

衛星即時動態測量（RTK）運用於砲兵測地之研析

作者：黃盈智

提要

- 一、俄烏戰爭迄今已逾週年，儘管現代戰場大量運用無人載具及先進武器裝備，野戰砲兵地面火力仍具主導功能，惟今日砲兵面對的戰場環境與過去大不相同，諸如反火力雷達普及、戰技術射擊指揮資訊化、定位定向器及彈道計算機高度發展等因素，均威脅傳統砲兵的戰場存活性。
- 二、國軍砲兵持續精進各項裝備及訓練，惟在未獲得先進武器裝備前，「接戰過程耗時冗長」、「火砲需佔領同一陣地」、「精準射擊仍需仰賴測地成果」為需要優先精進之重點。筆者針對砲兵「測地」面向，思考傳統技術如何轉型，藉由導入民用工程及地籍測量的主流技術「衛星即時動態測量」（Real Time Kinematic, RTK），希能解決現行砲兵測地作業精確卻耗時冗長的問題。
- 三、衛星即時動態測量（RTK），係時下諸多衛星測量的方法之一，RTK 通常由一個基準站、數個移動站及無線電通訊設備組成。作業時，須於精確已知點上設置一部接收機作為「基準站」，持續接收衛星訊號；餘接收機設定為「移動站」，當移動站位置變換時，需保持接收訊號不中斷，及至少同時接收 4 顆衛星訊號，以利即時獲得求點座標與高程。
- 四、本研究旨在研究 RTK 如何運用於砲兵測地，筆者仍須強調，導入民用科技，並非捨棄現有傳統作業，主要希冀於創新與傳統間取得平衡，在現有測地基礎增列 RTK 作業，當衛星及網路條件許可時，儘可能使用衛星測量縮短作業時間、增加作業能量；另外，如衛星及網路受限或干擾，則立即轉用定位定向系統或傳統測地因應，期使兩者長短相符、密切配合、發揮綜效。
- 五、本研究旨在以「測地」立場，提出對砲兵建軍備戰之建言，審視國軍砲兵現況，仍有諸多提升精進的空間，期待本研究能拋磚引玉、啟發更多共鳴，並鼓勵國軍成員勇於面對創新與變革。

關鍵詞：衛星即時動態測量（Real Time Kinematic, RTK）、M2 方向盤（Aiming Circle）、全站儀（Total Station）、導線法（Traverse Survey）、載波相位測量

前言

俄烏戰爭迄今已逾週年，儘管現代戰場大量運用無人載具、先進武器裝備，亦未改變野戰砲兵於地面火力的主要地位，惟今日砲兵面對的戰場環境與過去大不相同，反火力雷達的普及、戰（技）術射擊指揮的資訊化、先進的定位定向器及彈道計算機，均使傳統砲兵的戰場存活面臨威脅。

國軍砲兵持續精進各項裝備及訓練，在未獲得先進武器裝備前，「接戰過程耗時冗長」、「火砲需佔領同一陣地」、「精準射擊仍需仰賴測地成果」等，¹為需要改進之重點。基此，各級幹部應該積極思考如何在現有的火砲基礎下，有限度地「縮短射擊準備時間」、「分散配置提升戰場存活」與「精進測地作業的速度與精度」，方能滿足現代化戰爭需求。

參考美軍準則內容，目前美軍砲兵營測量班編制僅 2 員，有關「測量班裁減」議題一度浮現。我們必須思考，國軍現有管式砲兵因火砲性能有待提升且無自主定位定向能力，加上國內砲兵專屬訓場量少，故仍需仰賴測量班提供測地成果。如未考量國軍與美軍裝備性能及主、客觀條件差異，貿然裁減測量班，恐對砲兵戰力及射擊安全造成影響，實宜審慎評估。

砲兵測地為軍事與民用相通之專業領域，本研究旨針對砲兵「測地」面向，思考傳統技術如何轉型，藉由導入民用工程、地籍測量的主流技術－衛星即時動態測量 (Real Time Kinematic, RTK)，希能解決現行砲兵測地作業精確卻耗時冗長的問題，在現有自動化 (傳統) 測地的基礎下，將「衛星測量」運用於各級砲兵測地，達成「快打快撤」、「精準射擊」之目標，以符合現代化戰爭需求。本研究採「文獻回顧法」，首先探討歷年研究中，與本主題相關書籍、文獻及網路資訊，作為策進、執行與作業之參據；接續，說明本研究運用構想及對砲兵測地之影響；最後，提出綜合結論與建議。

衛星即時動態測量 (Real Time Kinematic, RTK)

衛星測量之定位原理，係利用衛星接收器同時接收 3 顆以上衛星所發射之無線電訊號 (載波相位)，測量出各衛星至接收器之距離 (空間向量)，及量測距離瞬間各衛星之位置，並以各衛星之位置為測站，向接收器作方向交會，即得接收器之位置。²

衛星即時動態測量 (以下簡稱 RTK)，係時下諸多衛星測量的方法之一，RTK 通常由一個基準站、數個移動站及無線電通訊設備組成。作業時，須於精確已知點上設置一部接收機作為「基準站」，持續接收衛星訊號；餘接收機設定為「移動站」，當移動站位置變換時，須保持接收訊號不中斷，及至少同時接收 4 顆衛星訊號，以利即時獲得求點座標與高程。³

RTK 依其裝備組成及作業模式進程，可區分為傳統型、改良型與網路型等三階段，說明如次。

1 揭仲，〈M109A6 生變，國軍砲兵現代化重挫〉，<http://www.lepenseur.com.tw/article/1080>，民國 112 年 5 月 9 日。

2 施永富，《測量學》(臺北：三民書局，民國 97 年 06 月)，頁 367。

3 同註 2，頁 371。

一、初期－傳統型 RTK

傳統型 RTK，又稱單主站式 RTK，⁴裝備組成通常區分為衛星天線、手持控制器、接收器（發送端）、接收器（接收端）等四部分，各部組成間由數據纜線（有線）連結；須具備 2 套裝備方可作業，一套為基準站（通常架設於精確已知點），另一套為移動站，基準站與移動站間僅能使用數據纜線（有線）連結，故兩者間通常受限於纜線長度，無法相距過遠，缺乏便利性（圖 1）。

傳統單主站式即時動態定位技術最大瓶頸，在於主站系統誤差改正參數之有效作用距離，因 GNSS 定位誤差的空間相關性會隨著基準站與移動站距離的增加，⁵逐漸失去線性誤差模型有效性，因此，在較長距離的情況下（一般大於 10 公里），經過差分計算處理後之觀測數據仍然含有很大的系統誤差，尤其是電離層的殘餘誤差，將導致週波未定值（Ambiguity）求解的困難，甚至無法求解，以致於造成定位成果不佳。⁶

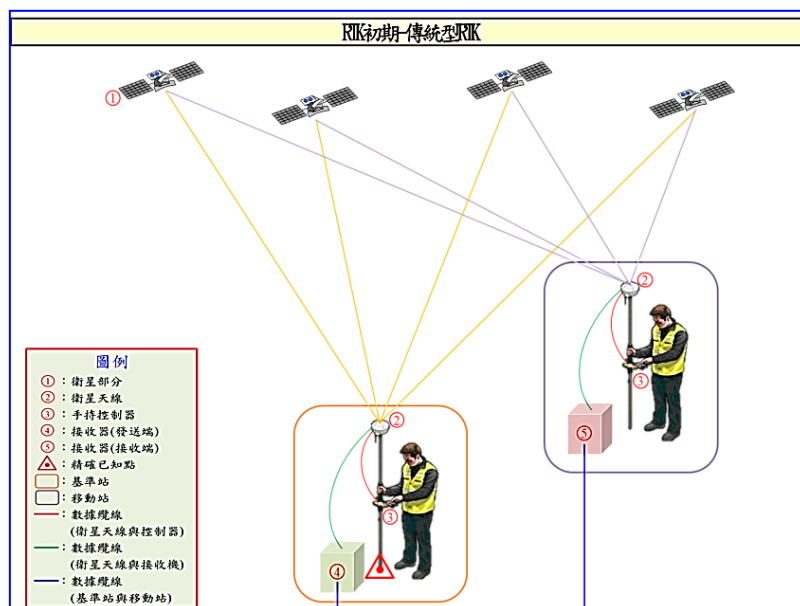


圖 1 傳統型 RTK 示意圖

資料來源：參考施永富，《測量學》（臺北：三民書局，民國 97 年 06 月），頁 364~376 繪製。

二、中期－改良型 RTK

以傳統單主站式 RTK 為基準實施改良，稱為改良型 RTK，裝備組成通常區分為衛星接收器（已將傳統衛星天線與接收器整合為一）、手持控制器、無線電模組等三部分，控制器與接收器間改採藍芽（無線）連線，基準站與移動站間由原數據纜線（有線）改為以無線電（無線）廣播，大幅提升作業便利性，惟仍須

