

淺談 RTK（即時動態測量） 於砲兵測地之應用

壹、作者：徐坤松 中校

貳、單位：陸軍飛彈砲兵學校目標組

參、審查委員：（依審查順序）

王東祿上校

王道順上校

彭德任中校

王述敏上校

肆、審查紀錄：

收件：98 年 03 月 04 日

初審：98 年 03 月 04 日

複審：98 年 04 月 06 日

綜審：98 年 04 月 09 日

伍、內容提要：

- 一、檢討目前各單位裝備現況，要達作業速度快、精度高之測地作業要求仍有許多努力空間，在考量作戰節奏快速、戰場範圍較侷限之狀況下，不得不尋求各項有助戰備整備任務遂行之方法；雖然 GPS 戰時接收與運用恐受遮蔽、干擾甚至關閉等不利因素影響，若能善加運用 RTK 衛星定位測量，用於平時砲兵防區測地等戰備整備作業，相信不失為一項不錯之考量。
- 二、目前運用 GPS 衛星定位測量之方法共有二大方式：1. 單點定位（SINGLE POSITIONING）2. 相對定位（RELATIVE POSITIONING）。而相對定位測量又區分為：1. 靜態相對定位測量（STATIC）2. 快速靜態測量（FAST STATIC）3. 虛擬動態測量（PSEUDO-KINEMATIC）4. 半動態測（SEMI-KINEMATIC）5. 即時動態測量（RTK）等五大類。
- 三、傳統 RTK 定位原理係利用通訊設備，將主站的 GPS 觀測數據傳送到移動站進行差分定位，並直接在移動站上求解其週波未定值，便可計算求出移動站（求點）之瞬間即時坐標，其座標精度可達到公分級之精度。
- 四、先進之 e-GPS 網路型 RTK 具有下列優點：無須架設主站，主站與移動站的距離更遠、可用較少的主站便可涵蓋大面積之測區、比傳統單一主站更可靠，且定位成果精度更好，可靠度更佳、可同時服務上千個移動站，並可

做使用者帳號控管，目前民間及學界已大幅利用 e-GPS 網路型 RTK 之優越性，藉基準站資料提供更多元使用如：地殼變動監測、地震監測、航空測量、GIS 調查等服務。

淺談 RTK（即時動態測量）於砲兵測地之應用

作者：徐坤松 中校

壹、提要

- 一、檢討目前各單位裝備現況，要達作業速度快、精度高之測地作業要求仍有許多努力空間，在考量作戰節奏快速、戰場範圍較侷限之狀況下，不得不尋求各項有助戰備整備任務遂行之方法；雖然 GPS 戰時接收與運用恐受遮蔽、干擾甚至關閉等不利因素影響，若能善加運用 RTK 衛星定位測量，用於平時砲兵防區測地等戰備整備作業，相信不失為一項不錯之考量。
- 二、目前運用 GPS 衛星定位測量之方法共有二大方式：1. 單點定位（SINGLE POSITIONING）2. 相對定位（RELATIVE POSITIONING）。而相對定位測量又區分為：1. 靜態相對定位測量（STATIC）2. 快速靜態測量（FAST STATIC）3. 虛擬動態測量（PSEUDO-KINEMATIC）4. 半動態測（SEMI-KINEMATIC）5. 即時動態測量（RTK）等五大類。
- 三、傳統 RTK 定位原理係利用通訊設備，將主站的 GPS 觀測數據傳送到移動站進行差分定位，並直接在移動站上求解其週波未定值，便可計算求出移動站（求點）之瞬間即時坐標，其座標精度可達到公分級之精度。
- 四、先進之 e-GPS 網路型 RTK 具有下列優點：無須架設主站，主站與移動站的距離更遠、可用較少的主站便可涵蓋大面積之測區、比傳統單一主站更可靠，且定位成果精度更好，可靠度更佳、可同時服務上千個移動站，並可做使用者帳號控管，目前民間及學界已大幅利用 e-GPS 網路型 RTK 之優越性，藉基準站資料提供更多元使用如：地殼變動監測、地震監測、航空測量、GIS 調查等服務。

貳、前言

近年來衛星定位系統除美國（GPS）系統外，俄羅斯 GLONASS（格納那斯）系統、歐盟 GALILEO（伽利略）系統、中共北斗衛星定位系統等，皆陸續佈建完成，衛星定位測量也有著驚人的快速發展，此技術已使得全球各地，都可享快速而精準的定位服務。GPS 即時動態定位測量（Real Time Kinematic, RTK）技術便是一種快速而精準的測量方式，不僅作業效率高，更可以省略導線作業後繁瑣之成果整理，更重要的是其作

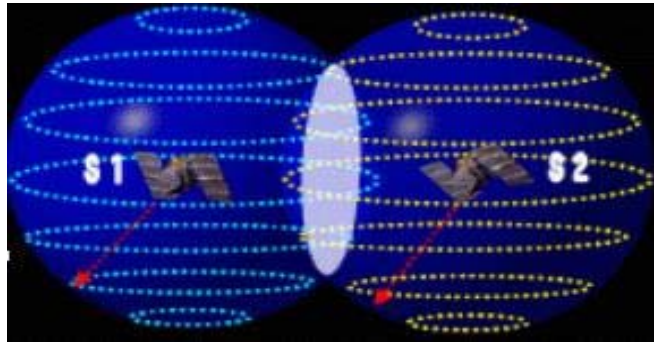
業後精度，可以達到公分級之精度，近年來民間已普遍應用於工程測量、地籍測量、地理資訊系統的建置等領域；雖戰時衛星定位系統易遭敵干擾、遮蔽、關閉等不利因素影響，使其定位精度降低不利運用，然於平時戰備整備、戰場經營等工作，若能善加運用 RTK 衛星定位測量，其快速且精度高之特性，則可用於砲兵防區測地等作業，落實測地網之建立，戰時只需以現有之測量器材便可行速度快、精度高之作業，相信 RTK 不失為一項不錯之考量，值得我砲兵測量同仁深入研討。

