

砲兵測距經緯儀儀器誤差對測角作業影響之研究

作者：曾育養

提要

- 一、近期筆者於教學、年度輔訪及部隊驗證時，發現仍有少數人員對裝備操作及測地作業運用不熟悉、校正與庫儲保存專業知識不足，導致裝備性能未能充分發揮作用，值得深入瞭解，俾能充分發揮裝備效益。
- 二、經緯儀為陸軍測量器材主力，最主要用於測量及獲取射擊單位火炮與目標間關係位置，儀器若未校正或不完善，導致不正確幾何關係，將直接影響作業速度與測地成果精度。
- 三、本研究從現行部隊作業現況，提出儀器校正方法等相關建議作為，期能達成各項支援演訓之任務。
- 四、砲兵測地作業隨著砲兵戰術、技術與科技進步，及作戰中對提高火炮射擊命中精度之要求，未來砲兵測地作業人員除須充實專業知識外，更須重視民用測量技術發展脈動，期能提升測地作業人員能力，進而提升防衛作戰火力支援之效能。

關鍵詞：幾何關係、測距經緯儀、器材校正

前言

電子測距經緯儀（Total Station，亦稱全站儀），為砲兵測量作業的主要測量器材，在各項測量作業中，凡為確定與野戰砲兵有關之砲陣地、雷達站、氣象台、觀測所、目標及測地統制¹等均廣泛的應用，該儀器主要透過角度及距離的觀測來獲得測點之間，精確相對關係數據，以為射擊指揮、武器裝備定向、目標定位之依據。因此，儀器的誤差直接影響測量成果的品質，要驗證儀器是否符合精度的要求，就必須經過定期的校正。

自從全站儀加入砲兵部隊，由於具有精確的電子式水準汽泡、自動垂直指標、水平視準校正、雷射標點、雷射測距及自動尋標等功能，大幅提升砲兵測地作業精度外，無疑成為測地作業之新利器；近期筆者在教學、年度輔訪及部隊驗證時，發現少許人員對裝備性能操作不熟悉、測地作業運用不流暢、校正方法專業知識不足，導致裝備性能未能充分發揮其作用，均值得各級深入瞭解，俾能充分發揮裝備效益。

測距經緯儀各軸定義與幾何關係

測距經緯儀為陸軍測量器材之主力，最主要用於測量及獲取射擊單位火炮

¹ 《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 107 年 8 月），頁 1-1。

與目標間關係位置，測量成果受儀器的良窳影響甚鉅，若本身存在有誤差，該項誤差便會傳播至觀測數據，影響測量成果，因此測量儀器必需定期校正，以確保測量成果品質。儀器若未校正或不完善易造成不正確幾何關係，²將直接影響作業速度與精度。