4 內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

5 GNSS 為全球衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）之簡稱。

6 同註 4。

具備 2 套器材方可作業 (基準站與移動站)。兩者間雖較傳統數據纜線傳輸距離提升, 但仍受限於無線電設備廣播距離、作業環境等因素 (圖 2)。

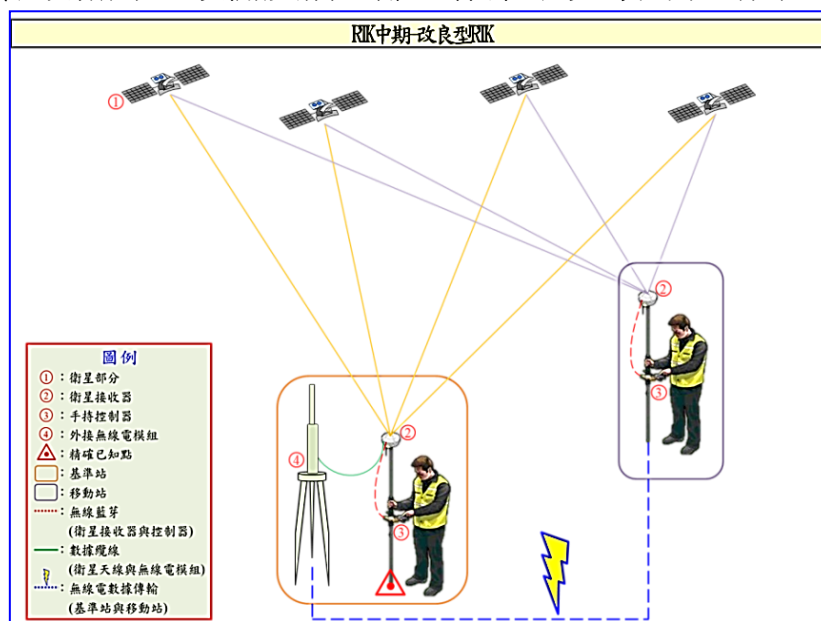


圖 2 改良型 RTK 示意圖

資料來源：參考施永富，《測量學》(臺北：三民書局，民國 97 年 06 月)，頁 364~376 繪製。

三、現況 - 網路型 RTK (e-GNSS)

網路型 RTK, 也稱為 e-GNSS, 虛擬基準站 VBS-RTK (Virtual Base Station, VBS) 為其核心技術, 除保留改良型 RTK (無線電) 作業優勢外, 新增網路功能, 可藉由連結專屬網路帳號 (我國由內政部國土測繪中心提供), 提供虛擬基準站 (VBS) 及修正訊號服務, 以獲得公分等級之定位精度。⁷

e-GNSS 為內政部國土測繪中心建構之高精度電子化全球衛星即時動態定位系統名稱, 基本定義為架構於「網際網路通訊」及「無線數據傳輸技術」之衛星即時動態定位系統, 其中字母「e」係具有「電子化」及「網路化」之含意, GNSS 代表著多星系的衛星導航定位系統 (GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS)。⁸ 其核心定位技術, 係採用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網絡 (圖 3), 評估基準站涵蓋地區之定位誤差, 再配合最鄰近的實體基準站觀測資料, 產製一個虛擬的基準站做為 RTK 主站, 所以移動站並不是接收某個實體基準站之實際觀測資料, 而是經過誤差修正後的虛擬觀測數據。換言之, RTK 主站是經過人為產製的虛擬化基準站, 其意義如同在移動站附近架設實體基準站一樣, 故稱之為虛擬基準站即時動態定位技術, 簡稱 VBS-RTK。⁹

⁷ 同註 4。

⁸ 同註 4, 即美國 GPS 全球定位系統+俄國 GLONASS 格洛納斯系統+歐盟 Galileo 伽利略定位系統+中共 Bei Dou 北斗定位系統+日本 QZSS 準天頂衛星導航系統。

⁹ 同註 4。

網路型 RTK (e - GNSS)，通常可依有、無網路可供運用，區分兩種作業方式，說明如次。

(一) 有網路：主要區分衛星接收器、手持控制器等二部分，通常以 4G 網路連接至內政部國土測繪中心 e-GNSS 帳號 (e - GNSS 收費標準如表 1)，¹⁰ 故僅需具備 1 套器材即可實施作業。網路型 RTK 於網路及衛星條件良好之環境下，作業迅速且定位精度極高，可達公分等級 (圖 4)。惟運用於作戰用途時，仍須考量其受干擾、遭敵竊取之可能性，不可過度依賴。

(二) 無網路：網路型 RTK 通常保留改良型 RTK 之無線電功能，遇無網路情況時，可運用 2 套設備，以內建無線電 (通常為 1~2 瓦功率)，或加購外接無線電模組 (可達 35 瓦功率)，一套置於已知點作為基準站，另一套作為移動站，基準站以無線電廣播修正訊號予移動站，如基準站位置及座標足夠精確，亦能獲得公分等級之定位精度 (圖 5)。

四、小結

本研究將網路型 RTK (同時兼具改良型 RTK 之無線電功能) 列為主要研究項目，當網路及衛星訊號良好下，以連接內政部國土測繪中心 e - GNSS 帳號為優先；如無網路可用時，則立即改採基準站以無線電廣播修正訊號，供移動站實施定位即時差分修正，各種不同類型 RTK 分析比較如表 2。

RTK 定位精度極佳，當衛星及網路訊號良好，且無受環境干擾下，定位精度小於 5 公分 (RTK 與衛星測量之差異如表 3)，惟 RTK 定位成果受衛星、網路訊號及作業環境影響甚鉅，筆者將針對 RTK 如何運用於砲兵測地及作業限制，提出研析。

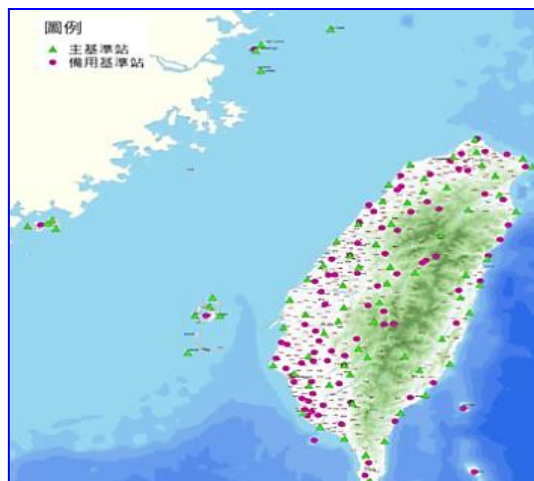


圖 3 內政部 e - GNSS 基準站於本、外島分布示意圖

資料來源：內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

¹⁰ 同註 4。

表 1 內政部國土測繪中心 e - GNSS 收費標準表

規 費 徵 收 項 目	計 費 單 位	收費標準（新臺幣元）
會員許可	每 5 年	2,000 元
VBS - RTK	每組/每日	300 元
DGNSS	每組/每日	100 元
衛星觀測數值資料檔	每站/每日	45 元
衛星觀測資料後處理服務	每點	30 元