參、GPS 衛星定位原理與各國發展衛星導航定位現況

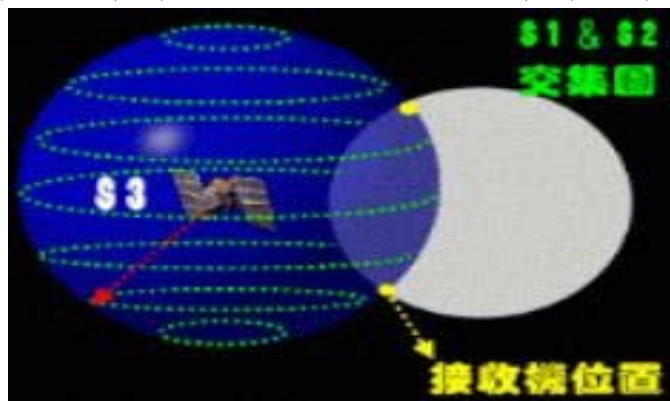
一、GPS 衛星定位原理

- (一) 自 1993 年 GPS 運作以來，全球衛星定位系統漸漸取代傳統之測量儀器，在地球上任意位置、任何時刻均能接收到 4 顆以上的 GPS 衛星，定位精度達到公尺級之水準，足以滿足導航及定位之需求。然而對於工程應用而言則須達公分級標準，也就發展出以載波相位為觀測數據，並利用差分定位技術消除誤差之靜態、快速靜態、半動態、虛擬動態、即時動態測量等技術，其中即時動態測量 RTK 就是目前最好的選擇。
- (二) 就目前美國（GPS）全球衛星定位系統¹為例說明，該系統採全球 3-D 分佈，其軌道高度：約 20,200 公里，繞地球一週：11 小時 58 分鐘，衛星顆數共 24 顆，分佈在 6 個軌道上，軌道傾角 55 度，座標系統為 WGS-84，觀測時間為 24 小時全天候，提供民間與軍方皆可使用，當衛星高度為 20,000 公里，可見地面面積為地球的 38%，而且 GPS 衛星軌道採圓形分布，所以地球上任意地點皆可觀測到 4 顆以上的衛星，其定位原理是採空間後方交會之方法實施定位（如圖一、二），美國面對俄羅斯、歐盟及中共等國之系統，陸續提升或佈建成功後所產生之競爭壓力，故積極的展開 GPS 現代化之性能提升計劃，預計於 2010 年可完成，屆時將大幅提高 GPS 定位精度與民間安全救援上之運用。

¹. 侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，GPS 簡介資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 4。



圖一：S1 距離接收機 11,000 公哩，S2 距離接收機 12,000 公哩，以 S1 與 S2 為圓心，接收距離為半徑形成兩球，兩球表面接處形成一平面交集圓，而接收機正位於交集圓的圓周上。



圖二：若加入第三顆衛星 S3，則可做為三度空間定位，將接收機在地表位置定出，也就是接收機的地 X,Y,Z 數值可由此三個衛星的觀測方程式解出；相對實際作業上，必須利用 4 顆（含）以上之衛星實施測量定位，主要除了求解測站三維坐標（X,Y,Z）外，並求解衛星本身時鐘誤差等，衛星數量愈多定位精度也會相對提高。

參考資料：侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，GPS 簡介資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 6。

二、其他各國目前發展現況

（一）俄羅斯 CLONASS（格納那斯）導航定位系統²

俄羅斯 CLONASS（格納那斯）系統，為前蘇聯時代為與美國相抗衡之產物，因前蘇聯瓦解後由俄羅斯接續系統建置，俄羅斯成立初期經濟發展不佳，無法有多餘財力提升精進系統效能，直到近年來俄羅斯經濟發展快速，才有充分之財力支持性能提升計畫，於是在 2003

². 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/CLONASS>（台北市：維基百科，民國 97 年 12 月）。

年開始研發新的二代 CLONASS（格納那斯）系統，預定於 2008 年全面更新舊有之系統。GLONASS 之系統架構及定位方式，與 GPS 系統類似，但其單點定位精度不如美國 GPS 系統，該系統共有 24 顆衛星分佈於三個軌道面，衛星高度約 19,100 公里，軌道傾角 64.8 度，衛星軌道週期為 11 小時 15 分，座標系統 GLONASS 採用 SGS85（PE-90 橢球體 Parameters of Earth 1990）地心地固坐標系統。

（二）歐盟 CALILEO（伽利略）定位系統³

歐盟以英國、法國、德國、義大利為主之國家，考量美國 GPS 與俄羅斯 CLONASS（格納那斯）兩大系統，初期設計均以國防軍事運用為出發點，雖陸續開放民間使用，仍無法滿足民間需求，再者兩大系統之管理均無法由其他國家共同參予，萬一戰事爆發或其它事故發生，兩大系統未必像目前開放給各國使用，有鑑於此歐洲為了國防安全與獨立自主，在 1990 年代初期便開始著手計劃，屬於歐盟自己的以民用為主之全球衛星導航定位系統（CALILEO 伽利略系統），該系統共有 30 顆衛星，分佈於三個軌道面，其衛星高度約 23,222 公里，軌道傾角 56 度，衛星定位精度比美國 GPS 與俄羅斯 CLONASS（格納那斯）兩大系統還高，其定位精度可達 1 公尺，並開放世界各國（包含中共、以色列、印度、日本、韓國、加拿大、澳洲、巴西、馬來西亞等十餘國）參予 CALILEO 伽利略系統計劃，預定於 2010 年可開始運作。

（三）中共北斗衛星（COMPASS）導航定位系統⁴

繼美國、俄羅斯之後，長期以來中共也深知國防獨立自主之重要性，一直在尋求屬於自己的衛星導航定位系統，於是計劃發展北斗衛星，初期陸續在 2000 至 2003 年成功發射 3 顆工作衛星，首先構建完成第一代北斗衛星，但只屬於區域性之衛星導航定位系統；中共除積極參與歐盟 CALILEO（伽利略）定位系統計劃外，仍繼續發展開發真正屬於自己的全球衛星導航定位系統，第二代北斗衛星並不是一代北斗的簡單延伸，而是一套全新之獨立運作系統，該系統將由 25 顆衛星組成，其中 4 顆為高軌道衛星，高度為約 36,000 公里的地球同步衛星，9 顆為中軌道衛星，12 顆為低軌道衛星，預定於 2010 年便可獨立構建其自主性之全球導航定位系統，屆時將是繼美國、俄羅斯

³. 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/CALILEO>（台北市：維基百科，民國 97 年 12 月）。

⁴. 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/COMPASS>（台北市：維基百科，民國 97 年 12 月）。

之後第三個成熟的衛星導航定位系統。

(四) 印度導航衛星系統⁵

印度將繼美國、俄羅斯、中共、歐盟之後，也積極爭取太空強權主導能力，發展屬於自己一套由印度政府自行籌建實驗性之區域導航衛星系統（IRNSS），可提供定位精度約 20 公尺之區域性服務；相信不久將來更多有能力及企圖心之國家，將陸續建置屬於自己免受制於人的衛星導航定位系統，屆時我們的天空將更為熱鬧。

表一：

目前世界各主要衛星定位系統分析比較一覽表				
項 目	GPS 系統	CLONASS 系統	CALILEO 系統	COMPASS 系統
衛星數量	24 顆	24 顆	30 顆	25 顆
軌道面數	6 個	3 個	3 個	不詳
軌道高度	20,200 公里	19,000 公里	23,222 公里	36,000 公里
運行時間	11 小時 58 分	11 小時 15 分	14 小時 04 分	不詳
軌道傾角	55 度	65 度	56 度	60 度
座標系統	WGS-84	SGS-E90	GTRF (ITRF)	不詳
定 位 精 度	P 碼 6m C/A 碼 12m	概約 15m	計畫達 1m	計畫達 10m
國 別	美國	俄羅斯	歐盟	中共
系統現況	佈建完成並進行更新提升	佈建完成並進行更新提升	尚未佈建完成 預定 2010 年完成	二代北斗尚未 佈建完成，預定 2010 年完成
備 考	1. 中共一代北斗為區域性衛星系統已佈建完成，上表為二代資料 2. 印度政府正籌建一個定位精度 20m 之導航衛星系統（IRNSS） 3. 日本也計畫籌建中			