一、經緯儀各軸之定義

全站儀有垂直軸（直立軸）、橫軸、視準軸及水準管軸等四軸（圖一），分述如次。

（一）垂直軸（直立軸）（VV）：為經緯儀水平旋轉所依據之中心，當完成定平後，與垂線相符。

（二）橫軸（HH）：為望遠鏡上下俯仰（縱轉）旋轉所依據之軸線。

（三）視準軸（SS）：為望遠鏡物鏡中心與十字絲中心連線。

（四）水準軸（LL）：切於水準管表面刻劃之中點。

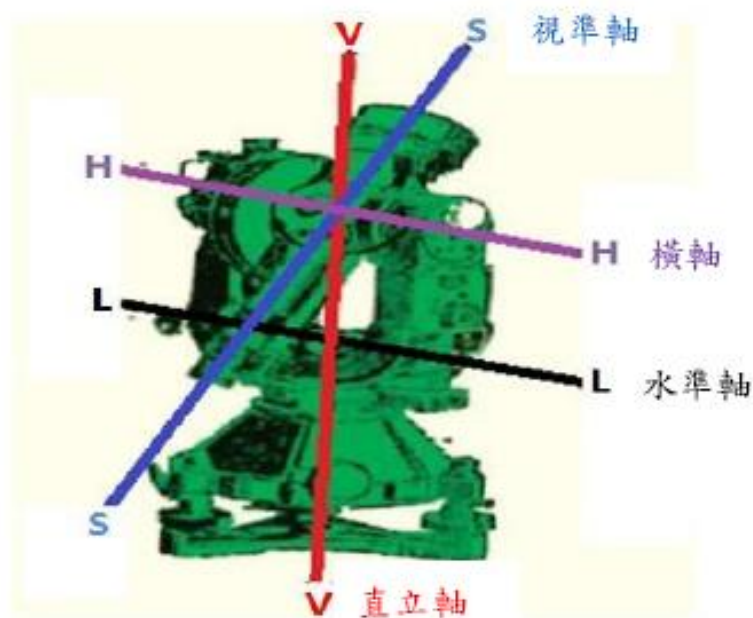
二、經緯儀構造上各軸要求之幾何條件（圖二）

（一）水準軸應垂直於直立軸，否則產生水準軸誤差（ $LL \perp VV$ ）。

（二）視準軸垂直於橫軸，否則產生視準軸誤差（ $SS \perp HH$ ）。

（三）橫軸應垂直於直立軸，否則產生橫軸誤差（ $HH \perp VV$ ）。

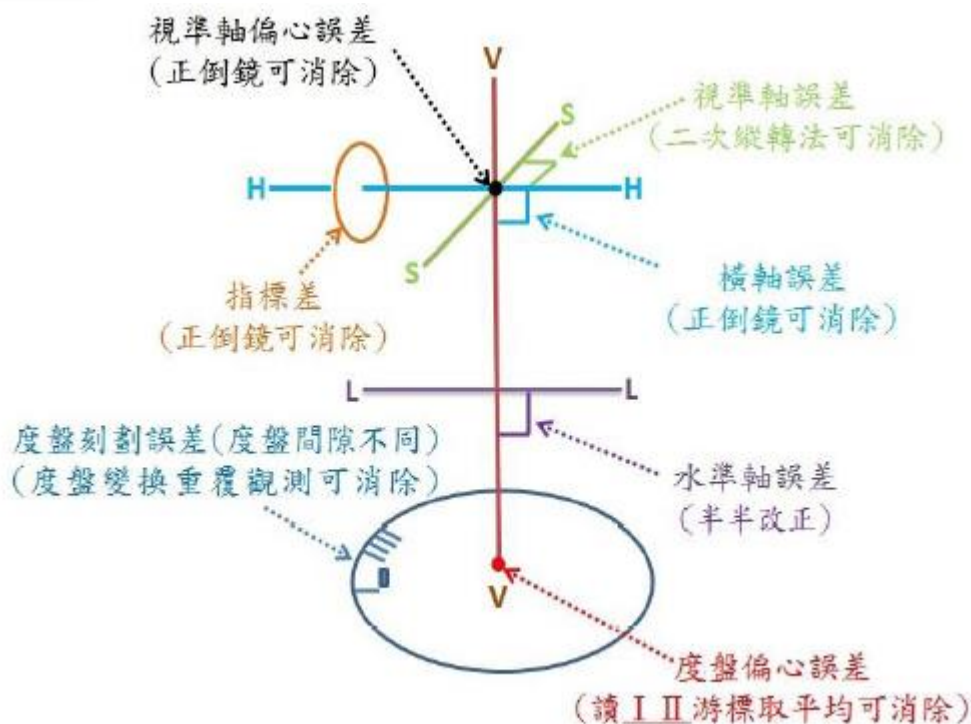
（四）視準軸、水準軸、直立軸應交於一點，否則會產生視準軸偏心誤差。



圖一 經緯儀構造圖

資料來源：1.《工兵儀器操作手冊》（桃園：國防部陸軍總司令部，2013 年 8 月），頁 4-38。2.作者整理繪製。

² 《工兵儀器操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 102 年 8 月），頁 4-38。



圖二 經緯儀各軸幾何條件圖

資料來源：作者繪製

測距經緯儀誤差來源之探討

凡由具有刻劃之儀器設備所量測出來之測量值，不論儀器如何精密，都無法獲得百分之百精確之測量值，³再加上測量時的環境、儀器本體構造、觀測者習性等因素影響，因此由測量儀器所測得之角度、距離及標高等測量值均非真值，而測量值與真值間之差值即為誤差，故凡測量必有誤差產生。

一、儀器誤差之來源

因儀器校正不完善所引起，其特性為發生誤差之大小相等、性質相同，並具有累積性，故對最後之測量成果可能累積成大誤差，此種誤差一般可以計算方法或作業前實施儀器校正（表一），某些系統誤差亦可以適當之測量方法消除之，⁴如稜鏡定心桿變形，造成經緯儀測角作業時每個水平角量測均產生一個方向相同、大小相同之誤差，在多次測站作業完畢後，則此系統誤差將累積成大誤差，進而影響作業精度。故系統誤差對測量成果的影響具有累積性，因此應盡量設法消除它消除方法通常有以下三種，說明如次。

