

測地之眼 Trimble SX10 掃描全站儀簡介與運用

作者：顏嘉彰 士官長

提要

- 一、在近年來陸軍砲兵目標獲得隨著數位化科技已朝向多元化方式獲取，如在烏俄戰役中發現，以無人機載具實施目標獲得，藉由測繪資訊提升來跟大家介紹 Trimble SX10 掃描全站儀，該儀器與 Trimble S9 全站儀功能相近，SX10 掃描以高精度可建構 3D 影像，提供多選項控制測量，結合 Trimble VISION 影像技術提升，使得測量作業更為簡便與創新。
- 二、Trimble SX10 掃描全站儀本身具備優異性能之外，提供測量、掃描及測繪，並可建構 3D 影像、Sure Point 及 Auto lock 自動鎖定功能及光達掃描功能，其中影像技術可針對廣角、望遠鏡、對中(定心)及主相機功能；角度測量具備多軸改正，如水平軸、垂直軸、橫軸自動改正技術。
- 三、在空間測繪多元化技術下，所提供運用種類不同，就以往採用傳統測量方式測量獲取地理座標，現行測繪技術持續演變與提升，運用方式結合延伸無人載具、快速建構 3D 掃描、RTK、RTX、PPP 等衛星訊號結合運用，測量科技技術是值得讀者，深入探討與了解其中測量運用。

關鍵字：掃描全站儀、光達

前言

國軍野戰砲兵在目標獲得為取得各設施關係位置與定位定向數據(如砲陣地、觀測所、雷達站、目標)，其中在砲兵部隊以營測量班為基礎，採用無定位定向系統及有定位定向系統 2 種方式實施獲得¹，無系統作業方式多以測距經緯儀方式實施目標獲得測量作業，於 109 年全新使用 Trimble S9 測距經緯儀與美軍海軍陸戰隊所使用同款類型²，在裝備儀器使用至今長達 4-5 年，在儀器技術使用上更為熟悉與精進，在測量儀器演進從經緯儀、測距經緯儀(全站儀)至現行多功能 Trimble SX10 掃描全站儀，可發現測量儀器與技術持續突破與精進，藉由本篇向各位讀者介紹新型 Trimble SX10 掃描全站儀與測距經緯儀各項功能介面與差異，使砲兵部隊測量人員能夠了解新知，能接軌測量各項運用，進而提升砲兵測量人員專業知識與運用方式。

Trimble SX10 掃描全站儀組成功能

在野戰砲兵測地作業中測量儀器好壞是決定或影響測量精度重要一環，早期所使用測量儀器，如蔡司 ELTA-13 測距經緯儀、徠卡 TPS-700 測距經緯儀

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 111 年 10 月 5 日)，7 - 514 頁

² 高拔萃、鄭文正，〈測距經緯儀教育訓練〉《砲訓部 108 年測距經緯儀教育訓練投影片》(臺南)，民國 109 年 4 月，頁 3。

³，至現行所使用 Trimble S9 測距經緯儀，然而測繪工業科技進步推出掃瞄全站儀可提供測繪、掃描、工程放樣、即時影像測量功能，藉由 Trimble SX10 掃描全站儀讓讀者了解該儀器具備那些與眾不同技術與功能，搭配 Trimble Business Center 測量軟體(TBC)，可運用於 GPS/GNSS 測量資料後處理，在以往測距經緯儀在軟體介面上，就侷限於測距經緯儀各項功能，在 Trimble S9 測距經緯儀引進取代舊式測距經緯儀後，讓使用者發現測量軟體介面更為彈性、簡便，接下來跟各位讀者逐一簡介 Trimble SX10 掃描全站儀各項組成與功能：

一、掃描全站儀裝備組成

Trimble SX10 掃瞄全站儀，為整合全站儀及高精度掃瞄儀功能，提供測繪作業、空間幾何測量、3D 建模整合製圖、高精度雲點掃描技術等相關測量儀器功能，並可結合 GNSS 衛星系統實施放樣作業更為簡易方便，該儀器經 TAF 環境測試檢驗⁴，Trimble SX10 掃瞄全站儀組成具備器材本體、控制面板、儀器腳架，其相關儀器組成分述如下：

(一) Trimble SX10 掃瞄全站儀

該儀器為多功能掃描全站儀運用 Trimble Access 及 Trimble Business Center 軟體(TBC)，可提供測繪、掃描、工程放樣、即時影像測量功能，具備多相機鏡頭補助測繪運用，可配合 T10X 控制面板遠端驅動操作，主要特點匯集掃描、測量等功能，在系統功能中整合光學影像對中相機，無須透過光學定位鏡投影方式，採影像式實施儀器對正測站，另具備測距經緯儀測距功能，提供無稜鏡測距採雷射(DR)模式可測定 800 公尺以內距離，其內建功能如電子式水準氣泡、自動鎖定功能，在測量作業上為嶄新技術值得深入探討與發掘（如圖 1）。⁵⁶



圖 1 Trimble SX10 掃瞄全站儀示意圖
資料來源：作者自行拍攝

³ 同註 1。附件 4-795 頁。

⁴ 註釋:TAF 環境測試檢驗為第三方檢測公正單位，具備軍規相關檢測技術，如 MIL-STD-810F 測試報告，高低

海拔、高溫、低溫、雨中、濕度、沙塵、防震等相關測試檢測能力。

⁵ 曾育養，〈砲兵測地作業新利器—Trimble S9 測距經緯儀之簡介〉《砲兵季刊》，第 194 期（臺南），110 年

9 月 30 日，頁 37

⁶ 〈Trimble SX10 多功掃瞄全站儀〉www.ticgroup.com.tw/categorys/122.html，索引日期 113 年 7 月 16 日。

