

砲兵傳統測地精度規範探討

提 要

- 一、國軍長久以來引用美軍準則，將砲兵連、營、師以上層級「傳統測地」之精度，訂為 1/500、1/1000 與 1/3000 等三種標準。因該規範已行之有年，且學校教學與基地測考均未發生疑義，故訂定之原始依據與理由遭到漠視，且被測地人員視為理所當然。
- 二、砲兵測地源自民間測量學，係利用各種測量器材，運用各種測量方法，建立測地統制，進而測定各射擊單位與目標間之水平與高低關係，提供射擊所需之測地成果。基此，就砲兵測地而言，精度規範首重射擊需求，其次則考量器材性能、時間限制與超敵勝敵等因素。
- 三、美軍砲兵測地精度標準，因符合適切與周延條件，即使歷經多次武器與裝備變革，仍然沿用。如今國軍面對定位定向系統即將全數納編，且測距經緯儀性能大幅提升後，應體認就現階段測地裝備與技術而言，達成精度要求絕非困難。只要砲兵部隊按部就班且落實訓練，即可符合基地測地測考標準。

壹、前言：

國軍長久以來引用美軍準則，將砲兵連、營、師以上層級「傳統測地」(非定位定向系統、全球定位系統等自動化測地)之精度，訂為1/500、1/1000 與 1/3000 等三種標準。因該規範已行之有年，且學校教學與基地測考均未發生疑義，故訂定之原始依據與理由遭到漠視，且被測地人員視為理所當然。基於準則活用須深研窮究、融會貫通，方可獲得實效之明訓，特考證此三種精度規範訂定之依據與理由，提供砲兵測地教學與訓練參考。

貳、精度內涵：

第一次世界大戰前，測量學始引進砲兵技術領域，砲兵得以對其射程內之目標行精確射擊，亦使砲兵在第一次世界大戰之反戰壕戰中，獲致重大戰果¹。因砲兵測地源自民間測量學，不僅適用測量基本原理及其衍生之各種測量法，亦受測量器材與技術演進之影響。就測量學解釋精度可細分為精確度與精密度兩種。

- 一、「精確度」(Accuracy)為與真值接近之程度，或是測量中獲得完備之程度，其與成果之性質有關，而與「精密度」有所區別。
- 二、「精密度」(Precision)簡稱「精度」，與獲得結果之操作性質有關，精度不僅表示測量之真值，且顯示測量使用之儀器與方法，使獲得之成果有高度之正確性。通常成果之正確性，可決定其精度²。

參、精度計算：

據1954年版「美軍砲兵測地」敘述：砲兵測地已規定之精度有1/500、1/1000 與 1/3000 等三種。以1/3000 精度之意義為例，乃表示測量距離每三千個單位時，其誤差不得超過一個單位。至於所需之精度，端視測地諸元之用途而定。此種以精度比率表示之方式，通常適用於閉塞導線，且分子恆為1，分母之百位數以下無條件捨棄；凡未達此精度之要求者，則該導線測量務須重行實施³。精度計算公式與範例如下：

¹ 李哲安著，《野戰砲兵系統》，《軍事家》，民75年8月，頁48。

² 尹鍾奇著，《實用平面測量學》，大學圖書供應社，民68年9月五版，頁8-9。

³ ARTILLERY SURVEY (TM6-200), GHQ ARMY GRC, 10/1954, p143-144。

精度公式：

$$\text{精度比率} = \frac{1}{\text{導線全長/徑誤差}}$$

$$\text{徑誤差} = \sqrt{(\text{X 座標差})^2 + (\text{Y 座標差})^2}$$

範例：某閉塞測站之參考座標=555131.89 839365.46
其閉塞測站之導線座標=555131.33 839364.74
導線全長為 3469.91 公尺，試計算其精度比？

$$\text{X 座標差 } eX = 0.56 \quad \text{Y 座標差 } eY = 0.72$$

$$\text{徑誤差} = \sqrt{(0.56)^2 + (0.72)^2} = \sqrt{0.832} = 0.91$$

$$\text{精度比} = \frac{1}{3469.91/0.91} = \frac{1}{3813} \doteq \frac{1}{3800}$$

肆、精度規範依據：

砲兵測地係利用各種測量器材，運用各種測量方法，建立測地統制，進而測定各射擊單位與目標間之水平與高低關係，提供射擊所需之測地成果。基此，就砲兵測地而言，精度規範首重射擊需求，其次則考量器材性能、時間限制與超敵勝敵等因素。

一、射擊需求：

美軍認為精確之陣地、目標位置、射擊計算、氣象與初速資料等五項，為提高射擊精度之必要條件，當此五個條件皆能滿足時，即可實施首群效力射⁴。基於精確之陣地、目標位置須由測地提供，理想狀況下測地精度應越高越好，惟測地受條件限制，無法提供零誤差之成果，部隊指揮官（射擊指揮所）須律訂測地精度要求之下限，俾規範測地成果標準。就射擊指揮而言，合理之射擊效果範圍，訂為 4 倍距離、方向公算偏差，當測地誤差小於一個「偏差向量」時，始可確保射擊效果。