（一）檢校儀器：把儀器的系統誤差降低到最小程度。如經緯儀水準軸不垂直於直立軸的誤差對水平角的影響，可採取嚴格檢校儀器，並在作業中仔細定平的方法來縮小其影響。

³ 施永富，《測量學》（臺北：三民，民國 101 年 9 月），頁 188。

⁴ 林宏麟，《測量學題解》（高雄：弘揚，民國 102 年 8 月），頁 4-36。

(二) 求改正數：對觀測成果進行必要的改正。如捲尺測量時，因捲尺斷裂破損致其一整尺非準則規範之 30 公尺，故可先求出的尺長改正數以進行尺長改正。

(三) 對稱觀測：使系統誤差對觀測成果的影響互為反號，以便在成果計算中，自行消除或減小誤差。⁵例如經緯儀測角過程中採用正倒鏡觀測，都是利用對稱觀測來達到消除系統誤差（橫軸誤差、視準軸誤差、視準軸偏心、縱角指標差）的目的。

二、錯誤 (Mistake)

主要是因人為疏忽或經驗不足所引起，其誤差量通常甚大，故可增加測量次數作為檢查。過失或錯誤通常被不正確的引用而成為嚴重的誤差，如實施捲尺測量量測一段距離時，記錄手漏記測針數或記錄時記錄錯誤數據等。這些錯誤狀況會從測量的各個階段中產生，如測量、記錄、計算或繪製作業草圖等階段時，均可能會很明顯的造成大錯誤而產生非常嚴重的影響。故作業時應按擬訂好之作業計畫實施，則可減少錯誤的產生，且須於每階段均進行獨立的檢查以預防錯誤產生。故錯誤之預防僅能仰賴平時嚴格的訓練及增加操作手的經驗，並按準則規範之檢查要領，如程序檢查法，針對各階段嚴格實施檢查，以預防錯誤產生。

三、自然誤差 (Natural Error)

因自然環境因素影響所產生之誤差，如地球曲率差、溫度、大氣壓力、濕度等自然因素對標高或距離量測所引起之誤差。

四、系統誤差 (System Error)

在相同環境觀測條件下，若誤差正負號不變，且大小按一定的規律變化或保持為常數者，⁶稱為系統誤差。

五、偶然誤差 (Random Error)

乃因自然環境之不規則變化、儀器不夠精細、觀測者之習性等因素所引起，其誤差值通常很小並可藉多次觀測之平均值予以降低其影響，⁷偶然誤差具備下列特性：（一）小誤差發生之次數較大誤差為多；（二）正、負誤差發生之機率相等；（三）極大誤差之發生次數甚少。

故此項誤差本身具有相消性，又稱相消誤差 (Compensating Error)。惟以砲兵所要求之精度而言，此項誤差值甚小，常可忽略不計，通常施已多次觀測

⁵ 龐樹春，《測量學》（臺北：弘揚，民國 91 年 8 月），頁 475。

⁶ 林宏麟，《嘉南藥理大學測量製圖學分班》《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月），頁 22。

⁷ 林宏麟，《測量學題解》（高雄：弘揚，民國 102 年 8 月），頁 1-39。

取平均值即可減少誤差，⁸僅有少數作業須顧及此誤差並加以改正，如三角（三邊）測量及天體觀測等（誤差消除措施如表二）。

表一 儀器誤差表

儀器誤差	原因	改正方法	作業影響	備考
水準軸誤差	水準軸為垂直於直立軸	半半改正法	水平角量測誤差	
橫軸誤差	橫軸為垂直於直立軸	正倒鏡法校正 正倒鏡觀測取平均	水平角量測誤差	
視準軸誤差	視準軸為垂直於直立軸	二次縱轉法校正 正倒鏡觀測取平均	水平角量測誤差	
視準軸偏心誤差	視準軸、水準軸、直立軸未交於一點	正倒鏡觀測取平均	水平角量測誤差	
縱角指標差	當望遠鏡水平，讀數不是 0° 或 90°	正倒鏡觀測取平均	天頂角（高低角）量測誤差	
水平度盤偏心誤差	直立軸未通過水平度盤圓心	取 I、II 游標取平均	水平角量測誤差	目前儀器設計均為讀 I、II 游標取平均
度盤刻劃不均	儀器製造度盤刻劃不均	變換度盤重複觀測取平均	水平角量測誤差	