資料來源：筆者彙整自製

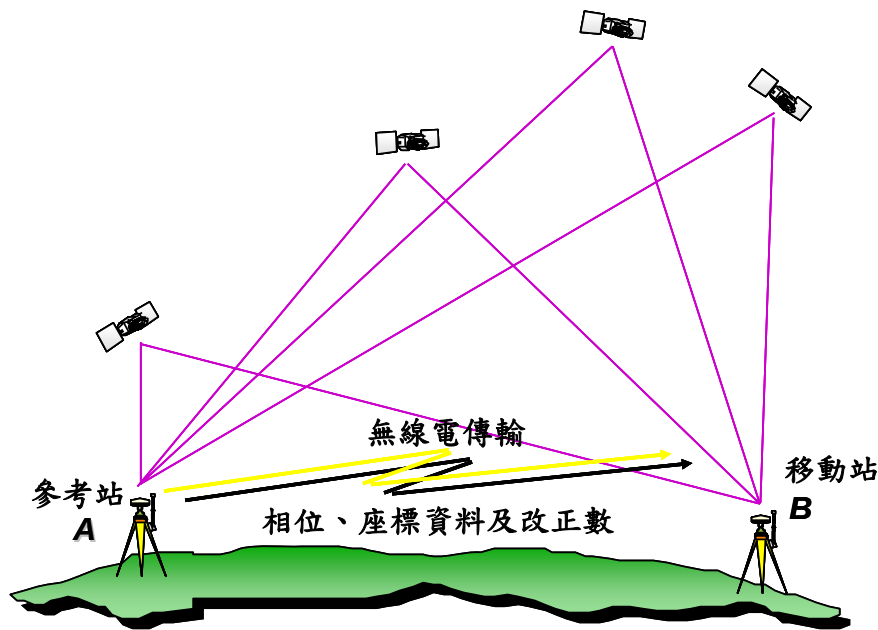
肆、RTK 即時動態定位測量

一、即時動態定位測量作業原理

即時動態定位測量（Real Time Kinematic，RTK），需要兩套格式相容之 GPS 接收儀，分別放置於參考站（基站）與移動站（如圖三）上

⁵. 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/IRNSS>（台北市：維基百科，民國 97 年 12 月）。

，再利用通訊設備將參考站（基站）的 GPS 觀測數據，傳送到移動站進行差分定位，並直接在移動站上求解週波未定值後，計算得到移動站之即時坐標，便可達公分級高精度定位標準⁶。即時動態定位測量屬於一種純動態的定位模式，具有操作人力少、移動速度快、作業迅速，且不需作業後之繁瑣計算作業等優點，但傳統 RTK 作業也存在著部分缺點，參考站（基站）與移動站間作業有效範圍較小，作業如依賴單一參考站（基站），且無線電瓦數及 GSM 收訊品質均可能影響作業品質。



圖三 RTK 即時動態定位測量架構圖

參考資料：侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，GPS 基本課程資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 1-30。

二、目前即時動態定位測量作業方式

為解決傳統 RTK 即時動態定位測量作業範圍較小，需要作業器材較多等缺點，相關業者及學術單位研究精進 RTK 作業模式，於是以 e-GPS 網路型 RTK 為主之作業方式漸漸成形，e-GPS 網路型 RTK 以固定基準站 CORS（Continuously Operating Reference Station）為主，採用與目前現行一致之大地基準，並提供可靠的觀測座標值，建立誤差模式，且具有降低電離層、對流層、衛星軌道誤差等可能對於定位精度之影響因素，同步建立並發送改正數據，傳輸給移動站以精確迅速計算座標，同時其固定基準站 CORS 可自動監測追蹤站網，以確保觀測數據與改正

⁶. 侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，GPS 基本課程資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 22。

訊號之品質，藉此技術便可大幅減少作業人力、器材數量，增加作業速度也使 RTK 作業更具效率，目前公、民營企業及學術研究單位，已普遍將 RTK 作業應用於工程測量、地籍測量、地理資訊系統的建置等工作，儼然已成為目前較佳之選擇方案。

三、何謂網路 RTK⁷

網路 RTK 架構是運用多個參考站之模式，搭配網路或通訊設備加以鏈結，構成一個由參考站和網路所構成之密集區域固定基準站，傳統 RTK 因由單一參考站作業，比較容易受電離層及對流層之影響，而網路 RTK 則運用多個參考站之方式，可增加整體作業精度，降低電離層、對流層、衛星軌道誤差對於定位精度的影響，建立並發送修正訊號給移動站自動監測追蹤站網，以確保觀測資料與改正訊號的品質。

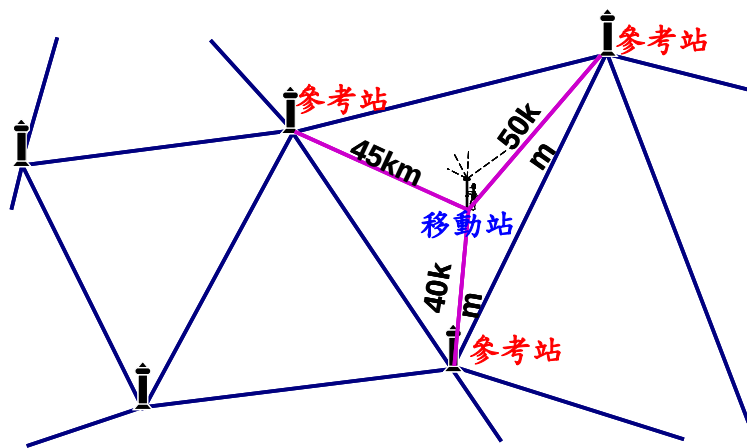


圖 四：網路 RTK 示意圖

參考資料：侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，網路型 RTK 架構與應用說明資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 19。

四、何謂虛擬參考站（Virtual Reference Station，VRS）

虛擬參考站也是採用多基站的方式，經由網路彼此連結⁸。參考站的觀測資料先匯集到控制中心後，進行資料計算和儲存，當移動站將其導航座標傳回到控制中心時，控制中心會以移動站的位置挑選出三個參考站，計算出一個在移動站附近的虛擬參考站觀測值並回傳給移動站。這

⁷. 侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，網路型 RTK 架構與應用說明資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 20。

⁸. 侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司，網路型 RTK 架構與應用說明資料（台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年），頁 24。

項技術的主要概念，在於使移動站和虛擬參考站觀測值間產生極短的基線，讓移動站在這樣的情形下獲得較高的定位精度。由於這組觀測值是虛擬出來的，在真實環境中並不存在，所以這也是它被稱作虛擬參考站的原因。然而，使用 VRS 技術的前提是，移動站必須在三個參考站網所圍成的三角形區域中，否則將產生類似外插的情形而無法求解。

五、傳統導線作業與 RTK 即時動態定位測量之比較

（一）傳統導線作業測量

傳統測量的導線、交會法之作業方式，需要有精度較高之已知點或控制點（如三角點、衛星控制點、水準點、重力點、圖根點或精導點等）及方位統制線方位角，作為測量作業之起始點，且測量儀器與目標之間必須通視，如果中間有阻隔，將增加作業之困難度，作業人員每組通常 5 至 7 人方可完成作業，每組測量作業的距離大約限制在 5Km 以內，傳統測量也較容易受氣候之影響，例如霧氣、下雨等，作業精度也因天候、人員、器材等不穩定因素影響降低精度，且成果檢查驗證程序繁瑣，作業時間過長；夜間作業更是非常不便，作業時間較緩慢、操作人員、測站數均較多、精度較不穩定，比日間作業更形困難。