資料來源：內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

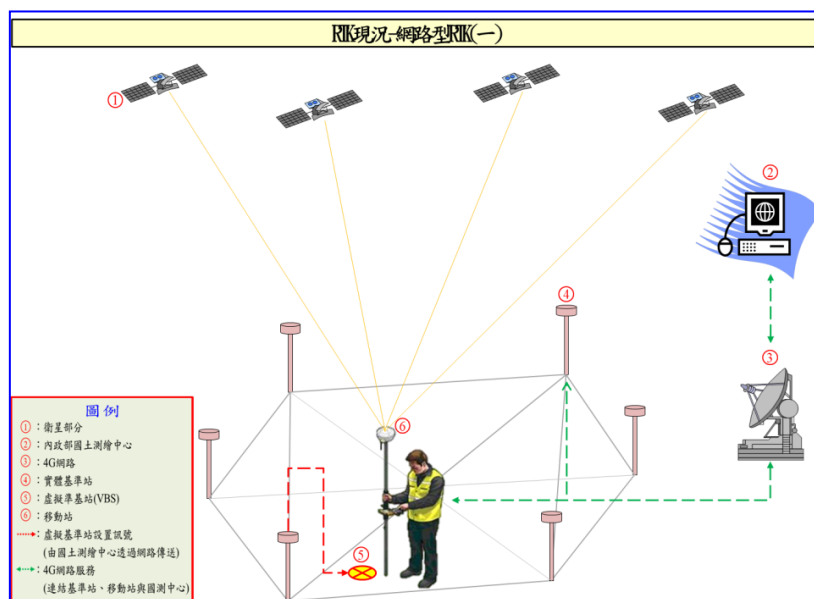


圖 4 網路型 RTK（有網路運用）示意

資料來源：參考內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

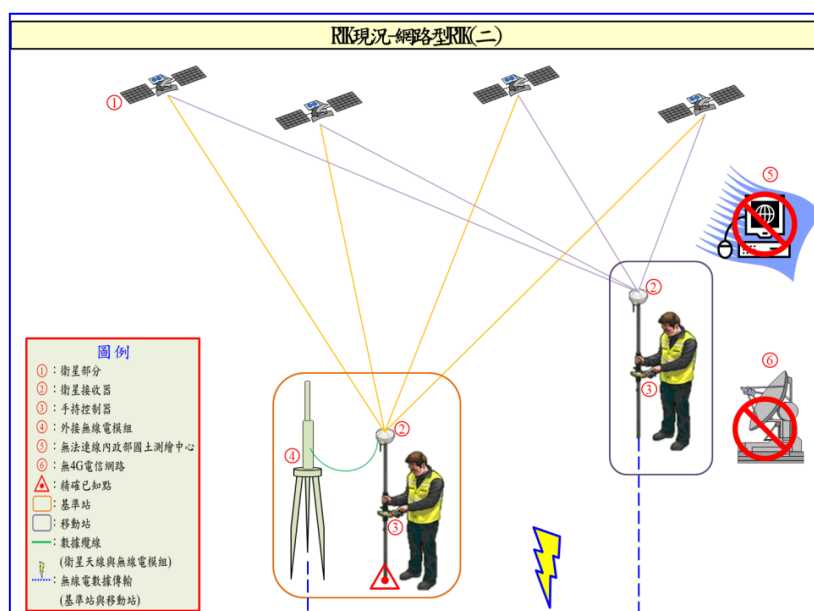


圖 5 網路型 RTK（無網路運用）示意

資料來源：參考內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

表 2 各種不同類型 RTK 分析比較表

階段	名稱	裝備組成	作業模式		備考
			連線方式 (訊號傳輸)	作業條件 (衛星訊號良好)	
初期 80 年	傳統型 RTK	■由 2 套設備組成： 手持控制器*2 接收器(發送端)*1 接收器(接收端)*1 衛星天線*2	■數據纜線 (有線)	■需使用精確已知點	
中期 90 年	改良型 RTK	■由 2 套設備組成： 手持控制器*2 衛星接收器*2 無線電模組*1	■無線藍芽 ■無線電	■需使用精確已知點	
現況 98 年迄今	網路型 RTK	■有網路(僅需 1 套設備)： 手持控制器*1 衛星接收器*1 ■無網路(至少具備 2 套設備)： 手持控制器*2 衛星接收器*2 無線電模組*1(非必要)	■4G 網際網路 ■無線藍芽 ■無線電	■網路為主 (連線國測中心，付費使用) ■無線電為輔 (需使用精確已知點)	兼具網路與改良型 RTK 功能，故建議優先納入砲兵測地運用

資料來源：筆者自製。

表 3 RTK 與衛星測量之差異比較

項次	區分	衛星即時動態測量(RTK)	衛星測量
作業環境		對空通視良好、遠離電磁波源	對空通視良好、遠離電磁波源
定位原理		空間後方交會法	空間後方交會法
差分修正訊號		需要	非必須
付費服務		需要	無
定位所需時間		即時	即時
網路需求		需要(網路型 RTK)	非必須
定位精度		極高(可達公分等級)	高(約 1~3 公尺)
定向精度		2 密位內(50 公尺地線)	10~50 密位
高程誤差		通常為定位誤差之 2~3 倍	通常為定位誤差之 2~3 倍
可否作為定向用途		可作為定向用途	不建議作為定向用途
敵反制作為		運用干擾、欺騙、遮蔽手段	運用干擾、欺騙、遮蔽手段
備考		※兩者間最大差異為定位(定向)精度。	

資料來源：筆者自製。

現行砲兵測地作業型態

現行國軍砲兵營測地作業，區分為「有定位定向系統」、「無定位定向系統」兩種作業型態，¹¹說明如次。

一、「有」定位定向系統測地作業

有定位定向系統測地，營測量班區分測量官、系統組、測量組、砲兵連測量班，運用定位定向系統、測距經緯儀、M2 方向盤同時作業，作業後將測地成果紙本繳交至射擊指揮所調製測地射擊圖，所需時間約 1~2 小時（圖 6）。

二、「無」定位定向系統測地作業（即傳統測地）

無定位定向系統測地，營測量班區分測量官、前地組、連接組、陣地組，運用測距經緯儀、M2 方向盤同時作業，作業後將測地成果紙本繳交至射擊指揮所調製測地射擊圖，所需時間約 2~2.5 小時（圖 7）。

三、小結

由近期俄烏戰爭中，烏克蘭方面影片顯示，烏國砲兵發射第一枚砲彈後約 30 秒，俄軍第一發反擊的砲火力便到達。¹²以國軍現行砲兵營全部測地所需時間約為 1~2 小時；即便於時間急迫下，執行速度較快、精度略差之「應急測地」，仍無法滿足現代化砲兵快速變換陣地需求，故現階段砲兵營測地有精進空間與必要。有鑑於此，本研究提出於現有測地作業型態之外，新增第三種測地模式「RTK 衛星測量」，創新導入民用測量的主流技術，運用於野戰砲兵平時與戰時測地，期能發揮 RTK 快速、精確之優勢，大幅縮短測地時間、提升作業能量。

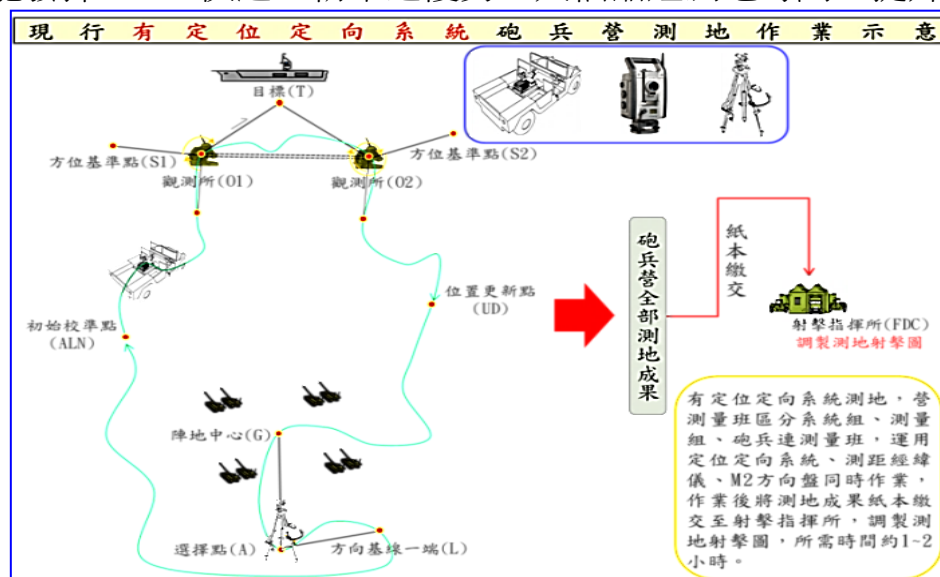


圖 6 有定位定向系統砲兵營測地作業示意

資料來源：筆者自製。

11 《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 111 年 10 月），頁 7-514。

12 全球防衛雜誌，〈俄烏戰場的攻擊主力兵種：永遠不停止追求打得更遠、更準確的砲兵〉，<http://opinion.udn.com/opinion/story/120902/6377582>，民國 112 年 05 月 09 日。

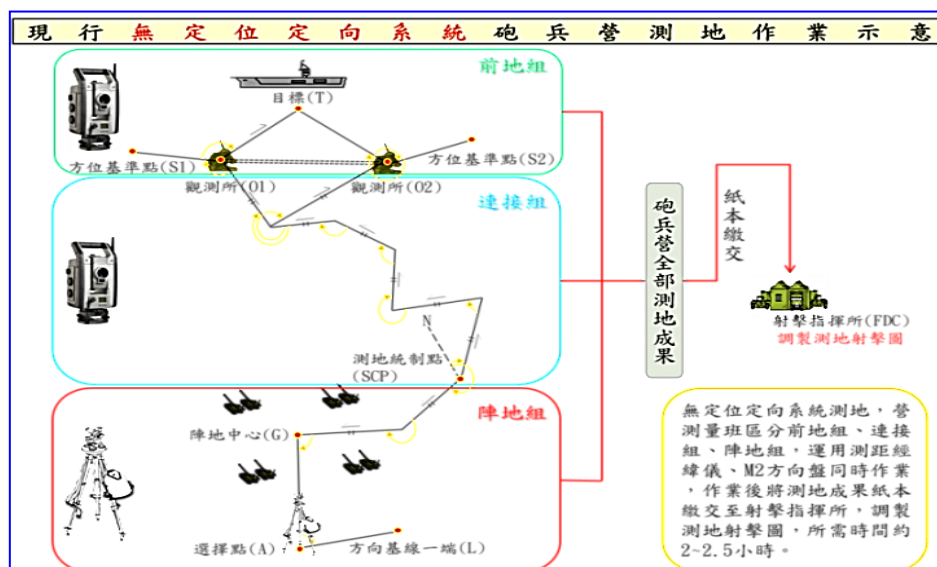


圖 7 無定位定向系統砲兵營測地作業示意

資料來源：筆者自製。

衛星即時動態測量 (RTK) 運用於砲兵測地之作業構想

本研究旨在探討 RTK 如何運用於砲兵測地，筆者仍須強調，導入民用科技並非捨棄現有傳統作業，主要希冀於創新與傳統間取得平衡，在現有測地基礎上增列 RTK 作業，當衛星及網路條件許可時，儘可能使用衛星測量縮短作業時間、增加作業能量（將聯兵營迫砲火力納入測地統制）；如衛星及網路受限（干擾），則立即轉用「定位定向系統」或「傳統測地」因應，期使兩者長短相符、密切配合、發揮綜效。RTK 衛星測量與現行測地作業型態關係如圖 8 所示。