資料來源：作者整理

⁸ 林宏麟，《測量學題解》（高雄：弘揚，民國 102 年 8 月），頁 1-40。

表二 誤差消除措施表

誤差種類	措施	目的
錯 誤	記錄手完成複誦並紀錄	避免紀錄錯誤
	對同目標測量正、倒鏡讀數是否相差 180°	避免讀數錯誤
	水平角量取完畢馬上計算角度	檢查角度是否符合規範或錯誤之情況
系統誤差	各項演訓、基地、測考前及每季定期校正	避免系統誤差影響角度施測
	正、倒鏡觀測	可消除視準軸、橫軸、視準軸偏心誤差等儀器誤差
偶然誤差	重覆觀測取平均	減少偶然誤差，提高測角精度
	避免於正午（熱浪影響）施測	可降低天氣影響
	標定覘視點底部	減低標定誤差

資料來源：作者整理

現行測距經緯儀測量作業之檢討

就近年督導防區測地作業、各項演訓及部隊輔訪等相關報告中所見，作業人員常發生系統、人為與作業程序上之缺失，致影響測地成果資料之精確性，嚴重者甚至有裝備損壞之虞，常見之狀況檢討分析如下。

一、欠缺檢查儀器誤差方法

現行部隊在執行各項演訓前，均未有適當的檢查方法對儀器實施作業前檢查如：水準軸、視準軸及縱十字絲偏斜等檢查方法，因此，不管作業方式如何嚴謹，均影響測地成果之精確。

二、未恪遵機動運輸規定

砲兵測距經緯儀由於結構精密，儀器在搬運、操作、機動運輸期間若未恪遵各項使用規定，則會因人為不慎，導致碰撞震動過大，易造成儀器直立軸偏差，導致系統誤差，無論作業如何縝密，終不能獲得精確的成果。

三、系統誤差對測角影響

（一）橫軸的誤差量，即橫軸傾斜角度的大小，會隨測量方向改變，而此誤差將影響水平角的量測。

(二) 視準軸的誤差量，會直接影響天頂角（高低角）量測，惟此誤差為固定量。

(三) 定平誤差將導致儀器未真正水平狀態，使得直立軸與垂線存在一個角度誤差，此誤差對水平角觀測影響隨著觀測高低和方向改變而不同，無法藉由觀測方法予以消除。⁹

四、執行各項任務前儀器未實施校驗

部隊測距經緯儀於各項測地作業任務僅申請演訓前鑑定，而陸軍光電基地勤務場校驗項目，並無儀器維修軟體可實施調整與檢驗，會因儀器誤差造成現地作業錯誤效果不彰，進而影響測地成果之良窳。

精進作法

砲兵現行所使用測距經緯儀若未於演訓、基地、測考前未經校正，則有系統誤差存在，因此，在儀器尚未完成校正程序，易有系統誤差存在，不論作業方法如何縝密，亦難獲得精確測地成果，若儀器透過適當的校正方式可降低測角誤差，檢討測地作業常見缺失，區分為系統與人為等二部份。就人為與程序部分而言，多因觀念習慣與便宜行事而導致，應恪遵準則規範行之；至於系統本身所引發之問題，則應謹慎透過適當檢查與校正，以確保測地成果資料正確。精進作法分述如下。