以 105 榴砲為例：其 2/3 射程為 7000 公尺，查 VI 裝藥 G 表、距

⁴ Staff Sergeant Dwight D. Mckillip, 《Survey for Remote Areas》, 《Field Artillery》, 6/1993, p24。

離公算偏差 21 公尺，方向公算偏差 4 公尺，依據畢氏定理計算其「偏差向量」為 21.38 公尺。

$$\sqrt{(21)^2 + (4)^2} \doteq 21.38 \text{ 公尺}$$

當美軍使用 M2 方向盤實施 1/500 精度要求之砲兵營（連）測地時，其作業距離 7000 公尺，允許誤差約 14 公尺，即使合併上級賦予測地統制點之誤差（1/3000；設 10 公里誤差 3.34 公尺），仍小於一個偏差向量。

$$14 + 3.34 = 17.34 \text{ 公尺}$$

$$17.34 \text{ 公尺} < 21.38 \text{ 公尺}$$

目前砲兵武器性能雖已大幅提昇，惟砲兵營測地精度亦同步提高至 1/1000（較 1/500 提高一倍），故可充分滿足射擊需求。

二、器材性能：

測量器材之性能，關係作業精度之良窳，惟通常仍以「經濟法則」（預算考量）來達成所望精度之目標。

以 1954 年美軍師砲兵使編制之 20 秒經緯儀為例，其理論精度為 1/10300。計算公式如下：

$$\text{Tan}20'' = \frac{20''}{180^\circ/\pi} = \frac{20''}{206265''} = 9.6962 \times 10^{-5} \doteq \frac{1}{10300}$$

實際上，因器材製造誤差與操作之諸多誤差，須乘「安全率」（Factor of Safety, F.S.=0.5）=1/5000（1/5150 取整數），為其上限。即 20 秒經緯儀充其量可達 1/5000 之精度⁵。

$$1/10300 \times 0.5 = 1/5150 \doteq 1/5000$$

1954 年美軍師以上砲兵編制 20 秒經緯儀，其作業精度要求 1/3000，研判係以前述規範為基礎，同時考量砲兵戰場作業之急迫性與危險性，故將 1/10300 乘 0.3=1/3000（1/3100 取整數），作為下限。

$$1/10300 \times 0.3 = 1/3100 \doteq 1/3000$$

⁵ 焦人希著，《平面測量學——理論與實務》，文笙書局，民 84 年 5 月五版，頁 11-12。

基於器材性能與精度關係密切，在編裝配賦與運用上，亦有所區別。

- (一) 1954 年，美軍準則律定方向盤適用於 1/500 精度之測地作業；1 分經緯儀與 20 秒經緯儀，因兩種經緯儀測角（水平角、高低角或天頂角）解析度不同，可分別實施 1/1000 與 1/3000 之測地作業⁶，故將兩種經緯儀配發至不同層級（砲兵營、師砲兵）使用。
- (二) 測地器材建案除須考量精度需求，亦須衡量現貨市場規格、價格、投資額度等因素。民國 68 年本軍為提昇測地精度，採購凱恩（Kern）30 秒與 1 秒經緯儀（匹配 DM501 或 502 測距儀），分別配賦砲兵營（1/1000）與師砲兵以上（1/3000）單位，依據前述公式計算，其精度下限皆可超過現行標準 2 倍。83 年、95 年因光電科技發展有成，經緯儀與測距儀多採電子整體式設計，且 1 秒讀數之市佔率高且價格便宜，故全數採購蔡司（Zeiss）Rec Elta-13 與萊卡（Leica）TPS700 型之「全測站」（Total station）1 秒測距經緯儀（如圖）。當前測地器材已朝向自動化（定位定向系統、全球定位系統）之趨勢，測地精度亦配合器材性能，增加「徑誤差」、「圓形公算偏差」（Circular error probable, CEP）之規範。

凱恩 KI-SE、30 秒經緯儀（砲兵營）

$$\tan 30'' = \frac{30''}{180^\circ/\pi} = \frac{30''}{206265''} = \frac{1}{6875} \div \frac{1}{6800} \quad (\text{理論精度})$$

精度下限 $1/6800 \times 0.3 = 1/2040 \div 1/2000 (> 1/1000)$

凱恩 DKM2-AE 與蔡司 Rec Elta-13、1 秒經緯儀（軍團、師砲兵）

$$\tan 1'' = \frac{1''}{180^\circ/\pi} = \frac{1''}{206265''} = \frac{1}{206265} \div \frac{1}{206200} \quad (\text{理論精度})$$