(二)T10X 控制面板

在韌體部分具備高效能 i7 處理器，內建儲存空間 1T 及 32GB 記憶體、10.1 吋觸控顯示器、防水防塵等級 IP65、軍規 MIL-STD-810H，電池部分具備熱插拔功能；在軟體部分運用 Trimble Access 及 Trimble Business Center 測量軟體(TBC)可整合測距經緯儀、GNSS、掃描全站儀等功能，可遠端操控驅動掃描全站儀，提供簡便操作方式，人員只需利用 T10X 控制面板操作儀器，不須人員觸碰 Trimble SX10 掃描全站儀來照準目標或測繪位置（如圖 2）。⁷



圖 2T10X 控制面板示意圖

資料來源：作者自行拍攝

(三)腳架

Trimble SX10 掃描全站儀採用同 Trimble S9 全站儀木質腳架（如圖 3），其功用在結合掃描全站儀操作使用，可穩固本體實施操作，避免造成儀器傾倒，採黑色低視度塗裝，可達到隱蔽、掩蔽效果⁸。



圖 3 Trimble SX10 掃描全站儀腳架示意圖

資料來源：作者自行拍攝

⁷ 〈Trimble T10X 使用者指南〉<https://hardwarehelp.trimble.com/PDFs/T10x-UserGde-RevA.pdf>，索引日期 113 年 7 月 16 日。

⁸ 同註 1，頁 39。

二、掃描全站儀裝備功能

Trimble SX10 掃描全站儀在功能配備上，能提供掃描技術、高效能測量軟體、高精度度盤技術、影像處理技術、修正技術、自動鎖定等技術，在 Trimble S9 全站儀部分功能上都能匹配與提供更高階系統功能，就系統功能分述以下幾點說明：

(一)高精度掃描技術

Trimble SX10 掃描全站儀具備 Trimble SureScan 高精度閃電掃描技術與高精度測量，每分鐘可掃描多達 26600 個點雲，並整合 LED 聚光燈於夜間作業時，可建立數值地形模型（DTM），高效率完成地形測量建構與測繪與傳統測量方式逐點方式測繪上，作業時間較為冗長，在整體效益上，Trimble SX10 掃描全站儀在多功能使用上能提供不同作業測量方式⁹。

(二) Trimble Business Center 內建測量軟體¹⁰

Trimble SX10 掃描全站儀內建軟體具備高掃描影像處理、測繪整合功能，透過 Trimble Business Center 軟體提供全站儀、GNSS 衛星接收天線、掃描儀資料解算，亦可匯入 Trimble SX10 掃描全站儀進行點雲資料處理，其軟體功能與 Trimble S9 全站儀相同¹¹（如圖 4）。



圖 4 Trimble Business Center 內建測量軟體示意圖

資料來源：作者自行拍攝

(三)磁浮驅動度盤技術

磁浮伺服馬達技術如同高速鐵路所使用之電磁式驅動技術，與傳統式採用機械式螺旋原理或皮帶帶動原理等方式來驅動度盤，該技術使用於高精度測距經緯儀或全站儀，用於角度感測器裝置及帶對徑讀數裝置、絕對編碼器，主要以消除刻度盤與分光計中心軸線之偏心誤差，其中刻度盤直徑兩端各裝置游標，確

⁹ 高拔萃、鄭文正，〈測距經緯儀教育訓練〉《砲訓部 108 年測距經緯儀教育訓練投影片》（臺南），民國 109 年 4 月，頁 8。

¹⁰ 註釋：Trimble Business Center 內建測量軟體可提供完善測量軟體，可整合 Trimble 各類型測距儀或掃描儀相關資料，避免造成資料無法整合運用。

¹¹ 〈Trimble SX10 多功掃描全站儀〉www.ticgroup.com.tw/categories/122.html，索引日期 113 年 7 月 16 日。

保刻度圓盤誤差，另外絕對編碼器在儀器關機時，提供度盤角度關係位置，減少儀器耗損造成損壞等情況¹²。

(四) Trimble VISION 影像技術

影像系統用於儀器控制，TX10 控制面板可遠端控制儀器，可自動鎖定追蹤目標 360 度稜鏡位置不用人員操作器材，以無線電波或 WiFi 實施連線，透過觸擊螢幕縮放影像焦距清晰度，不須人員透過望遠鏡方式照準目標或標定標測點位置，以主相機、廣角相機、望遠鏡相機等鏡頭，即時將影像顯示於 TX10 控制面板螢幕上，使測繪速度加快更為便利¹³（圖 5）。



圖 5 Trimble VISION 影像技術示意圖

資料來源：作者自行拍攝

(五) Surepoint 修正技術

Trimble SX10 掃描全站儀具備 Surepoint 修正技術，測量人員不必緊盯儀器上水準氣泡，因控制器上螢幕有顯示電子水準氣泡，其中內建補償器會自動補償傾斜功能，當儀器水準氣泡超過補償範圍時，Trimble Access 測量軟體就會以訊號警告，是否接受此測量點¹⁴（圖 6）。

