

中國大陸北斗衛星定位系統近況

The Recent Development of China's BeiDou Navigation Satellite System

鍾 堅 (Chung, Chien)

國立清華大學榮譽退休教授

壹、前言

今（2018）年3月30日，中國大陸（以下簡稱大陸）成功發射一箭雙星，將第三代北斗衛星定位系統使用的M9與M10導航衛星，推入同一太空軌道部署在不同的位置，這使大陸北斗定位系統運作中的在軌導航衛星共有29枚。定位與導航是當代軍事行動勝敗關鍵之所在，繼先進國家陸續部署排它性強烈的衛星導航系統後，考量國家安全與自主國防，大陸也不遑多讓，為超美趕俄推出三步走的北斗衛星定位系統。唯北斗系統面臨諸多挑戰如涵蓋範圍尚未普及全球、衛訊頻道與它國系統重疊相互干擾、導航衛星汰換太過頻繁、商用服務侷限過大、衛星於戰時定會遭受威脅等。當然，在太空部署自製衛星導航系統有總比沒有好，唯愈多未必就愈好。慣用在軌導航衛星定位的現代化武裝部隊，一旦衛訊訊源消失，會立即造成軍事行動不順暢，甚至戰局翻轉，遭劣勢裝備的對手擊潰。

貳、傳統定位與導航

自古以來行船走馬特別是軍事行動深怕迷途，遂有定位的需求，也就

衍生出地文定位。遠古時代的陸域行旅，依山海河湖、村落城寨等地形地貌，當作地標指引前行。航海舟旅則大都沿著海岸航行，以所見的陸上地標如山形河口，手繪成對景圖，再輔之以文字說明，就成為早期運用地文定位的航路水道誌，如元朝揚帆南海的《更路簿》。為了方便夜航的地文定位與導航，其後推出要地的燈塔，供討海人標定船位。等到上一世紀飛行器問世後，由於飛的不遠、飛的也不高，照樣沿用地文定位與導航，以駕駛員在飛行途中目視山峰相對高度、湖泊形狀等三維地貌，進行滾動式定位與導航。

唯艦船或飛機進入一望無際的大洋，沒有陸域山川地形用來實施地文定位與導航，就有賴前輩經驗累積的天文定位，測出浩瀚大海中艦船的船位或飛機的位置。在拂曉與終昏的微光中，觀測天體與星座內至少三顆以上閃亮星座，加以計算後可在航圖上劃出至少三條位置線。通常在航圖上三條位置線交會於一點，就是最佳定位，交會點就是海上艦船的船位或飛機對地的位置，天文定位在浩瀚的海域誤差可達一哩以內。有了定位的位置，再參照目標的方位與羅盤指向，就可引導、修正艦船或飛機的航向。

二戰戰後，無線電波運用成熟，有識者鑑於在海象、氣象惡劣天候下航行或飛行，無法實施天文定位與地文定位，又發展出電波定位的羅遠導航儀，接收設於特定陸域的雙塔發射之電波，根據雙塔的間距與來波之相位差，可反推自己的位置；唯誤差較大，未必會比手工繪製天文定位的三線交會點更準確。當然，人造衛星科技日新月異，晚近運用導航衛星定位，誤差更可低到僅有數公尺。

參、衛星定位與導航

人類首次將太空載具由火箭運送推入太空，係由前蘇聯搶得頭香：1957年蘇聯將自製人造衛星送上太空軌道。衛星可進行偵照、遙測、通訊、觀察、科研等任務，當然也可以作為地球上用戶的定位與導航。它的原理不難，用戶甲與在軌導航衛星乙的距離，透過衛訊訊號測知為A，則用戶甲的位置，必落在以導航衛星乙的位置為球心、間距A為半徑的球面上。若用戶甲與另一在軌導航衛星丙的距離為B，也可畫出以導航衛星丙

的位置為球心、間距 B 為半徑的球面；兩球面交集的切面，就是用戶甲位置座落之所在。若有第 3 枚在軌導航衛星丁加入定位，三球面交集的切點就是用戶甲在地球上正確的位置。運用多枚在軌導航衛星連續定位，可測得用戶的經度、緯度、高度與速度；再比對用戶目標之方位與距離，用戶就可手動操作導航甚至啟用自動導航。

衛星定位的電波訊號係以光速傳播，測得導航衛星與用戶的間距，若在軌導航衛星的計時鐘有自差，就會產生光速往返的測距誤差；愈多枚導航衛星加入定位，誤差亦形不斷放大。就算在軌導航衛星採用最精確的原子鐘，還是會累積可觀的誤差；為提高定位精度減少誤差，地面主控站與基準站臺可使用差分技術，運用參考地標修正用戶定位數值，從而提高精度。

執衛星定位與導航牛耳者，首推美國。美軍在武器飛彈化、裝備電腦化、投射精準化的作戰需求下，於 1958 年投入第一階段衛星定位與導航的研發，1978 年啟動第二階段的研製衛星和在軌導航測試。第三階段於 1994 年推出人所熟知的全球衛星定位系統 GPS 以服務用戶。該系統由 24 枚在軌導航衛星分配在 6 個太空軌道上，確保用戶隨時隨處都可觀測到四枚在軌導航衛星；GPS 地面設施包含 1 個主控站、3 個數據匯流站與 5 個測控基準站，當然，定位系統還包括用戶端的 GPS 接收器。