本節針對「RTK 衛星測量」之運用方式與編組、測地任務職掌與備案、與現行砲兵營測地作業差異比較、作業風險與因應等內容，說明如次。

一、運用方式與編組構想

假設未來砲兵營編制數套衛星即時動態測量 (RTK)，並依能否連結 4G 網際網路（衛星訊號及作業環境良好情況下），區分為「有網路」與「無網路」兩種作業方式，說明如次。

（一）有網路 RTK 作業：獲得 RTK 後（有網路時），營測量班區分測量官、定位定向系統組、前地 RTK 組（區分 2 組）、陣地 RTK 組（區分 3 組），運用定位定向系統搭配 RTK 同時作業，定位定向系統主要建立檢核點（C）與方位線（C'），提供 RTK 執行位置檢核，作業後將測地成果以語音回報指揮所，調製測地射擊圖，所需時間僅 10~15 分鐘（不含路程時間，作業示意如圖 9）。

（二）無網路 RTK 作業：獲得 RTK 後（無網路時），營測量班區分測量官、定位定向系統組、前地 RTK 組（區分 2 組）、陣地 RTK 組（區分 3 組），運用定位定向系統搭配 RTK 同時作業，定位定向系統主要建立基準點（CP），提供

1 套 RTK 作為「基準站」使用，餘 4 套 RTK 設定為「移動站」，基準站以無線電傳送修正訊號予移動站（距離 3~6 公里），待完成作業後，將測地成果以語音回報指揮所，調製測地射擊圖，所需時間僅 20~30 分鐘（不含路程時間，作業示意如圖 10）。

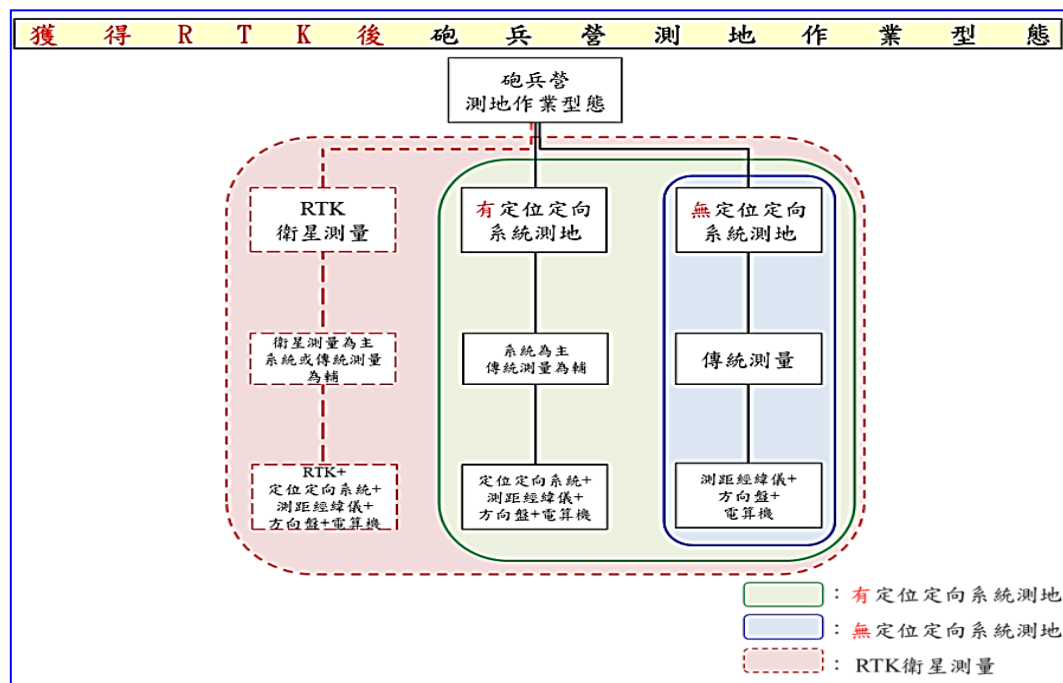


圖 8 RTK 衛星測量與現行測地作業型態關係示意

資料來源：筆者自製。

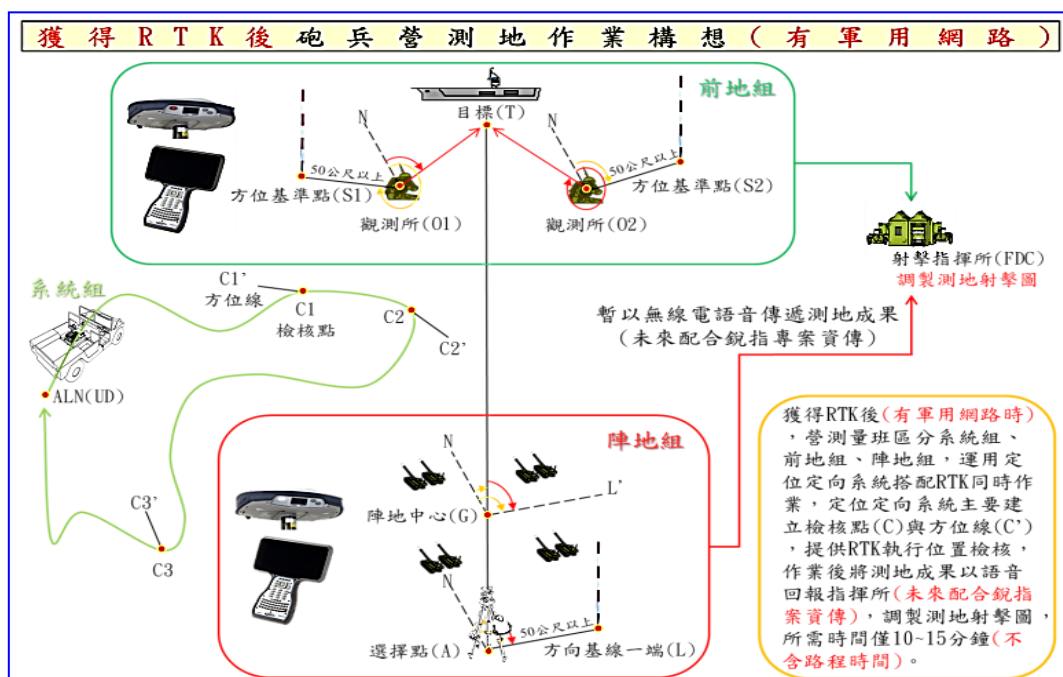


圖 9 有網路時 RTK 衛星測量砲兵營測地作業示意

資料來源：筆者自製。

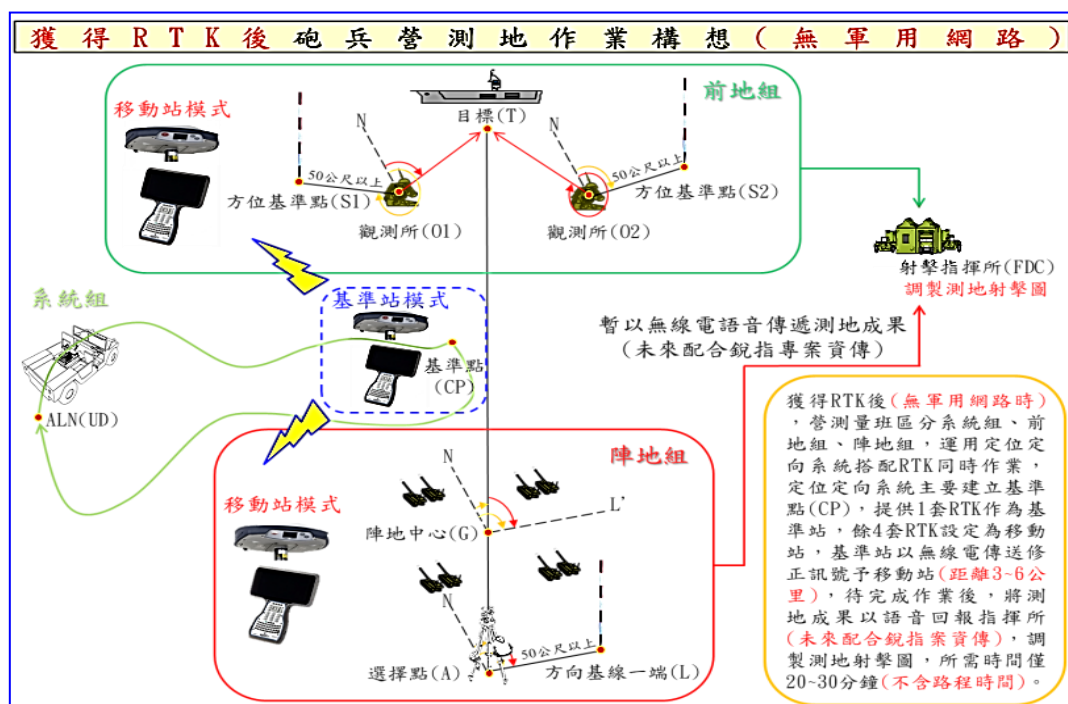


圖 10 無網路時 RTK 衛星測量砲兵營測地作業示意

資料來源：筆者自製。

二、測地任務職掌構想與備案

獲得 RTK 後，砲兵營測量班各作業組測地任務職掌，及遇衛星訊號不佳（受干擾）時之備援方案，說明如次。

（一）營測量官

1. 負責全營測量人員訓練、裝備保養、測地任務之計畫、協調、執行與督導。
2. 於作業區內偵選可用已知點（衛控點或測地基準點），供定位定向系統初始校準運用。
3. 作業前，完成測地計畫撰擬；作業中，督導營測量班全般作業事宜，特需留意衛星訊號遭敵干擾或竄改，如有疑慮，應立即停用衛星測量，並變更作業型態；作業後，實施成果檢核及驗證後，繳交至射擊單位及測地資料中心。