(六) Autolock 自動稜鏡鎖定：

Autolock 自動鎖定技術為 Trimble Business Center 軟體內建關鍵技術，運用方式可於測量作業中，儀器連續照準鎖定稜鏡追蹤，測量人員僅需移動稜鏡變換測站位置，此時儀器可遠端運用 TX10 控制面板儲存該測量點，避免人員在作業過程中，儀器尋找稜鏡位置增加作業時間，亦可於日、夜間作業使用，可提升測繪作業效益¹⁵。

¹² 曾育養，〈砲兵測地作業新利器—Trimble S9 測距經緯儀之簡介〉《砲兵季刊》，第 194 期（臺南），110 年 9 月 30 日，頁 44。

¹³ 同註 10，44 頁

¹⁴ 同註 10，44 頁

¹⁵ 同註 10，45 頁

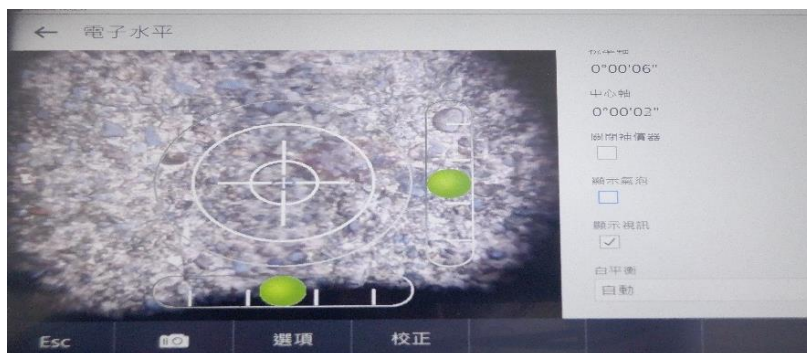


圖 6 電子水準氣泡示意圖

資料來源：作者自行拍攝

掃描儀與全站儀分析比較

在嶄新科技新知不斷演進與提升，就 Trimble SX10 掃描全站儀及 Trimble S9 全站儀在測量作業實務中，掃描儀及全站儀是不可或缺的重要利器，藉由新型儀器推出能瞭解 Trimble SX10 掃描全站儀重要新知與特殊功能，以掃描全站儀、測距經緯儀之儀器功能等方面，進行分析與比較。

一、儀器功能比較

在砲兵測地作業中所使用之儀器為 Trimble S9 測距經緯儀(全站儀)，於民國

109 年向台灣儀器公司採購該儀器與設備，在人員操作訓練上已長達 4-5 年時間，在 Trimble S9 測距經緯儀功能操作與現貨市場中所推出 Trimble SX10 掃描全站儀，進而相互針對關鍵功能介面與測量作業實需，以調製作業系統功能比較表(如表一)，可作為後續學術與教學使用重要參考意見。

二、測試結果分析

在測量儀器操作上，本軍砲兵部隊多以測距經緯儀為主，就測距經緯儀操作實用上，部隊專業操作人員具備合格專長證書審認及實務上操作較為熟悉，就系統儀器不同及相關測量繪製運用上，進行系統功能性及實作操作上分析，以測量班專長班 113-3 期為例，擷取相關作業精度及器材整置操作時間等方向，分析其系統優、缺點如下：

(一)就作業精度而言

在測量作業上測角作業要求極為重要，因無定位定向系統採用導線法或前方交會測量作業，在角度度量測需極為精確，就 Trimble SX10 掃描全站儀及 Trimble S9 全站儀測角精度比較上約 $\pm 0.5-1$ 秒測角精度範圍，於測量幾何作業計算上，能提供相當性可靠數據，在系統誤差上大幅度減少避免造成測量時作業誤差，以曾育養，(109)「砲兵測距經緯儀儀器誤差對測角作業影響之研究-」文中表示，誤差之來源因環境因素、人員操作、儀器未校正、未善用改正等因素所

造成各種誤差種類與類型，如自然誤差、人員記錄錯誤、系統誤差、偶然誤差等

表 1 作業系統功能比較表

作業系統功能比較表		
項目	Trimble SX10 掃描全站儀	Trimble S9 全站儀
測站定心	影像光學定心	雷射定心、光學定心鏡★
掃描功能	標準掃描(區域掃描)6 分鐘 粗掃描(全穹頂掃描)12 分鐘★	帶狀掃描
掃描範圍	360 度*300 度 (水平角/垂直角)	360 度*300 度 (水平角/垂直角)
掃描距離	600M★	250M
掃描間隔	6.5mm、12.5mm、25mm★	10mm
測角精度	±1 秒	±0.5 秒★
測距精度	1mm+1.5ppm	1mm+2ppm
最大測距	5500M	5500M
水準補償器	自動補償±5.4 分	自動補償±5.4 分
水準氣泡	雙軸電子式管型 0.3 秒 圓形 8 分/2mm	雙軸電子式管型 0.3 秒 圓形 8 分/2mm
建構 3D 影像	有	有
電力供應	11.1V，6.5Ah	10.8V，6.5Ah
電池設計	離電池	離電池
作業時間	2-3 小時	6.5 小時★
水準器	電子式水準氣泡	電子式水準氣泡
附屬功能	對中相機、搭配 RTX 改正★	搭配 R2 衛星定位儀、自動鎖定
重量	7.5 公斤	★5.4 公斤
★代表裝備性能概等或較優		