一、作業前落實儀器檢查與校正

(一) 器材校正時機

- 1.新接收及長途運輸之裝備。
- 2.執行各項演訓測地任務前。
- 3.最少每季定期實施一次。

(二) 校正方法（前後順序不可顛倒）¹⁰

1.水準軸校正（圖三）

(1) 調整三角基座水平調整螺使氣泡居中。

(2) 儀器水平旋轉 180 度，氣泡未居中偏移 N 格時，表示水準軸與直立軸不垂直。

(3) 調整水平調整螺，調整 N/2 格量，另一半修正量使用水準管校正螺改正。

(4) 最後調整水準管校正螺，改正 N/2 格，使水準軸垂直於直立軸，即完成校正步驟（亦稱半半改正）。

⁹ 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月），頁 98。

¹⁰ 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月），頁 94。

2.縱十字絲校正（圖四）

（1）離 10 - 20 公尺牆壁上標誌第一點，將望遠鏡上下轉動，若縱線始終保持於標誌上方，表示器材呈垂直，不須校正。

（2）若十字絲縱線不垂直，則需在牆上標誌第二點，並取兩點之中間位置標誌第三點。

（3）鬆開十字絲校正螺，旋轉目鏡讓縱線對準中間點位置。

（4）最後旋緊十字絲校正螺，並再次旋轉望遠鏡檢視第一點，若始終在縱線上，即完成校正。

3.視準軸校正（二次縱轉法、如圖五）

（1）測距經緯儀整置於 A 點，視線水平時正鏡照準 B 點，直接縱轉望遠鏡使視線水平，並於牆上標記出十字絲中心點位置 a。

（2）在以倒鏡照準 A 點，直接縱轉望遠鏡使視線水平，於牆上標記出十字絲中心點位置 b；若 a、b 兩點重合，表示視準軸無誤差，則不必校正。

（3）倘若 a、b 兩點不重合，量出 $ab/4$ 處定出 C 點，接著鬆開十字絲校正螺絲後，已先鬆後緊方式調整十字絲對準 C 點，即完成校正。

4.橫軸校正（圖六）

（1）在高牆附近架設測距經緯儀，牆角處擺設標尺，正鏡（紅色線）照準牆壁高處（高低角大於 30 度）P 點後，縱轉望遠鏡標定標尺處，得第一讀數為 A。

（2）倒鏡（藍色線）照準 P 點後，縱轉望遠鏡標定標尺處，得第二讀數為 B。

（3）若 $A=B$ ，表示橫軸無誤差，則不行校正；或 A 與 B 不相等，取 A、B 二讀數之平均值 $C=(A+B)/2$ ，並調整校正螺使測距經緯儀對準標尺讀數 C 處。

（三）指標差校正

目前市面各式測距經緯儀，皆採用指標自動歸零裝置，因此在此項校正均無須實施。

（四）光學定位鏡校正（如圖七）

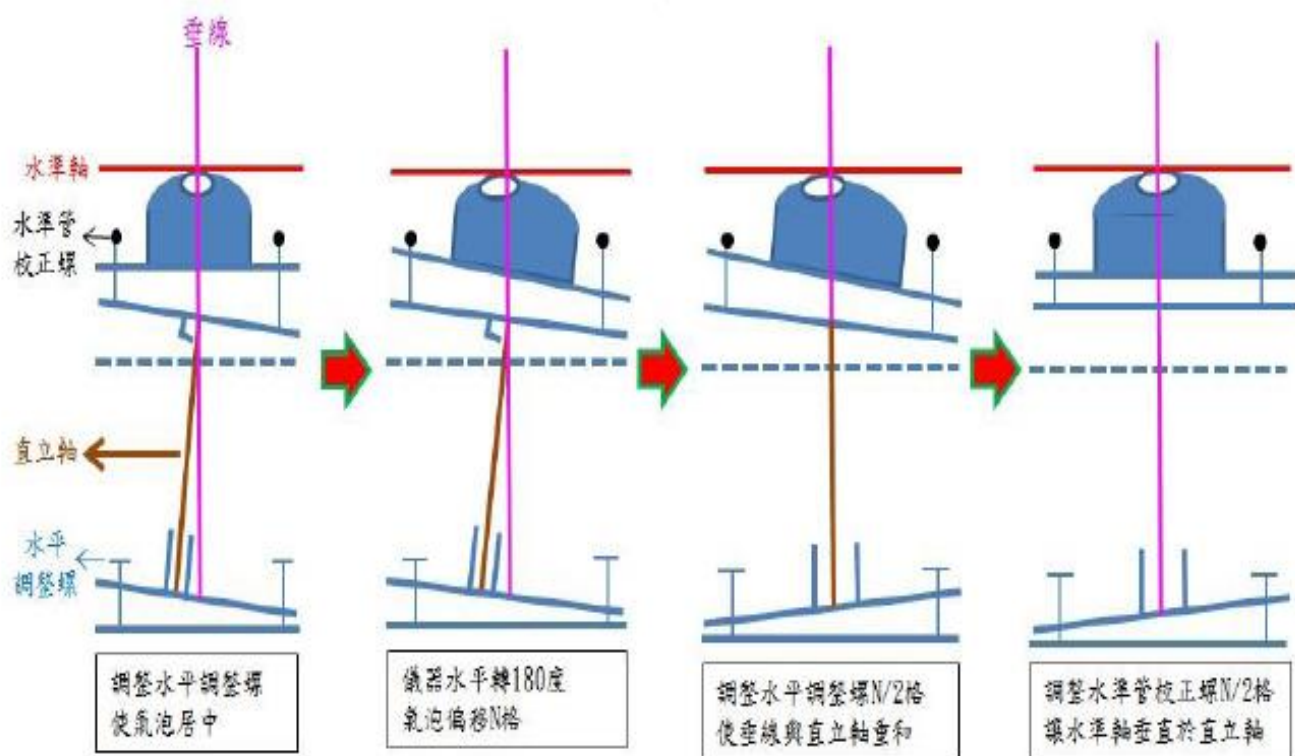
1.測距經緯儀完成定平後，於儀器下方擺放一張白紙並固定，儀器水平旋轉 1/4 圈時，即在紙上標示出十字絲中心投影之位置 A、B、C、D。