（二）定位定向系統組

由營部連測量班編成，區分 1 組 3 員，攜行測量裝備為定位定向系統及測距經緯儀。當衛星訊號良好時，主要任務為前往觀測所、各砲陣地周邊，優先建立檢核點供 RTK 實施定位檢核，避免遭敵干擾或竄改定位資訊；如衛星訊號受干擾時，則立即轉換為定位定向系統作業型態，接續完成任務（「定位定向系統組」作業職掌與備案如表 4）。

（三）前地 RTK 一組

由營部連測量班編成，區分 1 組 2 員，攜行測量裝備為 RTK 及測距經緯儀。當衛星訊號良好時，主要任務為執行主觀測所及方位基準點定位作業，並計算方

位基準點方位角，提供觀測官實施雷觀機定位（定向）作業，俾利迅速標定射擊目標位置，待獲得射擊目標諸元後，以無線電回報陣地 RTK 組及射擊指揮所；如衛星訊號受干擾時，則與「前地 RTK 二組」合併為「前地組」（使用測距經緯儀），立即轉換為定位定向系統（或傳統測地）作業型態，接續完成任務（「前地 RTK 一組」作業職掌與備案如表 5）。

（四）前地 RTK 二組

由營部連測量班編成，區分 1 組 2 員，攜行測量裝備為 RTK 及 360 度（單）稜鏡組。當衛星訊號良好時，主要任務為執行輔助觀測所及方位基準點定位作業，並計算方位基準點方位角，提供觀測官實施雷觀機定位（定向）作業，俾利迅速標定射擊目標位置，待獲得射擊目標諸元後，以無線電回報陣地 RTK 組及射擊指揮所；如衛星訊號受干擾時，則與「前地 RTK 一組」合併為「前地組」（使用測距經緯儀），立即轉換為定位定向系統（或傳統測地）作業型態，接續完成任務（「前地 RTK 二組」作業職掌與備案如表 6）。

（五）陣地 RTK 組

由各砲兵連測量班編成，區分 3 組每組 4 員，攜行測量裝備為 RTK 及 M2 方向盤。當衛星訊號良好時，主要任務為執行各砲兵連（排）陣地測地，並計算方向基線方位角，待前地 RTK 組回報射擊目標諸元後，計算射向方位角及方向基角，提供射擊指揮所調製測地射擊圖，俾利迅速發揚火力；如衛星訊號受干擾時，則立即更換裝備為 M2 方向盤，轉換為定位定向系統（或傳統測地）作業型態，接續完成任務（「陣地 RTK 組」作業職掌與備案如表 7）。

表 4 獲得 RTK 後「定位定向系統組」作業職掌構想與備案

獲得 RTK 後「定位定向系統組」作業職掌構想與備案			
職務	區分	測量裝備	RTK 可用
系統操作手		●ULISS-30 定位定向系統 ●測地電算機 ●無線電機 VHF	●負責安裝及操作定位定向系統，並於觀測所、陣地周邊偵察選定檢核點及方位線。 ●完成檢核點及方位線設置。
			●負責安裝及操作定位定向系統，並於觀測所、陣地周邊偵察選定測地基準點及方位線。 ●完成測地基準點及方位線設置。
測手		●S9 測距經緯儀 ●測地電算機	●協助系統操作手執行調諧校正、放射測量、方位轉換等作業。
			●協助系統操作手執行調諧校正、放射測量、方位轉換等作業。

		●於觀測所、陣地周邊完成檢核點與方位線測定，供 RTK 執行定位檢核。	●於觀測所、陣地周邊迅速建立測地基準點及方位線，俾利前地、陣地組執行作業。
駕駛	●1-1/4T 悍馬車	擔任系統車駕駛。	同左。
備考	※遇 RTK 失效時，測量班所需裝備及作業職掌，以紅色字體表示。 ※遇 RTK 可用時，主要任務為前往觀測所、各砲陣地周邊，優先建立檢核點供 RTK 實施定位檢核，避免遭敵干擾或竄改定位資訊。 ※遇 RTK 失效時，則立即轉換為定位定向系統作業型態，接續完成任務。		

表 5 獲得 RTK 後「前地 RTK 一組」作業職掌構想與備案

獲得 RTK 後「前地 RTK 一組」作業職掌構想與備案				
職務區分		測量裝備	RTK 可用	RTK 失效
小組長兼 RTK 操作手 (前地組組長)		●RTK 手持控制器 ●外接無線電模組 ●無線電機 VHF	●負全組成敗之責，偕同觀通組偵察觀測所及檢驗點（目標）位置，並決定方位基準點。 ●負責整置及操作 RTK 並完成相關連線設定。依序測定主觀測所、方位基準點座標及標高。	●擔任前地組組長，負全組成敗之責，偕同觀通組偵察觀測所及檢驗點（目標）位置，並決定方位基準點。
衛星接收器手 (測手)		●衛星接收器 ●測地電算機 ●S9 測距經緯儀	●負責協助小組長兼 RTK 操作手架設衛星接收器。依序於主觀測所、方位基準點架設衛星接收器。 ●計算方位基準點方位角。	●擔任測手，負責整置及操作 S9 測距經緯儀，並由系統組建立之測地基準點起測，迅速完成前地測地。

備考	※遇 RTK 失效時，測量班所需裝備及作業職掌，以紅色字體表示。 ※遇 RTK 失效時，前地 RTK 一、二組合併為「前地組」，搭配定位定向系統使用測距經緯儀作業。
----	--

表 6 獲得 RTK 後「前地 RTK 二組」作業職掌構想與備案

獲得 RTK 後「前地 RTK 二組」作業職掌構想與備案				
職務	區分	測 量 裝 備	R T K 可 用	R T K 失 效
小組長兼 RTK 操作手 (反射器手)		●RTK 手持控制器 ●外接無線電模組 ●無線電機 VHF ●360 度稜鏡組	●負全組成敗之責，偕同觀通組偵察觀測所及檢驗點（目標）位置，並決定方位基準點。 ●負責整置及操作 RTK 並完成相關連線設定。依序測定輔助觀測所、方位基準點座標及標高。	●擔任反射器手，負責偵察、選定測站，並整置 360 度稜鏡，供測手執行作業。
衛星接收器手 (標桿手兼計算手)		●衛星接收器 ●測地電算機 ●單稜鏡組	●負責協助小組長兼 RTK 操作手架設衛星接收器。依序於輔助觀測所、方位基準點架設衛星接收器。 ●計算方位基準點方位角。	●擔任標桿手兼計算手，負責於後視點整置單稜鏡，供測手實施覘視，並完成測地成果計算。
備考		※遇 RTK 失效時，測量班所需裝備及作業職掌，以紅色字體表示。 ※遇 RTK 失效時，前地 RTK 一、二組合併為「前地組」，搭配定位定向系統使用測距經緯儀作業。		

表 7 獲得 RTK 後「陣地 RTK 組」作業職掌構想與備案

獲得 RTK 後「陣地 RTK 組」作業職掌構想與備案				
職務	區分	測量裝備	RTK 可用	RTK 失效
小組長 (陣地組組長)		●外接無線電模組 ●無線電機 VHF	●負全組成敗之責，偕同挺進班偵察連(排)陣地中	●擔任陣地組組長，負全組成敗之責，偕同挺進班偵

		心、選擇點，並決定基線一端。	察連（排）陣地中心、選擇點，並決定基線一端位置。
RTK 操作手 （測手兼紀錄手）	●RTK 手持控制器 ●M2 方向盤	●負責整置及操作 RTK 並完成相關連線設定。依序測定連（排）陣地中心、選擇點、基線一端座標及標高。	●擔任 M2 方向盤測手，負責整置及操作器材，並將測量數值翔實紀錄。
衛星接收器手 （前標桿手）	●衛星接收器 ●標桿 ●捲尺	●協助操作手依序於連（排）陣地中心、選擇點、基線一端架設衛星接收器。	●擔任前標桿手，負責偵察、選定測站位置，並豎立標桿。
計算兼紀錄手 （後標桿手）	●測地電算機 ●標桿 ●測針	●翔實紀錄 RTK 測量數據，並完成射向方位角、方向基線方位角及方向基角計算。	●擔任後標桿手，於後視點豎立標桿，供測手實施覘視，並完成測地成果計算。
備考	※遇 RTK 失效時，測量班所需裝備及作業職掌，以紅色字體表示。 ※遇 RTK 失效時，陣地 RTK 組立即轉換為「陣地組」，搭配定位定向系統使用 M2 方向盤作業。		