（二）RTK 即時動態定位測量

不受氣候、地形、距離及通視等影響，日、夜均可快速操作，並可節省人力至 1 或 2 人便可操作，多重座標系統可依作業需求自行選擇，作業精度可達公分級之精度，作業所求出之點位因精度高，每個點都是控制點，點與點間只要通視即可以用兩點座標計算出兩點間之方位角，且具有器材價格低廉、維修便利等優點，RTK 即時動態定位測量雖戰時 GPS 易受關閉、遮蔽、干擾等影響，其優點可運用於平時防區測地，及測地基準點設立等重大戰備整備之工作上。

六、目前國內 RTK 作業情況

（一）內政部土地測量局（國土測繪中心）

國土測繪中心鑑於國內，已具備優質的寬頻網路及行動化的無線數據傳輸環境，所以從 93 年起採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK），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之 76 處衛星定位基準站⁹（衛星定位基準站之最佳建置間距以不超過 50 公里為原則，預定於全國各地區建置 80 處基準站），全天候連續接收 GPS 衛星資料，即時傳回位於台中市黎明辦公區的控制及計算中心，進行資料自動化處理，目前在臺、澎、金、馬任何地點，只要可以 GPS 衛星接收儀同時接收 5 顆以上 GPS 衛星訊號，都可以全天候經由整合封包之無線電服務技術（GPRS），或其他無線上網方式，在極短的時間內，依使用者要求，獲得公分級精度等級的即時動態定位服務，這不僅是衛星動態定位技術的一大突破，也正式宣告國內的測繪科技已與國際同步邁向 e 化及行動化的嶄新時代。

（二）目前 RTK 作業器材市場現況

國內目前 RTK 作業器材眾多，如台灣儀器公司代理 Trimble-5800 型 GPS 衛星接收儀，宏遠儀器公司代理 Leica GPS 1200 型衛星接收儀等均為國內知名與運用較多之品牌，當然也有其他如日本等國家所生產之品牌，皆有良好的操作性、多元之功能與優越定位精度，也各具市場競爭性。在軍方部份軍備局測量隊於 97 年已採購兩套，宏遠儀器公司所代理瑞士 Leica GPS 1200 型衛星接收儀，用於衛星控制點檢查等作業。

據悉中共新建青藏鐵路時，進入青康藏高原路段時因海拔過高，造成測量作業之解放軍測量隊人員體力不適、測量裝備不利於高海拔及低溫下作業等因素，最後也是使用 RTK 實施快速且精度高之測量作業，來解決高山地區測量作業之問題。

伍、RTK 即時動態定位測量實際作業經驗分析

一、作業緣起

有鑒於 RTK 運用於砲兵測地作業所需之實際作業經驗數據，以私人商借方式獲得 1 套 RTK，於 97 年 12 月中旬以一週之時間，配合校外實距離作業場地實施作業，以瞭解其實際作業之各項參數含作業時間、作業精度等數據，以分析運用於砲兵測地作業之理論基礎，並供各方先進作為參考之依據。

二、測試作業經過

⁹. 內政部土地測量局。土地測量局國土測繪中心網站（台北市：內政部，民國 97 年 11 月）。

（一）測試場地

以兩人為作業小組一員為駕駛一員任測手，搭乘本軍制式悍馬車，於台南縣 ULISS-30 中距離測試場地實施軍團砲兵測試作業，沙崙農場砲兵營測地實距離作業場地實施砲兵營作業測試，場地設置：

1. 軍團砲兵部分：設置作業起始點 1、觀測所方位地線及連接點 2 組、軍團砲兵觀測所 2 組、氣象台 1 組、雷達站 1 組、磁偏校正站 1 組、砲兵營測地統制 2 組，作業範圍約 30 公里，精度比較以中科院委託軍備局測量隊所設置之 8 個測點（各點均合於三等衛星控制點精度規範，各點誤差值在 95%信心區間 $\leq 30\text{mm} + 6\text{ppm}\times L$ ）。
2. 砲兵營部分：設置 2 組觀測所（含方向基線設置）、檢驗點 1、前地目標 2、砲陣地 6 組（含方向基線設置）、120 迫砲陣地 2 組，作業範圍約 5 公里，精度比較以 ULISS-30 定位定向系統採標準測量模式，以 10 分鐘零速更新方式作業，座標圓形公算偏差（CEP）7 公尺、標高公算偏差（PE）3 公尺、方位誤差 1 密位。

（二）作業模式及時間、天候狀況

RTK 與教學使用之 ULISS-30 定位定向系統一套分別於兩測試場各作業兩次，其作業成果數據、作業後之作業成果、時間互相比較分析（如附表二）；作業時間為上午 0930 及下午 1330 各乙次，作業天氣晴、地面溫度約攝氏 25 至 27 度，地面能見度約 1500 公尺，作業區與天氣狀況均適合 RTK 及 ULISS-30 定位定向系統之作業。

表二

R T K 與 U L I S S - 3 0 作 業 成 果 分 析 比 較 一 覽 表		
項 目	RTK 系統	ULISS-30 定位定向系統
作業起始	不需任何點位	需精度高之點位實施初始校準
開機時間	2 分鐘	22 至 30 分鐘
作業人員	1-2 人	2 人
攜行方式	由 1 人攜行下車即可作業	需固定裝置於悍馬車上作業
單點時間	30 秒至 1 分鐘	壓點 2 分鐘，放射 5 分鐘
電力需求	1 顆電池可用 4 小時，配有 2 顆	系統電瓶 2 小時餘靠車輛直流電
運動速度	依車輛最大速限沒有限制	依道路狀況各有速度限制

作業載具	制式車輛均可，以軍用機車更佳	制式悍馬車
方位地線	每站 2 分鐘	每站 5 分鐘
兩點計算	每站 1 分鐘	每站 5 分鐘
位 置 更 新 作 業	不需要	中距離：30 公里或 2 小時，長距離：70 公里或 5 小時均必須實施
零 速 更 新 作 業	不需要	依精度需要實施 4 分鐘或 10 分鐘零速更新作業
砲兵營作業測試時間分項表	1. 不需統制點位置更新 2. 不需零速更新作業 3. 觀測所×2 作業 2 分鐘 4. 迫砲排×2 壓點、地線及方位計算作業 8 分鐘 5. 砲陣地×6 壓點、地線及方位作業 24 分鐘 6. 作業範圍約 5 公里 7. 運動時間時速 60 公里 5 分鐘 合計 39 分鐘	1. 統制點位置更新 1 分鐘 2. 以 10 分鐘零速更新作業 3. 觀測所×2 放射作業 10 分鐘 4. 迫砲排×2 壓點、地線及方位計算作業 24 分鐘 5. 砲陣地×6 壓點、地線及方位作業 72 分鐘 6. 作業範圍約 5 公里 7. 運動時間時速 30 公里 10 分鐘 合計 117 分鐘（1 小時 57 分鐘）
營 精 度	徑誤差小於 1 公尺	徑誤差小於 5 公尺
軍團作業測試時間分項表	1. 不需作業起始點 2. 不需零速更新作業 3. 觀測所×2 壓點、地線及方位計算作業 8 分鐘 4. 氣象台×1 壓點、地線及方位計算作業 4 分鐘 5. 雷達站×1 壓點、地線及方位計算作業 4 分鐘 6. 營統制點×2 壓點、地線及方位計算作業 8 分鐘 7. 磁偏校正站×1 壓點、地線及方位作業 8 分鐘（需搭配經緯儀作業） 8. 作業範圍約 30 公里	1. 作業起始點×1 壓點初始校準 22 分鐘 1. 以 4 分鐘零速更新作業 2. 觀測所×2 壓點、地線及方位計算作業 24 分鐘 3. 氣象台×1 壓點、地線及方位計算作業 12 分鐘 4. 雷達站×1 壓點、地線及方位計算作業 12 分鐘 5. 營統制點×2 壓點、地線及方位計算作業 24 分鐘 6. 磁偏校正站×1 壓點、地線及方位作業 16 分鐘 7. 作業範圍約 30 公里