2.如 A、B、C、D 四點重合，表示光學定位鏡無誤差。

3.若未重合應繪出 AC、BD 連線之線段，得到交點 Q，調整光學定位鏡校正螺絲，使十字絲中心對準 Q，即完成校正。

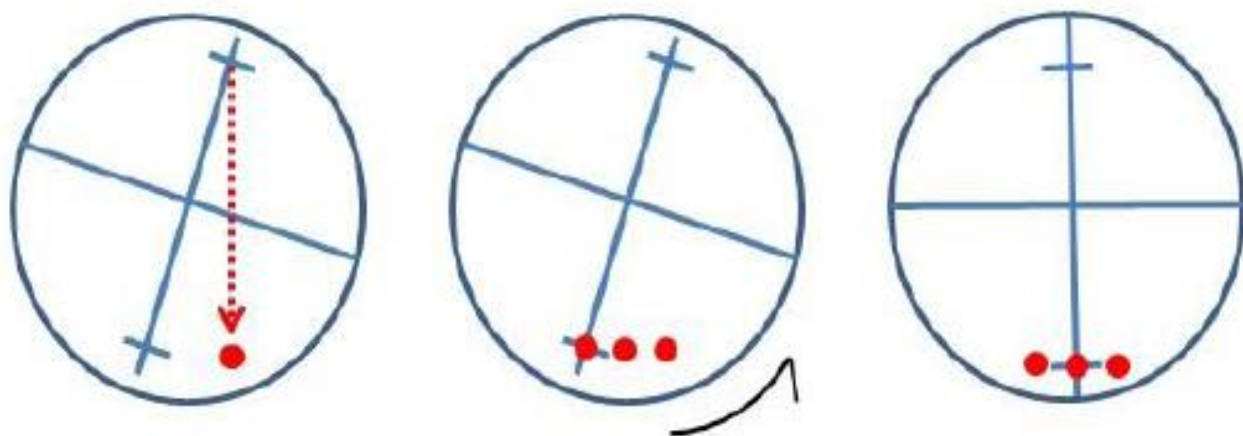
4.最後調整水準管校正螺，改正 $N/2$ 格，使水準軸垂直於直立軸，即完成

校正步驟（亦稱半半改正）。



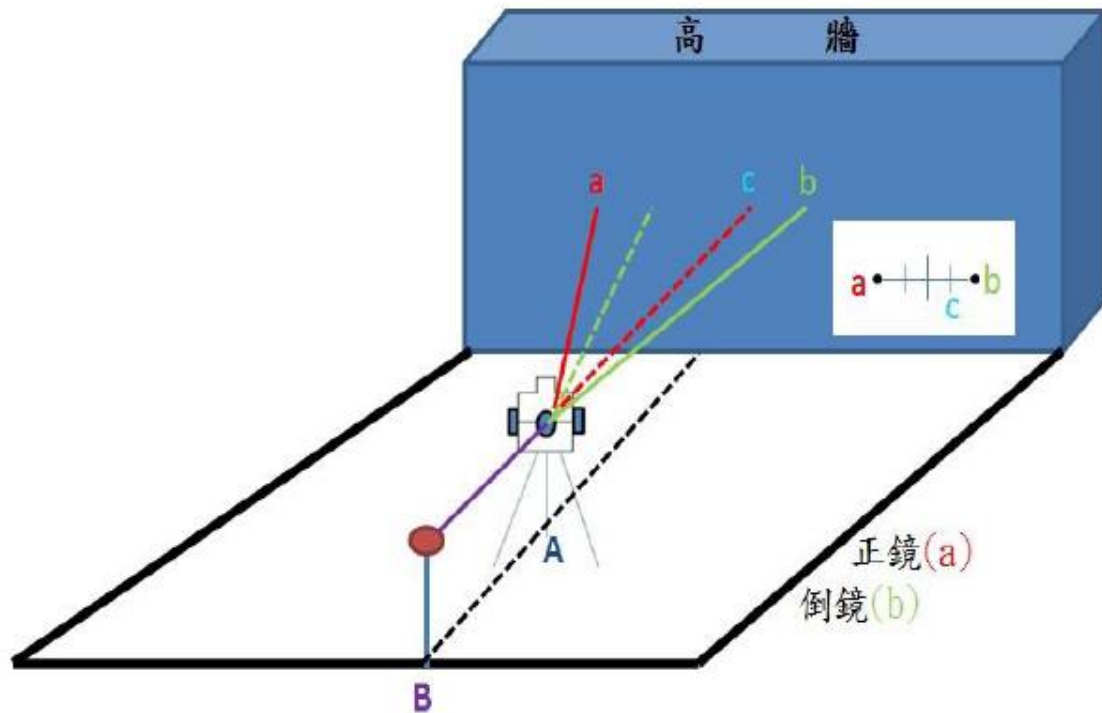
圖三 水準軸校正示意圖

資料來源：1. 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月）。2. 作者參考繪製。



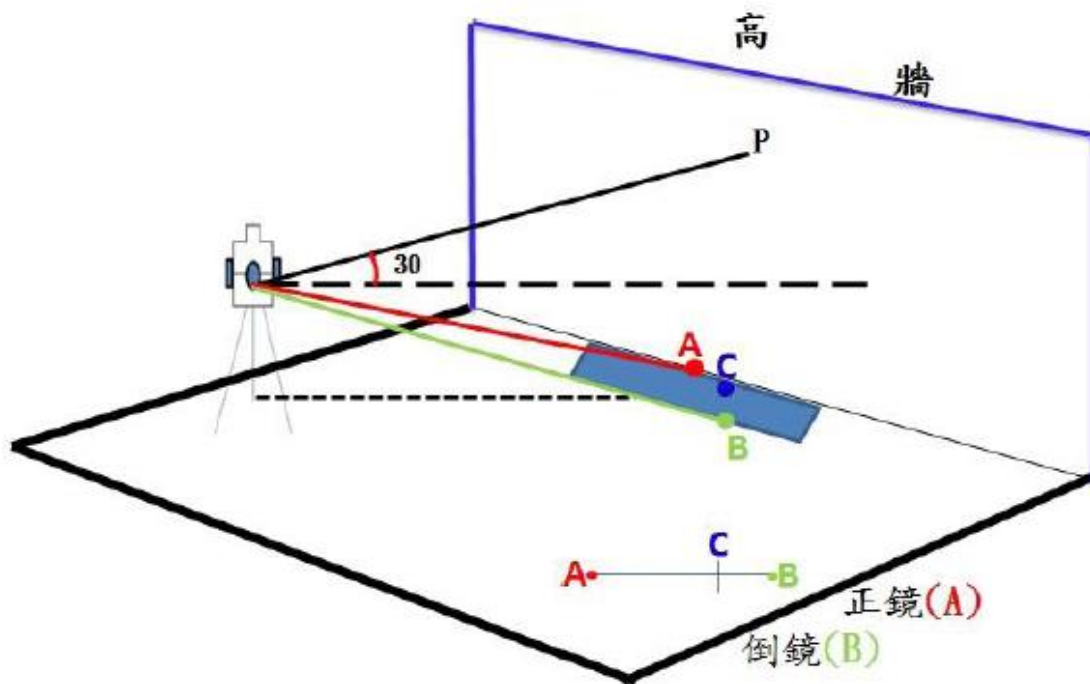
圖四 縱十字絲校正示意圖