資料來源：表 4、表 5、表 6、表 7 為筆者自製。

三、RTK 衛星測量與現行砲兵營測地作業差異比較

為確保 RTK 衛星測量精度符合砲兵射擊需求，筆者運用砲訓部現有 SPECTRA PRECISION SP-80（網路型 RTK）搭配 Ranger-7 手持控制器（圖 11），於民國 112 年 1~4 月期間，針對 RTK 定位（定向）完成三階段實驗測試，惟礙於文章篇幅限制，故僅針對實驗結果提出說明，經實測驗證成果，RTK 單點定位時間可於 1~3 分鐘內完成（含裝備開機與設定），其座標精度平均<5 公分圓形公算偏差；標高精度平均小於<1 公尺公算偏差；方位誤差平均<2 密位（運用 50 公尺以上地線，定向作業示意如圖 12）。RTK 衛星測量與現行砲兵營測地作業時間、精度差異如表 8。

據實驗結果推論，RTK 衛星測量運用於砲兵測地，係一具體可行之方案，可有效縮短砲兵營測地時間、提升作業能量。在國軍砲兵尚未換裝具備「自主定位定向」之新式火砲前，可作為砲兵測地定位（定向）之輔助工具。對於砲兵達成「快打快徹」、「精準射擊」、「提升戰場存活」等目標將有所助益。



圖 11 SPECTRA PRECISION SP – 80（網路型 RTK）與 Ranger – 7 手持控制器

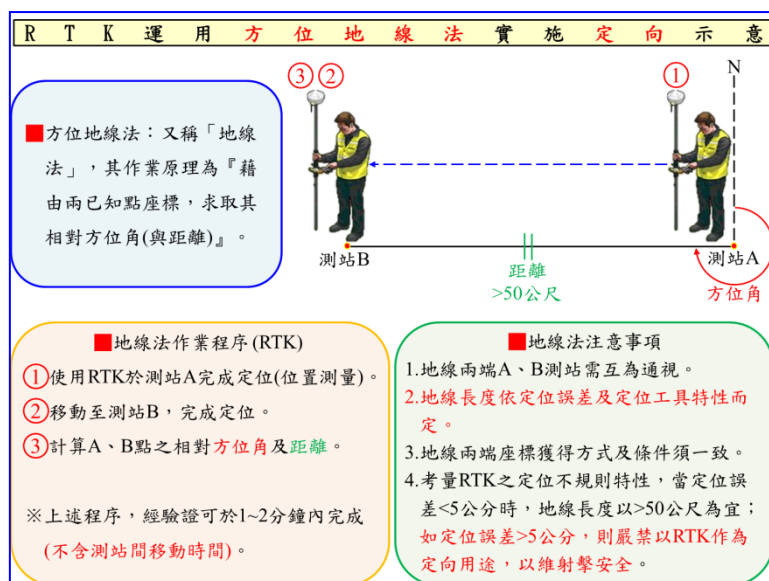


圖 12 RTK 運用「地線法」定向作業示意

資料來源：圖 14 及圖 15 筆者自製。

表 8 RTK 衛星測量與現行砲兵營測地作業時間、精度差異比較表

RTK 衛星測量與現行砲兵營測地作業時間、精度差異比較表					
區分 型態	作業 時間	定位精度		定向 誤差	備考
		座標	標高		
RTK 衛星測量	有網路 10~15 分 無網路 20~30 分 (衛星訊 號良好 - 固定解， 不含路程 時間) ¹³	<5 公分 CEP	<1 公尺 PE	2 密位內	RTK 單點定 位時間平均 可於 1~3 分 鐘內完成(含 裝備開機與 設定)

¹³係 RTK 衛星測量之解算方式，載波相位測量時，週波未定值因符合測量條件，可解算至整數值，即稱為「固

「有」 定位定向 系統	1~2 小時	<7 公尺 CEP	<3 公尺 PE	2 密位內	使用 10 分鐘 零速更新
「無」 定位定向 系統	全部測地 2~2.5 小時 應急測地 1 小時內	全部測地 >1/1000 應急測地 >1/500	全部測地 ±2 公尺 應急測地 ±4 公尺	2 密位內	區分全部測 地與應急測 地
說明	●RTK 衛星測量及有定位定向系統測地無「全部測地」與「應急測地」之分。●CEP：圓形公算偏差。●PE：公算偏差				

資料來源：參考《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 111 年 10 月），頁 7 - 526。

四、RTK 衛星測量之風險與因應

不可否認的，衛星測量具備簡便、低廉與普及化等優勢，但從近期的俄烏戰爭中，也不難發現其「受制於人」、「易受干擾」等弱點與限制。¹⁴所以，在享用其便利、快速與高精確度同時，亦不能不將其可能風險列入全般考量。基此，為使國軍部隊預知風險、及早因應，並確保任務遂行，本節綜整 RTK 衛星測量作業可能風險，及其限制與因應之道，說明如次；另將 RTK 與現行砲兵營測地作業特點、限制比較如表 9。

（一）受網路、衛星測量條件限制風險

1.風險：RTK 衛星測量之作業精度受對空通視影響甚鉅（仰角 15 度以上須無對空障礙）；如作業環境內鄰近廣播電臺、電視轉播臺、雷達站、微波站、高壓電及其他電磁波源，亦可能對 RTK 造成干擾。¹⁵另網路型 RTK 主要係透過 4G 網路連結國土測繪中心 e - GNSS 帳號，以取得即時差分定位修正訊號；如無網路可用時，恐對其功能造成限制，故須自行改由基準站廣播修正訊號，供移動站使用。

2.因應：RTK 衛星測量應慎選有利作業環境，儘可能遠離電磁波源及確保近距離內無電磁波反射物體，以減低「多路徑效應」之影響。¹⁶如作業區無法對空通視時（例如觀測所為減少敵空中威脅而開設於高樓夾層），可善用測距經緯儀（多功能雷觀機）內建之「自由測站」（Free Station）功能，¹⁷未來砲兵連計畫採購的新型測距經緯儀，亦應將此功能納入，以利截長補短、充分發揮「現役裝備」與「RTK」之效能，快速獲得砲兵定位（定向）所需諸元。此外，RTK 除連

定解(fix)：如週波未定值僅能解算至小數部分，即週波脫落，稱為「浮點解(float)」。

14耿國慶，〈析論「全球定位系統」(GPS)〉《砲兵季刊》（臺南），第 166 期，砲訓部，民國 103 年 09 月，頁 23。

15同註 2，頁 373。

16「多路徑效應」係指地表附近反射物，造成衛星無線電波產生多重反射，所引起之定位誤差。

17「自由測站（Free Station）」即「2PT 反交會法」，為測距經緯儀（多功能雷觀機）主要功能之一，係將儀器設置於未知點，並對兩個（含）以上已知點執行「邊角觀測」，反求測站（即未知點）座標、高程之方法。

結 4G 網路外，應同時具備「基準站」與「移動站」模式，透過內建或外接無線電模組，將基準站提供之修正訊號，透過無線電傳遞予移動站使用，惟基準站選定時應儘可能設置於「制高點」，以減少地形、地障對無線電傳遞之影響。

（二）缺乏自主性、受制於人風險

1.風險：「自主性」為軍事運用極重要之考慮因素。以美國 GPS 為例，基於軍事與經濟之雙重考量，美國國會與國防部制定一系列限制政策，堅持對 GPS 行使控制權力，即使目前暫時關閉 SA，¹⁸惟當美國安全遭受威脅時，美國防部仍將保留關閉部分區域 GPS 信號之權力，且 GPS 存在「始終受制於衛星發射國與必須依賴接收機、衛星間完整信號」兩項致命傷。¹⁹就中共為例，其為擺脫美國 GPS 的箝制與自我掌控軍機與飛彈之定位精度，已自力發展「北斗衛星導航系統」；²⁰而日本近期亦規劃升級國內自建的準天頂衛星導航系統（Quasi-Zenith Satellite System, QZSS），將原布建的衛星數量由 4 顆提升至 11 顆，使國內用戶不需仰賴美國的 GPS 網絡，也能精準掌握位置資訊。²¹上述實例，足以警惕國軍不可忽視衛星「受制於人」之隱憂。

2.因應：基於衛星測量隱含「缺乏自主性、受制於人」等限制，及始終存在「一國擁有與國際共享」之間的矛盾，²²國軍砲兵應於平時善用 RTK 作業優勢、落實擴大防區測地作為；戰時，則視衛星情況謹慎使用，並保有衛星受限下之預備方案。以國軍現行測量班編制之「定位定向系統」為例，因其無需額外輔助裝置，完全自我包容，使用時較少環境與敵干擾顧慮，不僅具備充分自主性，於特定條件下，甚至較衛星測量擁有運用優勢。²³

（三）遭敵竊取（干擾、竄改）資訊風險

1.風險：衛星導航在現代戰爭中舉足輕重，除協助空中、海上及地面載具精確導航外，也提供精準武器準確擊中目標，同時對部隊指揮管制也極為重要。中共、北韓、俄羅斯均戮力進行 GPS 干擾計畫，同時也利用民用 GPS 訊號協助執行軍事行動。²⁴加上先進國家電子戰能力早已今非昔比，對衛星測量設備影響