	9. 運動時間時速 60 公里 30 分鐘 合計 62 分鐘（1 小時 02 分鐘）	8. 運動時間時速 30 公里 60 分鐘 合計 170 分鐘（2 小時 50 分鐘）
軍團精度	徑誤差小於 1 公尺	徑誤差小於 3 公尺
記憶容量	10000 筆以上	99 筆
系統鏈結	可將成果傳輸給測距經緯儀作業	無
系統限制	無法實施砲兵營前地測地作業	無法實施砲兵營前地測地作業
系統狀況	戰時 GPS 接收精度無法確保	操作複雜、故障率及價位均過高
夜間作業	無限制	放射測量作業時間受距離限制
備考	砲兵營、軍團均實施 2 次作業	砲兵營、軍團均實施 2 次作業

資料來源：筆者自製

（三）作業結果

歷經四天之操作分析比較，RTK 之作業雖具有精度高、速度快、操作便捷、售價低廉及故障率低等優點，卻在作業過程中仍發現系統必須完全依賴 GPS 及通信 GSM 訊號方能作業，戰時受限於 GPS 之限制仍是最大垢病，然綜觀測試結果如用於平時戰備整備時實施作業將是一大利器，如何有效運用及解決問題才是研究重點，吾人針對 RTK 作業之優、缺點及運用於平時砲兵測地作業之研析概述如后。

（四）RTK 作業優點

1. 高作業效率

在一般的地形環境下，RTK 作業大大減少了傳統測量所需的控制點數量和測量儀器的整置設站次數，僅需一人操作即可，以一般的手機電話 GSM 便可連接作業，在正常天候環境下幾秒鐘即可得一點座標，作業速度快，需求人力低，大大提高了測量作業效率。

2. 高定位精度

此次作業過程中發現其作業成果精度高且數據精確，沒有誤差累積及須修正之情形，只要滿足 RTK 的基本工作條件，在一定的作業半徑範圍內，RTK 的座標和標高精度都能達到公分級之水準。

3. 高作業功能

RTK 作業除全自動化外並具備強大作業功能，目前部分縣、市地政事務所就運用 RTK 於地籍測量，民間重大建設也均以 RTK 為主之測量作業為方式，且移動站之接收顯示器利用整合軟體來控制系統，無需人工作業便可自動實現多種測繪功能，減少人為誤差，保證了其

作業精度，所以深受民間及學術研究單位之信賴。

4. 低作業條件

測試時發現和傳統測量作業相比，RTK 技術受通視條件、能見度、氣候、季節等因素的影響和限制較小，在傳統測量作業看來由於地形複雜、地物障礙而造成的難通視地區，只要滿足 RTK 的基本工作條件，它也能輕鬆地進行快速的高精度定位作業。

5. 操作簡便

RTK 操作簡便，容易使用，數據處理能力強，只要 1 個作業人員進行簡單的設站，就可以邊走邊獲得測量即時之座標。數據輸入、存儲、處理、轉換和輸出能力強，能快速的與電腦及其它測量儀器鏈結，其簡便之操作性即使是位操作新手也能快速學會其操作。

（五）RTK 作業缺點

1. 衛星接收限制

RTK 需有較佳之接收位置，如在高山地區及密集森林地，或城市高樓密布地區，衛星信號接收便會較差，且天候環境也會影響作業，在上述環境中發現其共用衛星數較少，常接受不到 5 顆衛星，因而初開機時間長甚至不能作業，也就無法進行測量。在此作業於砲兵營第 1 號陣地（行樹下）點位靠近樹下時便發現，因受衛星遮蔽角過大之影響，其 GPS 訊號接收便超出 30 秒至 1 分鐘達 3 分 30 秒才完成接收，且白天某些時段易較受電離層干擾，在作業接近正午時發現可能受太陽離子活動較強之關係，有造成部份作業精度減低之現象。

2. 通信系統限制

RTK 數據傳輸靠 GSM 藍芽無線通訊鏈結，易受到障礙物如高大山體、高大建築物和各種高頻信號源的干擾，在傳輸過程中衰減嚴重，恐影響作業精度和作業半徑。在地形起伏高差較大的山區和城鎮高樓區，數據傳輸信號也較受到限制，容易造成衛星脫鎖，採用 RTK 作業時有時需要經常重新初始化，這樣測量的精度和效率都受影響。

3. 電池電量限制

RTK 耗電量較大，需要較大容量之電池或電瓶才能保證連續作業，在電力供應缺乏的偏遠作業地區較容易受到限制。

陸、RTK 應用於砲兵測地作業研析

一、目前砲兵測地作業現況檢討

(一) 作業方式檢討

目前砲兵測地作業可以就平時、戰時兩方面作檢討，其測地作業方式區分為有定位定向系統與無定位定向系統兩大作業模式。

1. 平時

(1) 主要任務

以建立防區測地並依防衛作戰計畫內容完成測地成果為主要任務¹⁰，由軍團砲兵目標獲得連（花東、澎湖防衛部本部連測量排、馬防部砲兵群群部連測量班）、各型砲兵營（含旅屬）負責執行，對自身防衛作戰計畫之預定陣地、目標獲得設施、檢驗點、彈幕中心點、陸上集火點等位置所實施之測地，其成果須交付所屬砲兵指揮所，以利防衛作戰火力支援相關計畫之擬定，並將作業成果整理、建檔、分發運用且需交各射擊指揮所調製射擊諸元等任務。

(2) 次要任務

以建立各作戰區測地統制網為主¹¹，係由軍團目標獲得連（含花東、澎湖防衛部本部連測量排、馬防部砲兵群群部連測量班）、各型砲兵營（含旅屬）依上級規劃，分區執行控制點調查與測地基準點測設之作業，共同建構全作戰區之測地統制網，砲兵部隊在司令部「建立全軍測地網」實施計劃之指導下，曾經完成各作戰區之基礎測地網路，然因近年軍圖座標系統更新、精進案部隊裁併駐地調整、成果標示損壞、人員異動、缺乏器材、技術不足與執行任務時間受限等不利因素，導致全軍測地成果以到了需全面更新之地步。

(3) 兩大作業模式檢討

目前作業方式使用有定位定向系統作業，需依賴精度較高之控制點為作業起始點，然點位稀少且難以尋找，在廣大面積之防區測地作業更形困難；使用無定位定向系統之作業方式，須賴定位定向系統賦予測地統制，或自行選擇精度較高之控制點起始作業，然有點座標、標高卻無法有效獲得起始方位，如以天體觀測測求方位，其過程也複雜繁瑣且耗時，天候可否作業也造成作業困難，加上無定位定向系統作業易受天候、地形、道路交通狀況、人員操作限制等，形成作業時間長、人力多、精度較不易掌握等更多不利因素。