資料來源：

1. 曾育養，〈砲兵測地作業新利器—Trimble S9 測距經緯儀之簡介〉《砲兵季刊》，第194期（臺南），110 年 9 月30日，頁 37。2. 〈Trimble SX10多功掃描全站儀〉

www.ticgroup.com.tw/categorys/122.html，索引日期113年7月16日。3. 〈Trimble S9全站儀〉<http://tianbaonet.com/u/cms/tmnt/201808/0109010018k1.pdf>，索引日期113年7月16日。

誤差¹⁶，需採用其相關改正方法及措施消除誤差或減少誤差產生，以測量班專長班 113-3 期為例及教學勤務人員抽樣驗測，Trimble SX10 掃描全站儀觀測照準光學投影方式於控制器上實施標定作業無須人員透過望遠鏡方式實施照準目標，避免人員姿勢不正確所造成視覺上誤差，以 Trimble S9 全站儀測角作業以目視方式實施照準因操作人員不同，取樣方式較為浮動，其中發現因操作時間要求快速時，造成人員操作角度量測誤差較為不精確，藉由測角作業方式不同比較分析提供參考。

(二)就作業時間而言

國軍砲兵部隊測量專業人員評定專業性，其中以測量儀器整置器材，簡單說明將測距經緯儀儀該項儀器完成架設，並完成儀器定心、定平、歸零、標定等 4 大步驟，以 Trimble SX10 掃描全站儀及 Trimble S9 全站儀實施器材架設整置，以測量班專長班 113-3 期為主，進行人員抽樣針對上述 2 項儀器實施操作，以完成時間進行統計(如圖 7)，發現人員在操作 Trimble S9 全站儀較為熟悉，另在 Trimble SX10 掃描全站儀操作速度與時間較為增加 10-20 秒，綜合上述作業時間而言，其儀器架設整置時間上概等相同，就系統分析說明如後，綜合上述分析在 Trimble S9 全站儀操作上與 Trimble SX10 掃描全站儀功能並駕其驅，也能再後續人員如獲得 Trimble SX10 掃描全站儀亦能快速接軌，並免人員在操作上花長時間熟悉裝備與摸索相關介面。

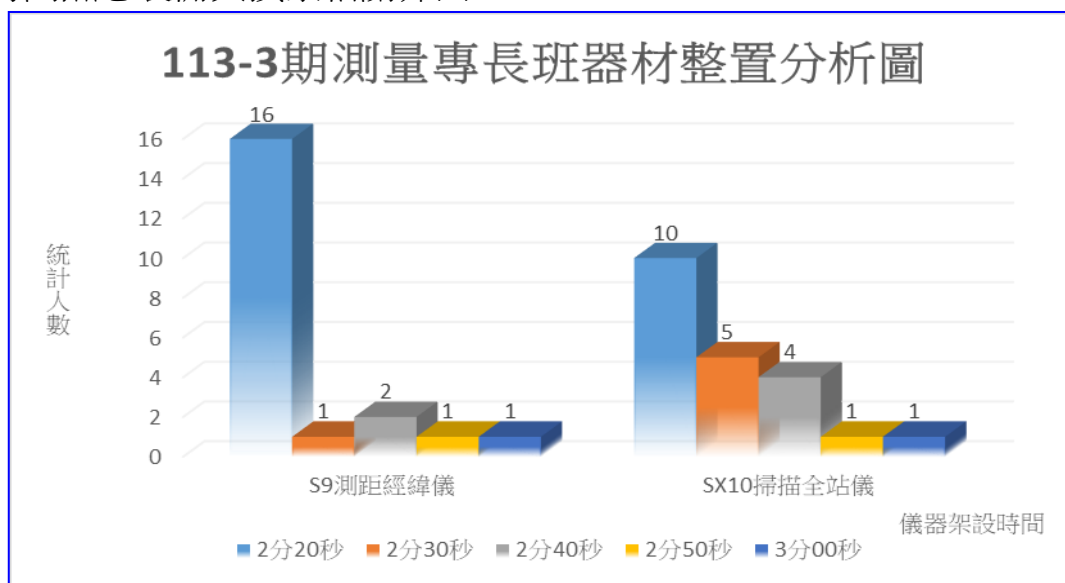


圖 7 器材整置統計分析圖

資料來源：作者自行製作

¹⁶ 曾育養，〈砲兵測距經緯儀儀器誤差對測角作業影響之研究〉《砲兵季刊》，第1940期（臺南），109年 9 月30日，頁 43。

運用 SX10 測地作業之效益

就現況 Trimble S9 全站儀及 Trimble SX10 掃描全站儀在人員操作及裝備功能，舉列下列幾點作業特點及弱點，提供讀者在儀器認知上更能熟悉，整體運用在測地作業之效益，其分述特弱點如下：

一、作業特點

(一)作業人力簡便

在儀器架設整置時，人員採 1 員方式實施架設儀器(整置器材)，操作程序須完成定心、定平、標定、歸零，作業方式區分 4 大程序(如圖 8)，以 Trimble S9 全站儀在專業測量人員操作時，較能熟悉快速完成，應在基礎教育課程幾乎使用測距經緯儀操作，然而 Trimble SX10 掃描儀在操作上，有些許不同，如無目鏡裝置以 VIDIO 螢幕顯示、無光學定心鏡功能以影像投影方式精確對正避免造成偏心誤差等問題，藉由新式設備儀器，提升新知與操作運用。