18美國防部設計 GPS 初衷，即不希望「標準定位服務」(SPS)之精度優於 100 公尺。惟民用 C/A 碼接收機定位精度通常可達到 20 至 40 公尺，足夠滿足軍事使用之需求。1990 年 3 月美國防部為確保精確、即時之 GPS 數據僅能使用於經過核准之用戶，開始啟用「選擇使用性」(Selective Availability, SA)，在衛星發射軌道與時間資料中加入些許誤差，企圖藉此降低 SPS 之精度。

19同註 14，頁 20。

20忠頻，〈反制中共「北斗」衛星導航系統〉《軍事家》（臺北市），197 期，軍事家出版社，民國 90 年 01 月，頁 86。

21經濟日報，〈日本計劃強化準天頂衛星導航系統，可不受 GPS 獨立運作〉，<http://money.udn.com/money/story/5599/7149885>，民國 112 年 05 月 09 日。

22同註 14，頁 23。

23同註 14，頁 20。

24舒孝煌，〈由俄烏戰爭觀察俄軍電子戰能力〉，<http://indsr.org.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。

甚鉅，輕者恐造成衛星訊號失效（無法接收）；更甚者，遭敵竊取重要武器設施位置資訊或將測量所獲成果實施竄改或干擾，致發生砲兵運用錯誤諸元，誤擊友軍等情事。

2.因應：未來應研究將 RTK 衛星測量，納入專屬安全加密網路，嚴防戰時遭敵竊取竄改，另採購多星系 RTK 設備，可同時接收不同國家、系統的衛星訊號，²⁵執行交叉比對、相互驗證，確保測地成果之可靠度。針對敵電子戰威脅，國軍更應積極研擬「反反制措施」，透過反制干擾、傳遞假訊號等手段，擾亂敵反制作為，確保軍事運用安全。

表 9 RTK 衛星測量與現行砲兵營測地作業特點、限制比較表

區分 型態	測地所需技能	特點	限制	因應
RTK 衛星測量	●定位：單點定位 ●定向：地線法	●作業快速、成果精確 ●學習時間與成本最低 ●無須測量理論基礎 ●採購成本相對低廉 ●無須可用已知點 ●測站間無須通視，且無作業時間及測站數量限制	●作業環境限制（對空通視、網路） ●缺乏自主、受制於人 ●遭敵竊取（竄改）資訊	●複式檢核 ●預擬備案 ●勿過度依賴 ●使用加密網路 ●須加強反制敵電子戰措施
「有」 定位定向 系統	●定位：路測點儲存、調諧校正、放射測量 ●定向：地線法、經緯儀瞄準法、方位轉換鏡法	●獨立自主、自我包容，無須仰賴衛星 ●較不受作業環境限制（受電磁脈衝攻擊除外）	●學習時間與成本較本次之 ●需學習測量理論基礎 ●須可用已知點 ●作業所需時間較長 ●採購成本最高 ●因系統特性，故精度將隨作業時間增加而發散（降低）	●複式檢核 ●防區測地作為 ●搭配傳統測地輔助
「無」 定位定向 系統 （傳統測地）	●定位：導線法、前方交會法、三角測量、三邊測量 ●定向：角導線、天體觀測	●不受作業環境限制	●學習時間與成本最高 ●需學習測量理論基礎 ●須可用已知點 ●作業所需時間最長 ●採購成本高 ●測站間須可通視 ●測站數增加將造成誤差累積	●複式檢核 ●防區測地作為

資料來源：筆者自製。

²⁵多星系：係指衛星測量設備具備可同時接收 2 個以上不同國家、系統的衛星訊號，如美國 GPS+俄國 GLO+歐盟 GAL+中共 BDS+日本 QZSS。

結論與建議

英國首相溫斯頓·邱吉爾：「進步需要改變，要達到完美就要不斷改變」。(To make improvement, you have to change; to be perfect, never stop changing. Winston Churchill)。²⁶俄烏戰爭殷鑑不遠，面對未知的挑戰，守成不變並非明智的選擇，國軍砲兵需要改變，砲兵測地亦須轉型，然改變必須付諸行動，在尚未獲得新式火砲前，現階段將「RTK 衛星測量」納入平、戰時測地，將可有限度提升整體作業效能。野戰砲兵涵蓋射擊指揮、測地、觀測、通信、砲操等五大專業領域，筆者以「測地」立場，提出對砲兵建軍備戰之建言，審視國軍砲兵現況，仍有諸多亟待檢討、改進的空間，期待本研究能拋磚引玉、啟發更多共鳴，並鼓勵國軍成員勇於面對創新與變革。筆者針對提出綜合結論與建議如次。

一、精進學能、融會貫通

建議於砲訓部各測量專業班隊新增「衛星 (RTK) 測量概論」課程，期使受訓學員 (生) 融會貫通「衛星測量」之作業原理、規範、運用與限制，俾利未來裝備推廣與運用。

二、律定規範、提升效能

砲兵定位 (座標) 與定向 (方位) 間存在必然因果關係，如 RTK 定位足夠精確，運用「地線法」獲得之定向諸元必然精確。惟 RTK 定位誤差受衛星、網路訊號及作業環境影響甚鉅，應儘可能避免外部干擾及確認衛星參數符合規範 (RTK 定位、定向建議參考標準對照如表 10)；時間餘裕時 (平時戰演訓、實彈射擊)，仍應運用定位定向系統或傳統測量實施複式檢核，以確保射擊安全。

三、增加長度、減少誤差

運用 RTK 定向時，應依據密位公式估算其誤差範圍 (圖 13)，當橫寬 W 為固定時，地線長度 R 越長，所得角度誤差 θ 越小。基此，可證明當 RTK 定位誤差固定時，地線越長，所得方位誤差必然相對減少。

四、著重細節、追求完美

運用 RTK 定向時 (使用「地線法」)，應於觀測所、陣地選擇點等位置，律定專門標桿 (具備醒目塗裝、水準氣泡、雙叉式標桿腳架)，當使用雷觀機、方向盤標定標桿時，須確實瞄準其最低可見處底部中央 (非左、右緣)，以減少人為作業誤差產生 (圖 14、15)。

五、預知風險、研擬備案

RTK 衛星測量有其風險，絕不可過於依賴，如遇衛星訊號不佳或遭敵干擾，測量班尤應審慎因應、預先研擬預備方案，確保測地任務如期如質完成。如平時

²⁶溫斯頓·邱吉爾 Winston Churchill：英國前首相，亦是知名的政治家、演說家、外交家、軍事家、作家和畫家。

運用 RTK 於防區測地時機建立測地骨幹，戰時再以定位定向系統或傳統測地接續完成細部作業。

六、接軌民用科技、突破創新

砲兵測地為軍事與民間相通之專業領域，測量幹部應持續瞭解科技新知，創新運用「不對稱作戰」思維，²⁷結合最新測量科技與民間資源，戰時測量班以「小群多路、快速彈性、靈活機動」執行作業，提升測地能量與肆應戰場變化。

表 10 RTK 定位、定向建議參考標準對照表

衛星數量	P D O P 精 度 因 子	水平誤差*2	地 線 長 度	R T K 解 算 方 式	定 向 誤 差
>10 顆	<1.5	<2 公分	50 公尺	固定解	<0.8 密位
>10 顆	<1.5	<3 公分	50 公尺	固定解	<1.2 密位
>10 顆	<1.5	<4 公分	50 公尺	固定解	<1.6 密位
>10 顆	<1.5	<5 公分	50 公尺	固定解	<2 密位
備 考	1.衛星數<10 顆、PDOP>1.5、解算方式為浮點解或水平誤差>5 公分以上時，嚴禁以 RTK 實施定向作業。2.地線長度須>50 公尺以上。3.本表係以砲兵密位公式概估求算。4.本表驗證使用裝備：SPECTRA PRECISION SP-80 搭配 Ranger - 7 手持控制器。				