¹⁰. 國防部陸軍司令部，野戰砲兵測地教範下冊第八章（桃園縣：陸軍司令部，民國 95 年），頁 8-12。

¹¹. 國防部陸軍司令部，野戰砲兵測地教範下冊第八章（桃園縣：陸軍司令部，民國 95 年），頁 8-12。

2. 戰時：

防衛作戰戰備階段提升至「應急戰備」時起，各級砲兵部隊隨戰備行動進程或戰況發展所需，於各時期所實施之「補測」、「防區測地成果驗證」或「軍團(防衛部)砲兵測地」等作業¹²，皆屬戰時測地；然戰時須考量海上敵情發展，來預判其防區測地成果是否完全符合，反舟波攻擊作戰之要求，或預判敵登陸後之戰況進展測地作業之便利性，當發現所屬規劃之計畫目標變換至非計畫位置時，火砲陣地及目標獲得設施需即時變換應變時，常因定位定向系統配賦數不足，恐無法適時提供各砲兵部隊測地作業所需之，測地統制點進行擴張作業，配賦測距經緯儀之部隊也因精度高之控制點、起始方位難尋，加上測地網建置不足或距離過遠等因素，造成作業恐先採應急測地方式實施再行座標統一作業，待時間及戰況允許再完成全部測地，在敵情、作業時間、精度與人力作業上皆較為困難。

戰時如僅依賴 GPS 定位系統實施測地定位作業，或部分依賴精準定位導航之武器裝備，恐遭遇到 GPS 關閉、干擾及遮蔽等不利因素，屆時不僅測地作業受限，部分精準武器也恐難有效發揮，目前我國尚未擁有屬於自己之定位導航衛星，在定位導航方面皆受制於人時，戰時運用 GPS 實施作業實為較不智之選擇。

(二) 作業器材檢討

目前本軍測地作業器材大致可區分四大類：ULISS-30 定位定向系統、測距經緯儀（蔡司 Rec-Elta-13、徠卡 Leica-TPS700）、M2 方向盤含捲尺、其他（雷觀機、望遠鏡、指北針、精確輕型 GPS 接收機（PLGR））等。

1. ULISS-30 定位定向系統

本軍目前共編配有 44 套 ULISS-30 定位定向系統，各聯兵旅砲兵營、軍團砲兵目標獲得連、軍團砲兵營、火箭營及部分外島砲兵營、學校教勤營均編配 1 至 2 套，然自 86 年接裝至今已屆 12 年，裝備漸趨老舊且因屬商維權責有預算編列、招標維修等外在無法掌握因素，造成目前妥善狀況不佳，導致各作戰區目前僅剩 1 至 2 套可遂行任務，部份地區甚至無系統可供使用之情形。

定位定向系統雖其作業有其便利性，且具有精度高之定位定向成

¹². 國防部陸軍司令部，野戰砲兵測地教範下冊第八章（桃園縣：陸軍司令部，民國 95 年），頁 8-19。

果，因無搭配 GPS 使用故戰時不受 GPS 關閉、干擾及遮蔽等影響；但系統造價高昂，調校程序步驟較繁雜，作業需依賴精度高之控制點為作業初始校準，且因受陀螺特性影響其作業範圍、時間較受限制，且需精度高之控制點實施位置更新動作，方能延續其作業精度，系統也無法實施前地作業，系統損壞後本軍無維修能力，諸多不利條件造成系統作業受限。

2. 測距經緯儀

因凱恩測距經緯儀於 97 年初本軍已全面汰除，目前測地作業僅剩蔡司 Rec-Elta-13 測距經緯儀及徠卡 Leica-TPS700 型測距經緯儀兩大類，然蔡司 Rec-Elta-13 測距經緯儀 84 年撥發使用也已屆 14 年，裝備性能也漸趨老舊（因屬電子式測距經緯儀，年久會造成電子老化，且恐造成測角誤差、測距變短、測距時間加長等情形發生），於 97 年採購籌補之徠卡 Leica-TPS700 型測距經緯儀，為目前測地作業最新器材，然因採購有限無法全數撥發至每一個單位使用。

測距經緯儀目前配發至軍團砲兵目標獲得連測量排，砲兵營營部連測量班測量作業組，與定位定向系統搭配使用或無系統時實施連接測地作業使用；測距經緯儀作業時人員需較多 4 至 5 人，作業距離受天候、器材性能、作業人員視力限制，作業距離通常僅 1000 至 1500 公尺，站與站間需靠人力搬運與整置撤收較為耗時，作業精度也常因天候、器材性能、人為因素較難掌握，測距經緯儀起始作業，需依賴上級賦予精度符合測地作業規範之作業起始點，作業要求較高，以測距經緯儀搭配方向盤作業是目前本軍較常見之作業型態。

3. M2 方向盤含捲尺

通常編配於各砲兵連觀通組測量班內使用，以實施陣地測地作業為主，方向盤因使用超過 30 年，裝備妥善現狀逐漸下滑，其所搭配作業之捲尺因以一般捲尺取代原配賦之鋼捲尺，距離量取誤差較大，且作業距離短、作業人數多（6 至 7 人），作業時間長、作業精度較低等，已漸漸不符現代節奏快速之作戰要求。

4. 其他（雷觀機、望遠鏡、指北針、精確輕型 GPS 接收機（PLGR））

當作業時間急迫且測地精度較低（小於 1/1,000）時，前地組可使用開設觀測所之觀測組雷觀機，直接測取要點距離與方位角、高低角，俾計算其座標與標高，雖雷觀機、望遠鏡、指北針均可用於砲兵

測地，但三者均須先行完成磁偏校正後方可作業，且因精度較難掌握所以均屬以應急測地方式實施作業，待獲得上級精確諸元後再行座標統一，成果獲得雖較快卻難於第一時間得到精確測地諸元。

如砲兵營、連獲得精確輕型 GPS 接收機支援，在測地裝備損壞或因故無法即時完成測地，且亟需獲得測地成果提供射擊使用時，可使用 PLGR 實施應急測地，平時如單靠 GPS 作業，除本身座標誤差較大外，其所測得之標高為橢球高，所存在之大地起伏誤差值可達 18 至 20 公尺，戰時 GPS 作業更容易受制於人，常因衛星信號受遮蔽、干擾與欺騙等不利因素影響，作業成果精度令人存疑，且因誤差大除無法提供作業起始外，更無法以地線方式提供方位角使用，故目前雷觀機、望遠鏡、指北針、精確輕型 GPS 接收機（PLGR）均只運用於砲兵應急測地作業階段。

（三）作業精度檢討

為利砲兵部隊發揮統合戰力，有利於間接目的之達成，並可迅速實施大量火力之集中射擊，以達到發揚有觀測之奇襲火力，及行有效之無觀測射擊效果，為達成上述目標其精確之測地成果為主要條件之一。

長久以來砲兵部隊測地作業精度以火砲射擊彈藥殺傷面積、測地作業器材性能、實際作業經驗等計算出一套合理之規範沿用迄今，砲兵營有定位定向系統採閉塞值與已知值之「徑誤差」應小於 7 公尺，標高許可誤差則應小於 3 公尺，當無定位定向系統時採「精度比」應達 1/1,000 以上之要求；軍團砲兵目標獲得連測量排有定位定向系統採閉塞值與已知值之「徑誤差」應小於 3 公尺，標高許可誤差則應小於 1 公尺，當無定位定向系統時採「精度比」應達 1/3,000 以上之要求¹³。