資料來源：1. 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月）。2. 作者參考繪製。



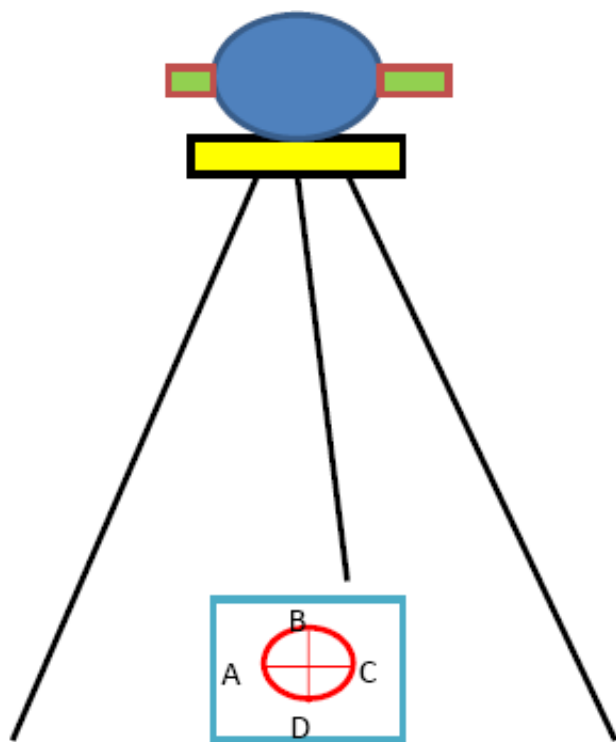
圖五 視準軸校正示意圖

資料來源：1. 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月）。2. 作者參考繪製。



圖六 橫軸校正示意圖

資料來源：1. 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月）。2. 作者參考繪製。



圖七 光學定位鏡校正示意圖

資料來源：1. 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：民國 105 年 7 月）。2. 作者參考繪製。