精度下限 $1/206200 \times 0.3 = 1/61860 \div 1/61800 (> 1/3000)$

註：蔡司 Rec Elta-13、1 秒經緯儀為±3 秒精度，故理論精度為 1/68700。

⁶同註 3, p46。



萊卡（Leica）TPS700 型「全測站」1 秒測距經緯儀

資料來源：《Leica TPS700 全測站儀單位裝備操作手冊》，弘遠儀器有限公司，
民 96 年 12 月，p186。

三、時間限制：

各種測量器材皆可使用較精密之作業方法（如增加角度觀測對回數），適度提高精度。惟砲兵測地之速度與精度並重，無法為偏重精度而捨棄速度，故僅能就器材性能，並在正常作業方法與戰術容許之時限下，訂定合理之精度要求（民間測量與砲兵測地作業規定對照，如表一）。

表一

民間測量與砲兵測地作業規定對照表					
區分、等級 規定 項目		民間測量		砲兵測地	
		三等	四等	四等	五等
導線點間長度		>100 公尺	<100 公尺	未規定	未規定
距離測量精度		1：60000	1：30000	未規定	未規定
角度測量使用經緯儀		讀至 1 秒	讀至 10 秒	讀至 1 秒	讀至 10 秒
角度觀測對回數		4	2	1	1
角度觀測個次測量與平均值之差		<5 秒	<10 秒	未規定	未規定
各水平角和與 360 度之差		未規定	未規定	公式計算（如說明）	
方位角觀測個次誤差		5 秒	8 秒	未規定	未規定
方位角閉合之測站數（N）		5 秒 N 或 10 秒 $\sqrt{N}$	8 秒 N 或 30 秒 $\sqrt{N}$	未規定	未規定
位置（座標）閉合差		1/10000	1/5000	1/3000	1/1000

民間測量相關資料來源：尹鍾奇著，《實用平面測量學》，大學圖書供應社，民 68 年 9 月五版，頁 203。

說明：各水平角和與 360 度之差（測角許可誤差）：

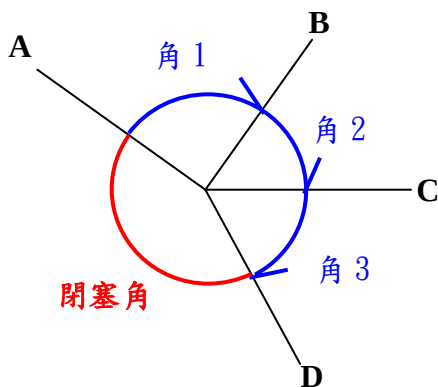
美軍強調：任何一個水平角之完整測量，均應包括兩次獨立測量之平均值，即經緯儀望遠鏡正、倒鏡各實施測角一次（稱之為一對回）。測角許可誤差之目的，在檢驗角度之精度。如超過許可誤差時，務須重行測角⁷。其計算公式如下：

$$\text{量測角數（包括閉塞角）} \times \frac{\text{經緯儀之最小讀數}}{\text{各角測量之次數}}$$

例：欲於一測站上（如下圖）測取三個水平角與閉塞角，當使用 20 秒經緯儀實施一對回測角時，各角之和與 360 度差值應不得超過多少？

解：

$$4 \times \frac{20''}{2} = 40'' \quad (\text{不得超過 } 40 \text{ 秒})$$



⁷同註 3，頁 53-55。

四、超敵勝敵考量：

中共砲兵測地主要任務為「加密（建立）砲兵控制網」與「連測砲兵戰鬥隊形」（精密連測），相當於國軍之「軍團、師砲兵測地」與「砲兵營測地」，其相對精度要求亦區分為 1/3000 與 1/1000⁸，顯見 1/3000 與 1/1000 之測地精度要求，並非美軍一廂情願之作法，而是獲得多數國家砲兵認同。國軍基於超敵勝敵之考量，測地精度實不宜低於共軍〈共軍測地作業精度，如表二〉。

表二

共軍砲兵測地導線相對誤差對照表	
加密（建立）砲兵控制網	精密連測
1/3000	1/1000

資料來源：耿國慶著，《對共軍砲兵測地「誤差定限與精度」規範之研究》，《陸軍砲兵學術雙月刊第 98 期》，民 87 年 10 月，頁 14-15。

伍、結語：

美軍砲兵早在 1954 年即訂定 1/500、1/1000 與 1/3000 等三種測地精度，如今砲兵武器與裝備雖已歷經多次變革，然僅刪除適用方向盤之 1/500，仍沿用 1/1000 與 1/3000 作為 V 與 IV 等級傳統測地之標準，可見其精度標準訂定之適切與周沿。

國軍砲兵除應瞭解測地精度訂定之依據與理由外，面對定位定向系統即將全數納編，且測距經緯儀性能大幅提升後，應體認就現階段測地裝備與技術而言，達成精度要求絕非難事。只要砲兵部隊按部就班且落實訓練，即可符合基地測地測考標準。

作者簡介：

耿國慶備役中校，現服務於陸軍飛彈砲兵學校目標組。

⁸ 耿國慶著，《對共軍砲兵測地「誤差定限與精度」規範之研究》，《陸軍砲兵學術雙月刊第 98 期》，民 87 年 10 月，頁 14-15。