上述精度之獲得條件須有精度高之作業起始點及方位、器材妥善且經過校驗、人員具備合格專業訓練及作業經驗、天候及敵情狀況利我方之作業等有利條件後，再依器材種類耗時 1 小時至 2 小時 30 分鐘（有定位定向系統 1 小時至 2 小時（不含初始校準時間），無定位定向系統 2 小時至 2 小時 30 分鐘）之作業才能獲得以上之精度；要能維持精度需有效克服上述條件，並大符縮減作業時間，才能應付現代化戰爭之節奏，我砲兵測地作業似乎已到了需全面檢討之地步。

¹³. 國防部陸軍司令部，野戰砲兵測地教範下冊第八章（桃園縣：陸軍司令部，民國 95 年），頁 8-11。

二、RTK 於砲兵測地之應用研析

經實際操作 RTK 實施現地作業後發現，除戰時恐受 GPS 關閉、干擾、遮蔽等因素限制外，其較不受天候影響、操作方便且作業人員少、作業時間較短且快速、價格低廉等特性外，最重要是 RTK 作業求取之每個點座標精度皆可達公分以下，每個點都是精度高之衛星控制點、三角點、水準點，如善加運用 RTK 於平時作業，將不再須精度高之點位實施起始作業，大幅減低對高精度點之依賴，並於平時可利用 RTK 精確、快速之作業特性加密各作戰區之測地基準點成果網，戰時之擴張作業將較為便利，其運用研析如后：

（一）運用於防區測地

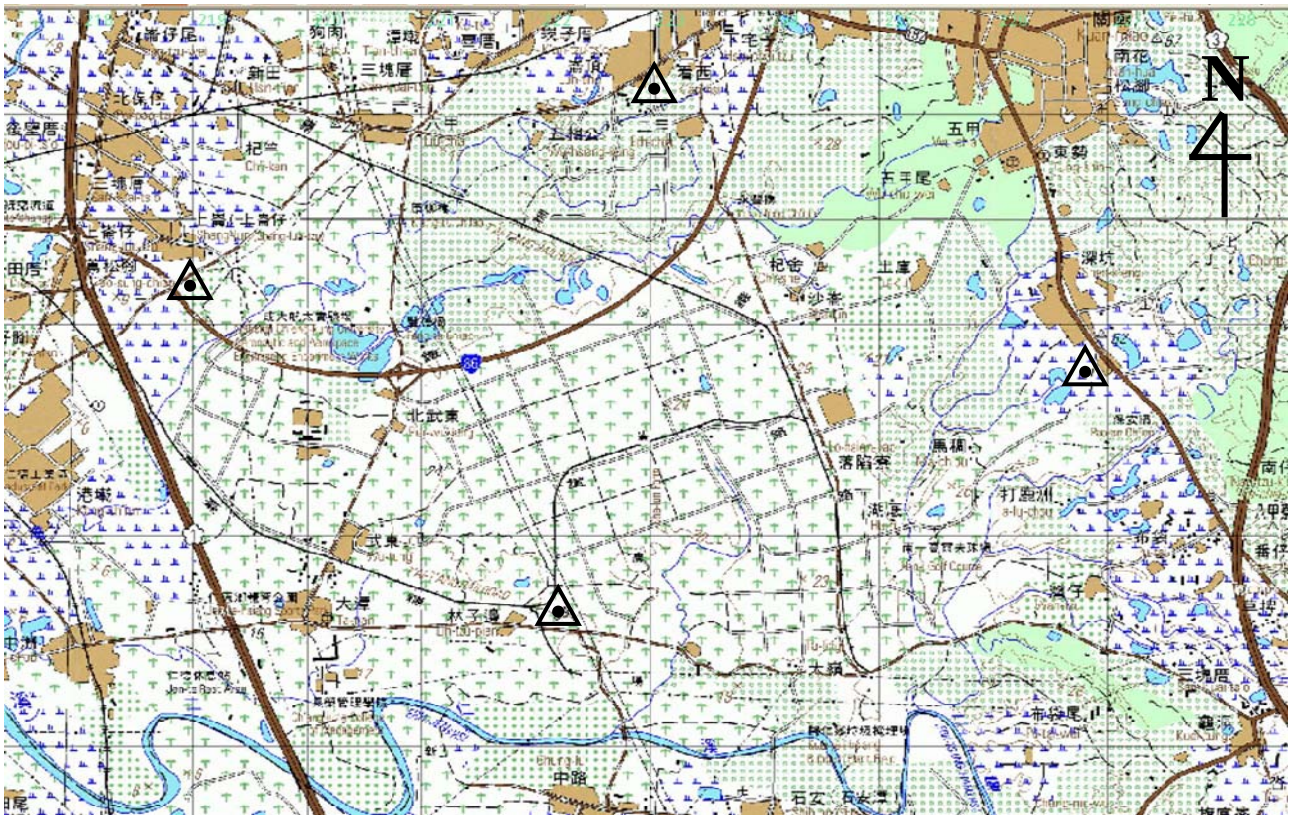
平時以 RTK 結合固安作戰計畫實施防區測地，提供所屬目標獲得設施（如雷達站、氣象台）、賦予所屬砲兵測地統制點及方位統制線，同時設置磁偏校正站提供各單位校正器材，並可快速協助作戰區內各後備、憲兵部隊完成測地作業任務，也可以運用 RTK 於對下級單位實施測地成果檢查驗證工作。