二、恪遵機動運輸作業規範

儀器在搬運、操作、機動運輸期間恪遵各項使用規定，如現地作業變換測站時，須將儀器放置攜行箱內；車輛機動則必須將儀器環抱作業人員身上，或使用適當防震包裝物品，¹¹方能確保其作業精度、延長使用壽命，致使裝備有效發揮其功能。

三、使用正確測角方法

經緯儀測角作業時，如未完成原廠調整與校驗，則使用正、倒鏡測角方式取平均藉以消除視準軸誤差、橫軸誤差、視準軸偏心誤差及指標差；¹²已完成則採用對回測角方式實施，必能降低測角作業誤差，增加測地作業精度。

四、重大演訓任務回廠校驗

陸軍光電基地勤務場校驗項目計有自動正倒鏡校正、十字絲校正等項目，惟徠卡測距經緯儀並無儀器授權軟體程式及相關測檯，可調整望遠鏡軸誤差、水平垂直螺桿齒輪、水平視準軸、光學照準器等等項目，¹³如作業人員貿然使用現地作業上，會因儀器誤差，造成測角精度不佳，進而影響測地成果精度，因此，當執行重大演訓任務儀器須回廠調整與校驗。

¹¹ 宏遠儀器有限公司，《徠卡儀器單位裝備操作手冊》（新北：宏遠，民國 98 年），頁 162。

¹² 林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月），頁 96。

¹³ 宏遠儀器有限公司，《徠卡儀器中文保修手冊》（新北：宏遠，民國 98 年 10 月），頁 4-17。

結論與建議

砲兵測地作業，保障隨著砲兵戰術、技術與科技之進步，以及作戰中對提高火炮射擊命中精度之要求，目前已有突破性之發展。未來藉由砲兵測地作業人員除須充實專業知識外，更須重視民間測量技術發展脈動，期能提升測地作業人員能力，進而提升防衛作戰火力支援之效能。

測地成果資料之良窳對於砲兵射擊而言，可影響砲兵奇襲、精準之火力，達成火力支援任務，因此運用各相關之測量技術與方法，消除（或減低）儀器因素對測地作業之影響，提升作業精度，各先進國家皆付諸莫大之努力。基此，建議國軍砲兵應以「現代化」為目標，在現有裝備基礎持續進步及更新：

一、依據儀器檢查方法，如正、倒鏡觀測同一目標，水平角趨近 180 度；天頂角 360 度完成作業前檢查，確認測距經緯儀採用何種測角方法。

二、儀器尚未完成電腦維修軟體調整與校驗，建議採正、倒鏡測角方式，實施測角作業。

三、支援各項重大演訓任務前，編列預算將儀器委商實施調整與校驗，確定無系統誤差，確保測地成果之精度。

四、未來建案可於三、五級廠建立測臺，校正角度及距離確保裝備妥善，以節省國防經費開銷提升裝備維保效益。

參考資料

- 一、《陸軍工兵儀器操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 102 年 8 月）。
- 二、施永富，《測量學》（臺北：三民，民國 101 年 9 月）。
- 三、林宏麟，《測量學題解》（高雄：弘揚，民國 102 年 8 月）。
- 四、龐樹春，《測量學》（臺北：弘揚，民國 91 年 8 月）。
- 五、林宏麟，〈嘉南藥理大學測量製圖學分班〉《測量學講義》（臺南：嘉藥，民國 105 年 7 月）。
- 六、宏遠儀器有限公司，《徠卡儀器裝備操作手冊》（新北：宏遠，民國 98 年）。
- 七、宏遠儀器有限公司，《徠卡儀器中文保修手冊》（新北：宏遠，民國 98 年）。

作者簡介

曾育養士官長，陸軍專科學校士官長正規班 32 期畢業，曾任測量班長、副排長，現任職陸軍砲兵訓練指揮部目標獲得教官組。