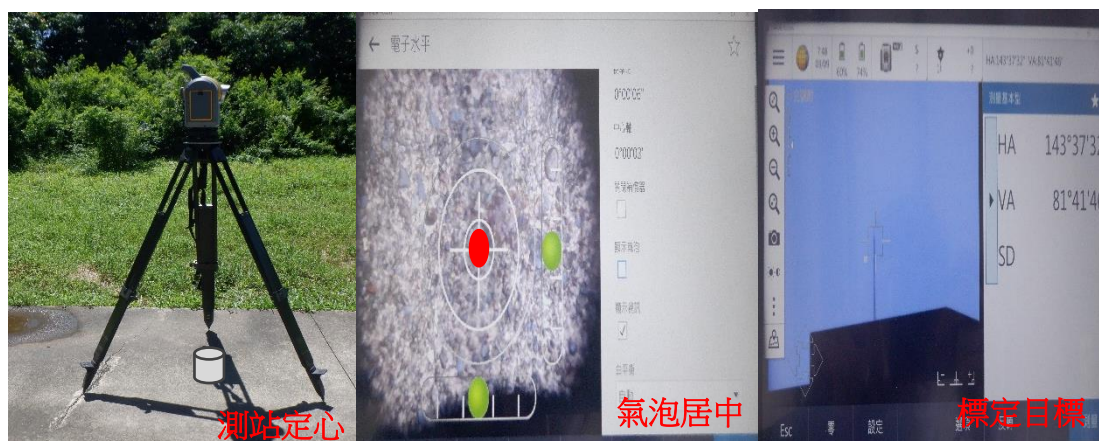


圖 8 整置器材操作示意圖
資料來源：作者自行繪製

(二)快速完成測地作業

Trimble S9 全站儀及 Trimble SX10 掃描全站儀均設置多點式掃描功能，惟在 SX10 掃描儀光達掃描功能更為精細速度更快，其中內建測量作業功能均與測距經緯儀相同，人員在儀器架設完畢後可遠端操作或尋找隱蔽掩蔽位置時施操作儀器，可利用放射測量方式及反交會測量內建直接計算座標，快速達到「速度」與「精度」目的。

(三)中文化操作介面

全球數位科技化均採用多國語言，在使用者操作上均能配合以中文化操作介面，提升使用者在使用儀器上更能快速熟悉記憶各項介面，本儀器內部可設定中、英文操作介面，另外再提供電子化操作手冊方便人員操作使用。

(四)快速建置地面控制點

民間機構及學術單位無人機測地運用方式區分 3 種類型，GCP 地面控

制點(如圖 9)、PPK 動態後處理技術¹⁷與 RTK 即時動態系統。GCP 地面控制點以專案地區設置 GCP 地面控制點，分佈等距大致 300-400 公尺作為適度調整¹⁸，藉由 Trimble SX10 掃瞄儀均設置多點式掃描功能快速鍵置 GCP 地面控制點，提供無人機 PPK 動態後處理技術平差解算，說明 PPK 動態後處理技術，各式無人機在搭載光學酬載鏡頭時，藉由空中巡航及拍攝地表面環景，其中地面規劃如設置 GCP 地面控制點，可藉由後續拍攝圖片與 GOP 地面控制點實施圖片重複堆疊及核對之正確性，使得地表面所獲得之座標更為精確，然而在 GCP 地面控制點建置中極為重要，就像國軍砲兵在年度防區測地評鑑中，最重要建立測地基準點及衛星控制點，增加點位密集度，提升減少作業時效性為重要一環。

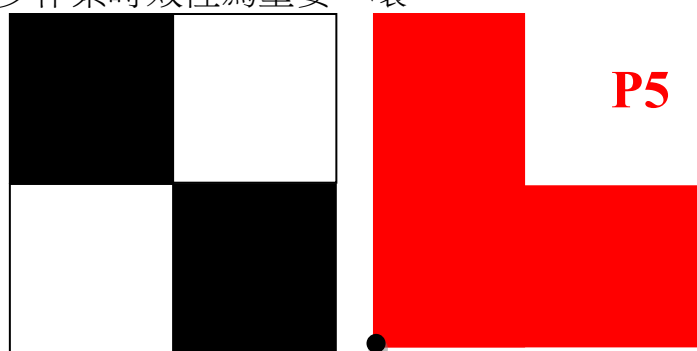


圖 9 GCP 地面控制點示意圖

資料來源：作者自行繪製

二、作業弱點

(一)GNSS 信號限制

我國未具備自主衛星系統，端賴現行衛星系統發展較為純熟國家，能耳熟能詳的舉例如美國的「全球衛星定位系統」(Global Positioning System, 簡稱 GPS)或俄羅斯的「全球導航衛星系統」(Global Navigation Satellite System, GLONASS)、伽利略衛星系統 (Galileo)、中國大陸的「北斗衛星導航系統」，被世界各國用戶廣泛使用都簡稱為 GNSS 衛星導航定位系統 (GPS+GLO+GAL+BDS+QZSS)，然而 Trimble SX10 掃瞄儀須配合 GNSS 接收衛星訊號亦能快速提供點雲測繪資訊，此 GNSS 信號限制惟現行不可或缺重點關鍵指標。就如同 GNSS 全球導航衛星定位系統誤差，說明美國「全球定位

