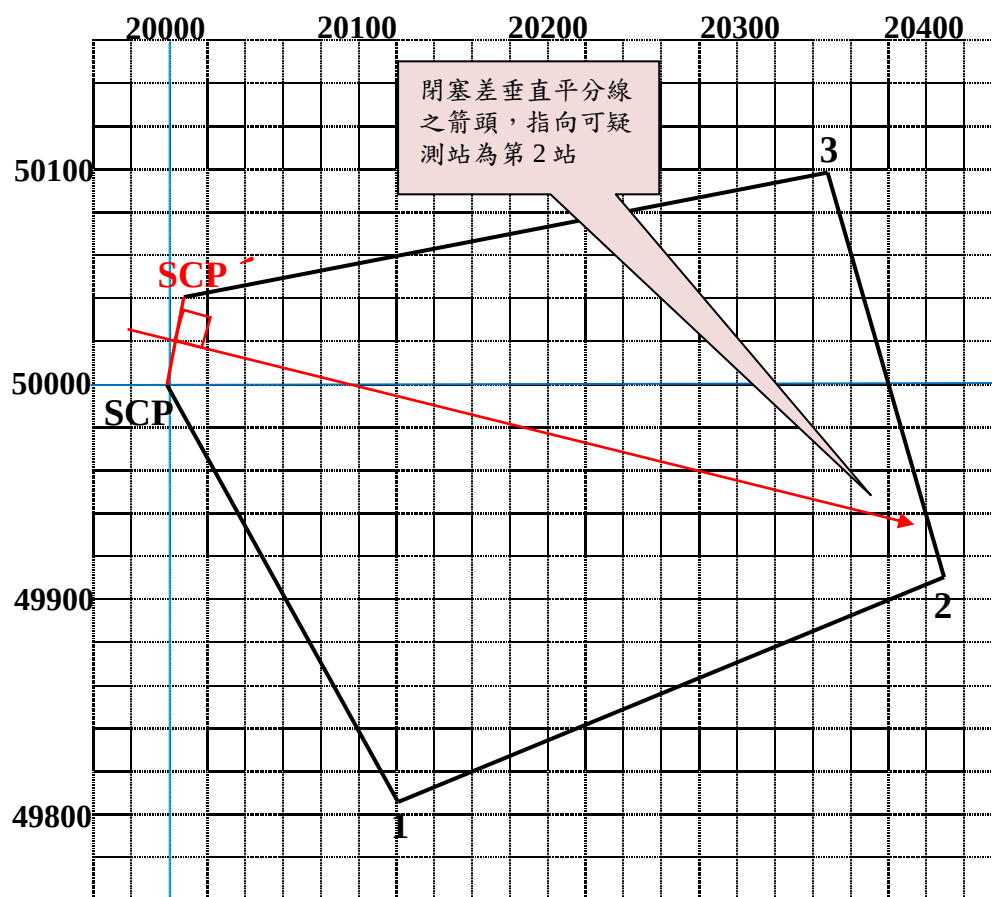
資料來源：作者自製

(二) 利用「垂直平分線法」分離方位誤差與判斷可疑測站：1. 使用適當比例尺方格紙，依據坐標將 SCP (已知)、1 站、2 站、3 站、SCP' (計算所得) 之各點定於方格紙上 (如圖十二)。2. 將 SCP (已知) 與 SCP' (計算所得) 兩點間劃上紅色連線，並定出此連線之中心點。3. 使用「半圓儀」描繪徑誤差中心點之垂直線，並延伸至測量區域。4. 垂直平分線所通過或接近之測站 2，即為可疑 (方位錯誤) 導線。

(三) 修訂誤差，重行成果計算：經過前述誤差分離與判斷可疑測站程序後，確定出現方位錯誤為第 2 測站，並將其水平角 1602 密位減「方位總閉塞差」(-101 密位)，修正為 1501 密位。為確定檢查結果正確，重行成果計算 (如表十二)，其坐標精度已由原本 0 (無精度)，大幅提升為 1/800，顯見誤差判斷程序正確。