（二）建立測地基準點綿密之控制網

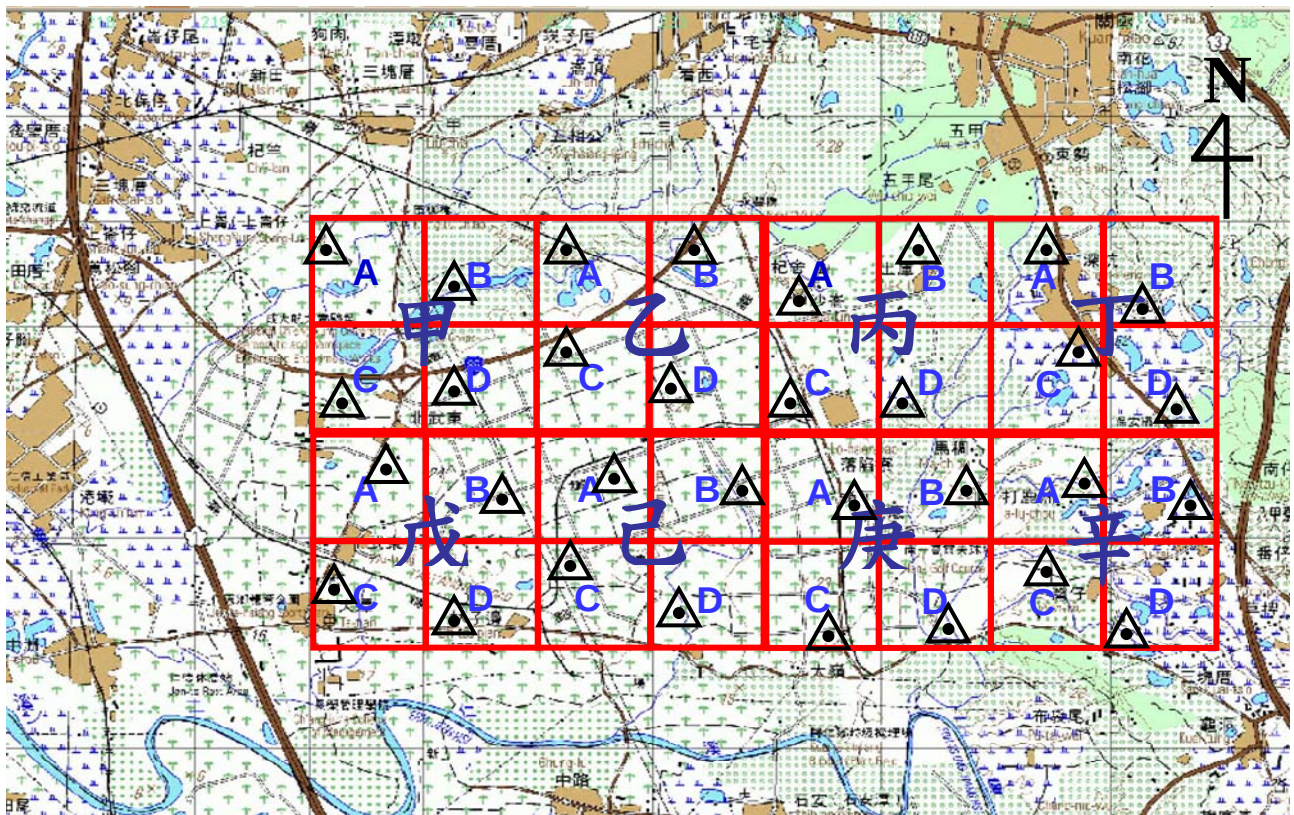
當對下級建立測地統制時，通常在射擊單位（砲兵營）陣地區域 2 公里內，選定獨立、明顯地形設置統制點，並透過相互確認程序，以避免錯誤。如設置過遠（超過 2 公里），將影響射擊單位測地擴張之時效。惟為考量地區幅員與射擊單位未來變換陣地之需要，另應建立足夠數量之測地基準點（即「擴張加密」），供射擊單位擴張與檢查測地成果使用。原各作戰區通常要求加密至每 4 至 9 平方公里設一個點位¹⁴（如圖五），並可依實際需要適切提高密度。

如以目前測距經緯儀之測距功能，可於平時運用 RTK 作業縮小加密至 1 至 2 平方公里設一個點位（可以使用陸上方格方式建立，並將各點賦與編號，其成果彙整分發各級使用如圖六，），且點與點間均須通視，一則便於測距經緯儀測距作業，一則方便利用兩點已知座標計算求出方位快速作業，戰時便不必擔心定位定向系統損壞、上即賦予點位不及、GPS 受干擾、已知點及方位難尋之困擾，以目前現有之測距經緯儀、方向盤均可實施速度快、精度高之測地作業。

¹⁴. 國防部陸軍司令部，野戰砲兵測地教範下冊第九章（桃園縣：陸軍司令部，民國 95 年），頁 9-17。



圖五 原要求 4 至 9 平方公里設一個點位圖



圖六 擴張加密後 1 至 2 平方公里設一個點位

資料來源：筆者自製

（三）運用於砲兵營測地

各砲兵營依照各作戰分區之作戰任務，各個火力計畫案實施砲兵營測地（含各迫砲陣地），並將成果交各射擊指揮所調製射擊圖、射擊諸元表；並依上級賦予之測地基準點（每 1 至 2 平方公里一個點位）以各營實際作戰需求，可再從該點加密建立次等測地基準點，增加其測地網密度，戰時之運用將更靈活、便利；火箭營及 M109 砲兵營平時可依各作戰計畫，於各機動路徑上依需求設立位置更新點，以防定位定向系統損壞影響砲車位置更新之作業。

（四）與現有測量器材搭配使用

目前本軍現有之徠卡 Leica-TPS700 型測距經緯儀，具備與 RTK 現貨市場瑞士徠卡公司所生產之 RTK 系統鏈結，經實際作業驗證後證明，可以相互鏈結及傳輸點位資料（如圖六、七），且本軍現有之徠卡 Leica-TPS700 型測距經緯儀，也可經性能提升後達具備 RTK 及測距經緯儀之雙重功能。



圖 六



圖 七

資料來源：筆者拍攝

（五）測量編組及配賦建議

因 RTK 操作簡便、快速且全中文面板顯示，可縮短人員訓練時間，並且可顯示 GRS67、WGS84（2 度及 6 度）UTM 座標及度分秒地理座標、標高，其標高部份原 GPS 接收值之橢球高（因橢球高內含大地起伏之誤差值，與我測量作業所需之正高誤差值概約 18 至 20 公尺）也自動修訂完畢，在座標求取、計算時間大符精簡，將來如獲得

RTK 後可望大幅精簡測量作業人力，原砲兵營 20 人之測量作業編制可縮減至 10 人，目標連（或本部連）測量排也可大幅精簡；裝備配賦部份各砲兵營僅需 2 套，目標連（或本部連）測量排 3 套，火箭營及 M109 砲兵營各連級 1 套，搭配原編制之測距經緯儀，便可行快速且精度更高之作業。

柒、結語

科技日新月異，雖然 RTK 猶如一把雙面刃，其精度高、速度快、人力少的確誘人，但戰時受 GPS 關閉、干擾等因素，又造成軍方作業時潛藏著不信賴感，但信與不信皆是兩造間片面說法實難公允，如何在兩者間求得共識才是研究重點，面對目前測量裝備現況、作業精度要求、戰場範圍侷限，並須考量戰場節奏快速之腳步，不得不尋求各項有助戰備整備之事，的確 RTK 值得我測量各位先進參考；如未來能獲得也並非萬靈丹，須深入熟悉裝備特、弱點與限制因素，並配合各項精進作法才能事半功倍，而 RTK 運用後勢必改變砲兵原有之測量作業型態，且造價昂貴、操作複雜、故障率較高及維修困難之定位定向系統在戰場範圍侷限之我國，有無存在使用之必然性也將一併值得考量。

參考資料

- 一、侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司。GPS 簡介資料。台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年 12 月。
- 二、侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司。GPS 基本課程資料。台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年 12 月。
- 三、侯嚴仁編。宏遠儀器有限公司。網路型 RTK 架構與應用說明資料。台北縣：宏遠儀器有限公司，民國 96 年 12 月。
- 四、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/CLONASS>。台北市：維基百科，民國 97 年 12 月。
- 五、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/CALILEO>。台北市：維基百科，民國 97 年 12 月。
- 六、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/COMPASS>。台北市：維基百科，民國 97 年 12 月。
- 七、維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/IRNSS>。台北市：維基百科，

民國 97 年 12 月。

八、內政部土地測量局。土地測量局國土測繪中心網站。台北市：內政部，民國 97 年 11 月。

九、國防部陸軍司令部。野戰砲兵測地訓練教範下冊。桃園：國防部陸軍司令部，民國 95 年。

作者基本資料

陸軍砲兵中校，陸軍官校正 57 期、砲校正規班 161 期畢業，曾任連、營長、群參謀主任，現任職砲校目標獲得組測地小組中校主任教官。