¹⁷ PPK 為(Post-Processing Kinematic, RPK)動態後處理技術，同利用基準站及移動站接收 GNSS 載波相位觀測定位資料，在利用後製測量解算軟體，將基準站及移動站進行差分平差解算，不須利用網路及無線電波方式實施解算，蕭宇伸、陳祥茵，以無人機 PPK 及 RTK 技術建置地形圖之可行性評估，
<https://swcdis.nchu.edu.tw/AllDataPos/JournalIP/>，索引日期 113 年 2 月 6 日，2487 頁。

¹⁸ GCP 地面控制點，於地面設置已知點使得無人機，在執行空拍測量時能夠提供額外數值增加精確性，也可配合 PPK 及 RTK 作業方式運用，其中大部分運用於航拍過程中攝影或拍攝測量地圖，其中圖像數量較多如使用手動拼接時較為困難，多以 GCP 地面控制點結合 PIX4D 軟體進行拼接，使得圖資更為精確。
<https://www.geoforce.com.tw/>，索引日期 113 年 4 月 8 日。

系統」在衛星訊號中加入了「選擇式適用性效應」(Selective Availability, SA)等保護措施，平時採關閉狀態，戰時將刻意將衛星時鐘的精確時間加入不規則變化之誤差，以上文可鑒衛星訊號以多星系多頻道，採用 GNSS 訊號才可大幅度增加 PDOP 衛星解析因子之可靠度¹⁹（如圖 10）。

觀測數據點			
局部坐標：			
北：	2,509,212.696		
東：	197,377.404		
高程：	35.433		
解質量：			
解：	網絡 浮點解		
衛星數：	11 (11 最小)		
水平精度：	0.569	垂直精度：	1.136
PDOP：	1.30		
時段時間：			
0:06	數量狀態	正在測量	
接受		GNSS狀態	

圖 10 RTK 觀測數據 PDOP 衛星解析因子示意圖

資料來源：中翰國際科技有限公司教育訓練資料

(二)網際網路通信限制

Trimble SX10 掃描儀透過 TX10 控制面板內建無線電波及 WiFi 方式傳達其操作指令，其中 Trimble SX10 掃描儀須搭配 RTK 衛星即時動態系統接收衛星定位座標及標高，然而 RTK 衛星即時動態系統為現行空間測繪趨勢，採用網路型 RTK 以 4G、5G 網際網路通訊或搭配 Trimble 自主衛星訊號 RTX，結合運用其網路衛星訊號增加彈性運用，其網際網路通信限制為保密安全重要課題及研討事項（如圖 11）。



圖 11 搭配 RTK 衛星即時動態系統示意圖

資料來源：作者自行繪製

¹⁹卓以民，〈中共第三代「北斗衛星導航系統」發展與運用研究〉《砲兵季刊》，第 188 期（臺南），109 年 3 月 30 日，頁 108。

三、效益分析

綜合上述優、缺點，使用者在運用上除原本測距經緯儀相關運用及儀器設定外，增加遠端 TX10 控制面板控制，又可搭配 RTK 衛星即時動態系統及 Trimble 自主衛星訊號 RTX 訊號等方式，提升效益上亦可整合測量儀器不足部分，在儀器系統多採用民間測量儀器，在接軌軍民測量運用與技術均能同步，避免人員操作上因軍事機構與民間單位等運用上無法結合，在後續人員教育訓練及裝備提升等運用技術上更為緊密，減少人員熟悉裝備儀器等功能介面，花費更多時間實施教育訓練，藉由效益分析得知 Trimble SX10 掃瞄全站儀在功能上與搭配 RTK 衛星即時動態系統、Trimble 自主衛星訊號 RTX 所獲得之效益可顯著提升，然而不可避免衛星訊號限制因素等關係，是測量作業使用者須審思問題，因以各種測量技術取得成果，進而堆疊測量成果獲得具有可靠度之測量成果。

SX10 全站掃描儀砲兵運用

目標獲得在瞬息萬變的戰場對野戰砲兵極為重要，目標獲得其重要性是爭取砲兵在火力發揚之精準射擊，取決在座標精確性，其中 SX10 全站掃描儀具備功能性多元化，藉由本篇上述討論與研究在砲兵運用層面與技術闡述說明。

一、地面戰場監偵掃描

本軍國土腹地不像烏克蘭國家國土腹地較為廣闊，地理圖資與現況常因天候環境影響或強烈地震較為頻繁受影響，在整體地面戰場持續變化中，國軍在戰場經營層面上應持續加強熟悉環境地形、地貌，因 SX10 掃瞄全站儀及 Trimble S9 全站儀具備高度掃描功能及高精度相機，在運用上搭配 RTK 衛星即時動態系統及 Trimble 自主衛星訊號 RTX 訊號等方式，可結合兵要蒐集等要項，提供兵要照(圖)片及目標獲得快速建檔；在監偵掃描部分因前線地面人員除以各式無人機實施偵蒐外，砲兵部隊現行觀測人員以多功能雷觀機約 7 倍實施觀測射彈，然而 SX10 掃瞄全站儀具備望遠鏡功能 30 倍倍率在人員操作上可遠端操作，在國軍部隊人員除本身專業操作武器以外以朝向多專多能，現行作戰不僅能取決單一專長，就測量人員作業人員因地形關係彌補觀測射界不足，以 SX10 掃瞄全站儀或 Trimble S9 全站儀提供戰場環境監視是不可或缺一環。