資料來源：筆者自製。

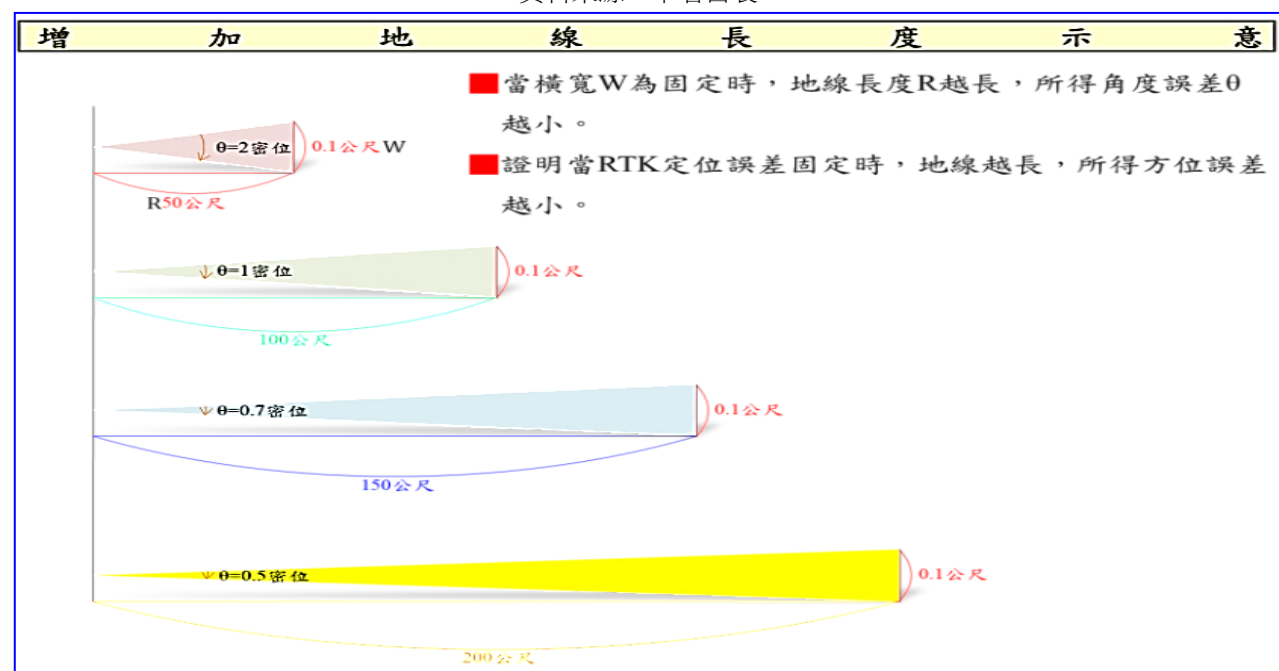


圖 13 增加地線長度減少定向誤差示意

資料來源：筆者自製。

²⁷依據美五角大廈 2001 年出版《四年期國防檢討（QDR2011）》之定義：「透過劣勢方的戰術或作戰能力，集中攻擊敵方弱點，達到不成比例的戰果以打擊強勢方意志，並達成弱勢方的戰略目標，謂之不對稱作戰（Asymmetric Warfare）」。

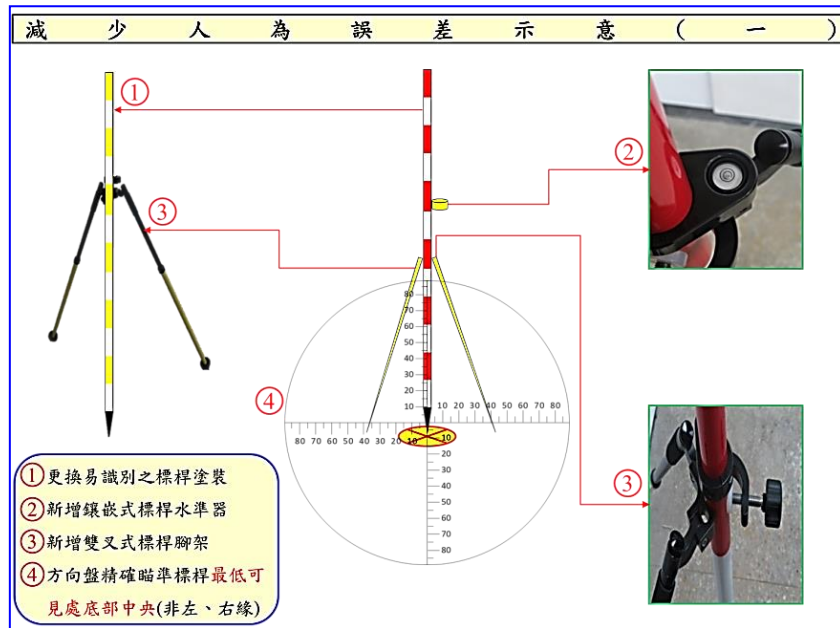


圖 14 降低人為作業誤差示意 (一)

資料來源：筆者自製。

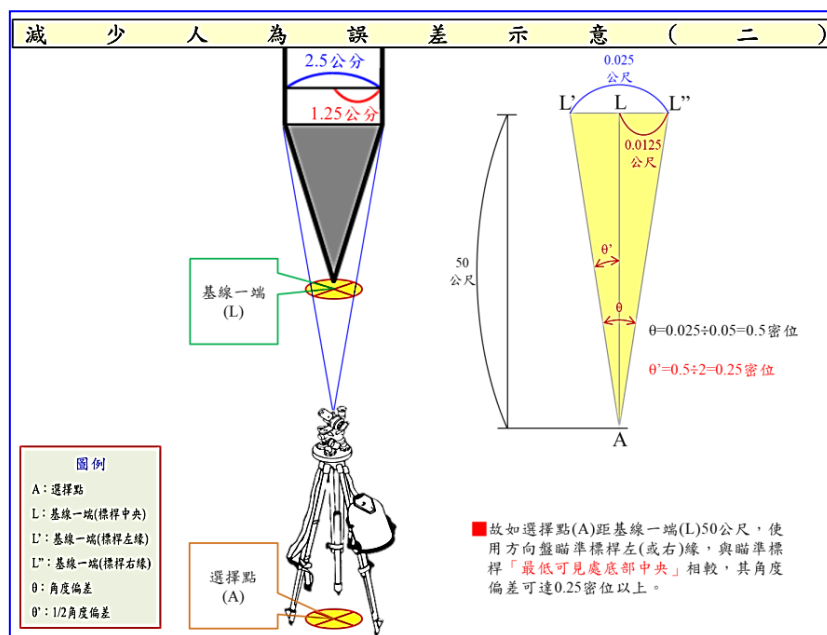


圖 15 降低人為作業誤差示意 (二)

資料來源：筆者自製。

參考文獻

- 一、《陸軍野戰砲兵測地訓練教範》(桃園：國防部陸軍司令部，民國 111 年 10 月)。
- 二、TM 6-200 Artillery Survey (Washington DC: GHQ Army GRC, June 2016.)
- 三、TC 3-09.81 Field Artillery Manual Cannon Gunnery (Washington DC:

GHQ Army GRC, April 2016.)

- 四、施永富，《測量學》（臺北：三民書局，民國 97 年 06 月）。
- 五、焦人希，《平面測量學之理論與實務（五版）》（臺北市：文笙書局，民國 84 年 03 月）。
- 六、高書屏，《GPS 衛星定位測量概論（三版一刷）》（臺北市：詹氏書局，民國 106 年 09 月）。
- 七、《ULISS - 30 定位定向系統操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 87 年 12 月）。
- 八、《軍事地理資訊系統》（桃園：陸軍總部戰法暨準則發展委員會，民國 93 年 09 月）。
- 九、黃國興，《慣性導航系統原理與應用》（臺北：全華科技圖書股份有限公司，民國 84 年 08 月）。
- 十、耿國慶，〈析論「全球定位系統」（GPS）〉《砲兵季刊》（臺南），第 166 期，民國 103 年 09 月。
- 十一、耿國慶，〈淺談運用 GPS 接收機實施砲兵測地〉《砲兵季刊》（臺南），第 141 期，民國 97 年 05 月。
- 十二、《陸軍 IMT-8R 測地電算機操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 108 年 07 月）。
- 十三、陳天祐，〈運用測距經緯儀精進砲兵測地作業之具體作為〉《砲兵季刊》（臺南），第 143 期，砲兵訓練指揮部，民國 97 年 10 月。
- 十四、《陸軍野戰砲兵射擊指揮教範（第三版）》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 103 年 10 月）。
- 十五、陳見明，〈精進 ULISS-30 定位定向系統運用於砲兵測地作業之研究〉《砲兵季刊》（臺南），第 157 期，陸軍砲兵訓練指揮部，民國 101 年 06 月。
- 十六、《野戰砲兵觀測訓練教範》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 111 年 10 月）。
- 十七、《陸軍測距經緯儀操作手冊》（桃園：國防部陸軍司令部，民國 109 年 10 月）。
- 十八、雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網，<http://terms.naer.edu.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。
- 十九、內政部國土測繪中心 e - GNSS 即時動態定位系統入口網站，<http://egnss.nlsc.gov.tw>，民國 112 年 05 月 09 日。
- 二十、許國楨，〈GPS－現代武器系統作戰效能倍增器〉《現代軍事》（香港），現代軍事雜誌社，民國 83 年 06 月。

- 廿一、管長青、張嘉強、吳永源、蘇承強，〈經天緯地、端始測量－工程測量發展歷程與展望〉《中華技術期刊》(臺北)，第 98 期，財團法人中華顧問工程司，民國 102 年 04 月。
- 廿二、忠頻，〈反制中共「北斗」衛星導航系統〉《軍事家》(臺北市)，197 期，軍事家出版社，民國 90 年 01 月。
- 廿三、揭仲，〈M109A6 生變，國軍砲兵現代化重挫〉，<http://www.lepenseur.com.tw/article/1080>，民國 112 年 5 月 9 日。
- 廿四、經濟日報，〈日本計劃強化準天頂衛星導航系統，可不靠 GPS 獨立運作〉，<http://money.udn.com/money/story/5599/7149885>，民國 112 年 05 月 9 日。
- 廿五、舒孝煌，〈由俄烏戰爭觀察俄軍電子戰能力〉，<http://indsr.org.tw>，民國 112 年 5 月 9 日。

作者簡介

黃盈智雇員教師，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部。