(四) 律定加強訓練課目：本例方位誤差出自「測手」未使用「累積測角」，且水平角分劃看讀錯誤，須將該課目列為訓練重點。惟為避免問題再度發生，測手須使用正確「累積測角紀錄表」，除作為計算成果依據外，並列為教官或測量官（排長）檢查項目。

圖十二 利用「垂直平分線法」找到方位錯誤之可疑第2測站



資料來源：作者自製

表十二 迴歸閉塞導線邊距離修正後計算結果

SCP 已知	20000.00 50000.00 20.00	1 站	20122.40 49805.02 20.45	2 站	20414.32 49908.18 21.97	3 站	20330.34 50088.03 21.39	SCP 計算	19999.98 49998.69 20.38
方位總閉塞差： 6000''-6000'' =0密位 評定：合格 ※<方向盤每站 (次)容許誤差±1 密位(±1''×5次=± 5'')。			坐標差： 20000.00-19999.98=+0.02 50000.00-49998.69=+1.31 徑誤差： $\sqrt{(0.02)^2+(1.31)^2}$ =1.31公尺 總長：230.211+309.612+198.485+ 342.224=1080.532公尺 精 度： $1/1080.532 \div 1.31 = 1/827$ = 1/800 評定：合格 ※方向盤精度要求為1/500。				標高誤差： 20.00-20.38 =-0.38公尺 評定：合格 ※標高容許誤差 為±2公尺。		

資料來源：作者自製

陸、結語

砲兵測地通常以「器材」為導向，當「定位定向系統」（ULISS-30、SPAN-7）納編後，「導線測量」等相關技術易因重要性減低而逐漸式微。惟基於建立測量基本觀念與配合或替代定位定向系統作業等考量，砲兵測地仍須參考民間測量學術與先進國家準則發展，持續研發精進，俾能提升測地作業能力。

鑒於「導線測量」常因器材條件、自然環境與人為疏失等因素，產生微小「誤差」或較大的「錯誤」。當具備「誤差判斷」能力經適切修正後，即可適時改善成果精度，不僅可確保時效，亦能發現人為疏失，提供爾後施訓參考。檢討目前測地教範與教案中，「導線測量」誤差判斷技術相關內容有限，誠宜持恆精進邁向科學化與標準化，期能迅速確定導線誤差類型，分析來源並適切分離誤差，盡早修正測地成果，達成測地任務。

參考文獻

- 一、Marine Artillery Survey (MCWP3-1.6.15, Draft) (Washington DC: U S Marine Corps, 2000)。
- 二、Tactics, Techniques, and Procedures for Field Artillery Survey (FM6-2) (Washington DC: Department of the army, 1993)。
- 三、《野戰砲兵測地訓練教範—第二版》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 99 年 10 月）。
- 四、尹鍾奇，《實用平面測量學》（臺北：國彰出版社，民國 68 年 9 月）。
- 五、焦人希，《平面測量學—理論與實務》（臺北：文笙書局，民國 84 年）。
- 六、李瓊武，《測量學新編》（臺北：九樺出版社，民國 77 年 4 月）。
- 七、耿國慶，〈美軍砲兵導線測量之研究〉《砲兵季刊》（臺南），147 期，陸軍砲訓部，民國 98 年 11 月。
- 八、耿國慶，〈精進砲兵連測地裝備與技術之研究〉《砲兵季刊》（臺南），第 160 期，陸軍砲訓部，民國 102 年 3 月。
- 九、耿國慶，〈砲兵傳統測地精度規範探討〉《砲兵季刊》（臺南），第 140 期，陸軍砲訓部，民國 97 年 3 月。
- 十、施永富，《測量學》（臺北：三民書局，2012 年 9 月修訂三版一刷）。

作者簡介

耿國慶老師，陸軍官校 66 年班，歷任排長、測量官、連、營長、主任教官，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部目標獲得組。