二、提升目標獲得運用

在野戰砲兵目標獲得中精確座標為重要指標，其中衛星訊號須同步解算獲得高精確度，可藉由 Trimble CenterPoint RTX Marine 即時改正衛星服務訊號，利用全球追蹤站的即時衛星定位資料，透過高精確的改正資料以地球同步衛星來提升 GNSS 衛星接收定位之精確性，座標收斂改正速度約小於 1-3 分鐘，座標精度可達 MRS：2-5 公分，砲兵目標獲得以使用多功能雷觀機快速定位精度

約 ± 5 公尺，在目標觀測使用上極為重要，若藉由 **Satellite-Based- Augmentation System** 全球衛星增強系統(SBAS)提供更精確座標，透過地球靜止軌道(GEO)衛星搭載衛星導航增強信號發射器²⁰，修正其誤差種類如電離層、對流層、多路徑效應、星歷及時間鐘錶等誤差(如表二)²¹，其中以區域型種類區分 **WAAS**(美國增強型衛星導航系統)、**EGNOS**(歐洲增強型衛星導航系統)、**MSAS**(日本增強型衛星導航系統)、**GAGAN**(印度增強型衛星導航系統)、**SDCM**(俄國增強型衛星導航系統)區域型衛星訊號，若提供該衛星訊號亦能增加目標獲得座標精度準確性等方式。

表2 GNSS衛星定位測量誤差分析表

GNSS 衛星定位測量誤差分析表			
誤差種類	誤差導致原因	減落消除方法	因應消除種類方式
電離層 折射誤差	電離層內離子化的粒子和電子且不穩定狀態，對 GPS 定位影響甚鉅，也不易完全消除。會對無線電訊號造成影響，導致衛星訊號的傳播時間延遲。	1.以雙頻觀測量之無電離層效應差分線性組合觀測量，可消除大部分電離層誤差。	1.採地面一次差 以兩部接收儀對同一顆衛星之觀測方程式相減而得。
對流層 折射誤差	對流層是會對無線電訊號產生折射，大部分影響區分乾溼分量，前者以溫度及壓力有關，後者以大氣濕度與高度有關。	2.利用電離層模式加以修正 3.盡量於晚上觀測 4.衛星高度角至少大於 15 度 5.利用差分技術減少誤差 6.增加觀測時間，遠離反射平面物體。	2.採空中一次差 以一部接收儀對兩顆衛星之觀測方程式相減而得。 3.採空中兩次差 以兩部接收儀對兩顆衛星之兩地面或空中一次差觀測方程式相減而得。
多路徑效應	天線除了直接接收衛星訊號外，可能同時接收接收周圍訊號，導致接收儀無法判斷量測真正得相位觀測量		4.採空中三次差 以兩部接收儀對兩顆衛星在不同時刻之兩次差方程式相減而得。
星歷及時間 鐘錶誤差	其誤差因系統時間與標準 GPS 時間之產生差異。稱為時間鐘錶誤差	衛星訊號接收機採用接收衛星廣播時間採用精密單點定位(PPP)技術，以 GNSS 訊號、精密衛星軌道、衛星時鐘等方式獲得時間改正數據。	與國際間時間 GNSS 服務(IGS)比對觀測站名稱 TWTF ，進行遠端時頻校正服務
註：透過觀測方程式相減得不同組合方式消除多於參數，在進行必要計算即為差分定位，具提升解算速度和提高定位精度之優點。			

資料來源：1.林宏麟，乙級工程測量技術士學科題庫題解，2016年5月，第296頁。

2.國家時間與頻率標準實驗室，<https://www.stdtime.gov.tw>，檢索日期：民國113年7月16

²⁰ 陳楷權、溫培基，〈衛星發展對砲兵部隊影響之啟示〉《砲兵季刊》（臺南），第 205 期，陸軍砲訓部，民國 113 年 6 月 15 日，頁 2。

²¹ 林宏麟，乙級工程測量技術士學科題庫題解，2016 年 5 月，第 296 頁。

日。

三、無人機 PPK 軟體平差解算

通常用於航測採光束平差法(Bundle Adjustment)方式平差解算類似空中三角法平差解算²²²³，PPK(Post-Processing Kinematic, RPK)GPS 動態後處理技術，已完成測繪後再由測量軟體進行平差解算，解算後坐標精度可達 1-2 公分，與 RTK 即時動態系統(Real-Time Kinematic, RTK)，設置基站方式於已知點進而與移動站即時解算坐標成果，無人機現行運用方式因使用特性不同多以衛星控制點為基礎（如圖 12）。

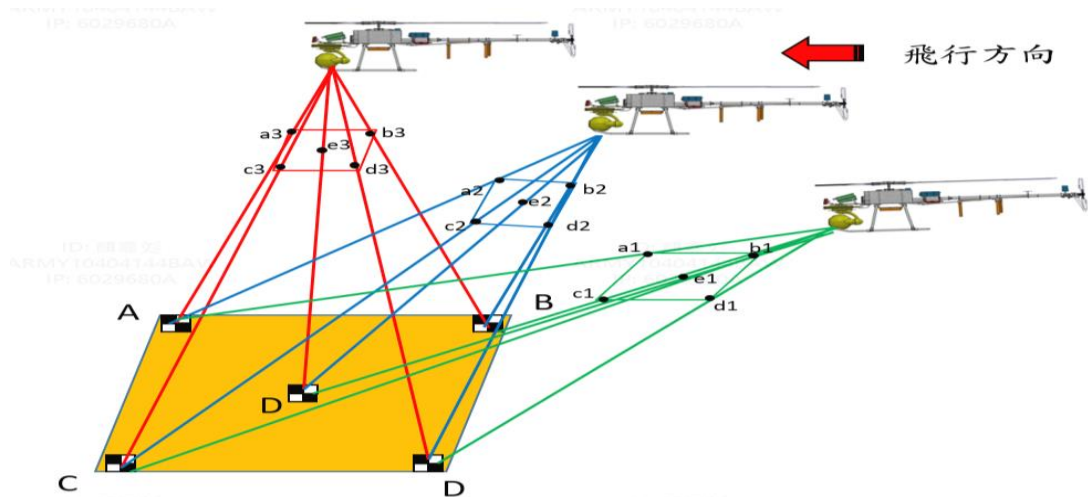


圖 12 採光束平差法示意圖

資料來源：1.陳昱芸，無人機航拍之空中三角測量精度與控制配置探討，104 年 8 月，頁 8。2.作者自行繪製。

四、小結

綜上述系統分析特、弱點及運用效益中，可發現在各種 2D、3D 定理空間環境下，都需要仰賴各種點跟點之間確定性，在點座標的獲得中，本國因無自主性衛星系統，多採用商用衛星系統獲得點座標之正確性，然而衛星定位座標因地理關係接收訊號的問題可以發掘相關上述問題值得讀者了解與借鏡，而不是單單相信及無重驗證，在砲兵測量作業上持續精進與獲得各種新知，以提升測量技術與運用，藉由分析與運用我們得知現行趨勢以無人機為首要，可藉由文獻探討後歸納無人機採用光束平差法方式另以 GCP 地面控制點實施各項圖層拼接以獲得更精確座標，因獲得相關新知後在實際面上，藉由後續裝備獲得後再逐一實施研究與驗證可行性與正確性。

²² 陳昱芸，無人機航拍之空中三角測量精度與控制配置探討，104 年 8 月，頁 8，
<https://tdr.lib.ntu.edu.tw/bistream/123456789/4389/1/ntu-104-1.pdf>。

²³ GCP 地面控制點，可將測繪攝影地圖及周圍地理區域精確對齊，避免拍攝測繪失真，通常以無人機運用空拍測量及比對資料，GCP 地面控制點選擇於地圖地幅周為角落及中央位置。

結語

筆者持續獲得新知與更新，在教學上利用空餘時間研究相關性或延伸性新型裝備，藉由本篇測地之眼 Trimble SX10 掃描全站儀簡介與運用，進而發現掃描儀搭配 RTK 衛星即時動態系統，增加測量作業上「速度」與「精度」，以提供砲兵精準火力達奇襲之火力，亦提升砲兵部隊戰場存活力，另增加目標獲得能力彌補觀測射界，提升專業人員多專多能減少戰場遊兵，發揮整體作戰效能。

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 5 日），7-514 頁。
- 二、高拔萃、鄭文正，〈測距經緯儀教育訓練〉《砲訓部 108 年測距經緯儀教育訓練投影片》（臺南），民國 109 年 4 月，頁 8。
- 三、國家時間與頻率標準實驗室，<https://www.stdtime.gov.tw>，檢索日期：民國 113 年 7 月 16 日。
- 四、林宏麟，乙級工程測量技術士學科題庫題解，2016 年 5 月，第 296 頁。
- 五、曾育養，〈砲兵測地作業新利器—Trimble S9 測距經緯儀之簡介〉《砲兵季刊》，第 194 期（臺南），110 年 9 月 30 日，頁 44。
- 六、卓以民，〈中共第三代「北斗衛星導航系統」發展與運用研究〉《砲兵季刊》，第 188 期（臺南），109 年 3 月 30 日，頁 108。
- 七、陳楷檣、溫培基，〈衛星發展對砲兵部隊影響之啟示〉《砲兵季刊》（臺南），第 205 期，陸軍砲訓部，民 113 年 6 月 15 日，頁 2。
- 八、蕭宇伸、陳祥茵，以無人機 PPK 及 RTK 技術建置地形圖之可行性評估，<https://swcdis.nchu.edu.tw/AllDataPos/JournalP/>，索引日期 113 年 2 月 6 日，2487 頁。
- 九、〈Trimble T10X 使用者指南〉<https://hardwarehelp.trimble.com/PDFs/T10x-UserGde-RevA.pdf>，索引日期 113 年 7 月 16 日。
- 十、〈Trimble SX10 多功掃描全站儀〉www.ticgroup.com.tw/categories/122.html，索引日期 113 年 7 月 16 日。
- 十一、GCP 地面控制點，<https://www.geoforce.com.tw/>，索引日期 113 年 4 月 8 日。
- 十二、陳昱芸，無人機航拍之空中三角測量精度與控制配置探討，104 年 8 月，頁 8，<https://tdr.libntu.edu.tw/bistream/123456789/4389/1/ntu-104-1.pdf>。

作者簡介

顏嘉彰士官長，陸軍專科學校士官長正規班 39 期畢業，曾任測量班長、連士官督導長，現任職陸軍砲兵訓練指揮部目標獲得組士官長教官。