美國 GPS 系統的定位與導航優點如下：低頻衛訊在惡劣氣候條件下穿透性強易於接收、全球覆蓋率高達 98%，用戶端三維空場定位、定速、定時的誤差小、定位快速省時高效，軍用與民用範圍廣泛且功能多，用戶只收不發增加隱蔽性等。為打破美國寡占定位與導航的全球市場，俄羅斯重拾回前蘇聯於 1982 年研製的 GLONASS 全球定位系統，目前已啟動軍用與商用定位服務，在軌導航衛星計畫增加到 27 枚。歐盟則與美俄互別苗頭，於本世紀初集資推出 GALILEO 全球定位系統，由 30 枚在軌導航衛星組成，預定於 2020 年啟動商用定位服務。為了國家安全與自主國防，其他的大國也陸續推出排它性強的區域衛星定位系統，如印度的 NAVIC 導航衛星定位系統、法國的 DORIS 定位系統、日本的 QZSS 導航衛星定位系統；大陸也不落人後，為超美趕俄推出自製的全球定位系統，預定 2020 年完成全球定位服務。

肆、北斗衛星定位系統規劃與起手式

傳統的地文定位與天文定位，用戶只要有基本學識及簡易器材如望遠鏡、羅盤與六分儀，就可上手，沒有排它性。電波定位受控於地主國，一旦電波遭關閉就無法使用。衛星定位系統則更具強烈的排它性，擁有導航衛星的國家隨時可將定位訊源亂碼或鎖碼，用戶端會瞬間喪失訊源無從定位。以導彈為例，若依賴他國導航衛星商規編碼定位，瞬間喪失訊源勢將無法飛抵目標，更無從遂行精準攻擊。為此，大陸自始就揚棄外國提供的商用衛星定位服務，轉而發展自有系統。

1970 年大陸首枚人造衛星發射成功的同時，共軍也開啟代號為「燈塔」的導航衛星定位規劃；1983 年，大陸完成雙星在小區域對用戶定位的論述，1989 年，大陸運用兩枚在軌衛星，成功驗證雙星定位確實可行。在共軍總參與總政、國防科工局、國防科大、中國科學院、航天科技集團與電子科技集團共同參與下，共軍於 1994 年提呈北斗衛星定位系統「三步走」的戰略布局。

三步走的首步起手式，是立項「北斗衛星導航試驗系統」或稱「北斗一號系統」，2000 年大陸陸續發射三枚導航衛星至赤道天頂的地球靜止軌道 GEO 上，其中 2 枚為工作衛星，1 枚為戰備衛星，組成北斗一號導航衛星群。地面測控由中控站與標校臺組成，中控站負責控制在軌導航衛星飛行姿態、校正電離層干擾、用戶端查證與有源雙向加密短報文的收發，標校臺則負責差分基準校正。北斗一號服務範圍涵蓋黑龍江、關島、南沙群島至哈薩克間的小區域，唯定位誤差高達百公尺，即便經過差分基準校正仍有 20 公尺；有源雙向定位回報無法即時標定，致雙向去回訊源時差高達 1 秒，雙向授時誤差也高達 20 奈秒。成本相對低廉的北斗一號定位功能，無法與當時美國 GPS 系統相提並論。

此外，北斗一號雙星定位無法對用戶定速，不能定速就無法導航，有源雙向定位也曝露用戶位置，保密性不佳。由於此系統的用戶容量受限，定位頻度與精度不良，對共軍精準武器就無從制導。在戰時，北斗一號形同無效兵力，也注定三步走的首步起手式遲早會遭汰換。為此，大陸於 2003 年參與歐盟 GALILEO 計畫，投資兩億餘歐元取經，換取最新的導航

衛星定位科技；唯歐盟鑑於大陸聚焦軍事用途，遂於 2008 年與大陸終止合作。

伍、北斗衛星定位系統近況

三步走的第二步，是另行立項的「北斗衛星導航系統」或稱「北斗二號系統」。2004 年起，大陸承接北斗一號的經驗，延續既存的有源雙向發送短報文的功能，推出多達 16 枚導航衛星組成的北斗二號系統，自 2007 年起陸續發射導航衛星升天，其中 5 枚部署在 GEO 之上，包括沿用北斗一號的在軌導航衛星，另 5 枚部署在地球同步軌道 GSO 之上，4 枚部署在中地球軌道 MEO 之上，兩枚為在軌戰備衛星，服務範圍擴大至西伯利亞、夏威夷、澳大利亞至中亞間的大區域。北斗二號系統的定位服務分兩類，一類為開放式的商用免費服務，唯用戶須向大陸購置定位接收器；另一類則是定位服務的主流，即針對共軍的加密授信服務，兩類的服務精度大相逕庭。

北斗二號商用免費服務，對用戶端的無源被動接收衛訊之精度為：經緯度與海拔的定位誤差約十公尺，定速誤差每小時約七百公尺，授時誤差更高達 50 奈秒，可提供雙向發送短報文但不提供雙向授時。強制使用商規定位系統的用戶，有大陸四萬餘艘漁輪與十餘萬輛特種商用車。軍用版的定位精度更高，經緯度與海拔的定位誤差僅 1 公尺，雙向發送加密短報文的單筆容量，可達一百二十個亂碼全形字。

2012 年習近平接掌政權後，有鑑於共軍的維和派遣與人道救援任務遍及全球，國防相關的調研也深入南極與北極，遂於 2015 年啟動三步走的最後一步，就是再予立項的「北斗衛星第三代導航系統」或稱「北斗三號系統」。為沖淡邁向全球定位的軍事用途色彩，還特別將習近平倡議橫貫歐亞的「一帶一路」，也帶入北斗三號全球定位商用服務的範圍。

北斗三號系統將由 35 枚導航衛星群組成，包括既有的 5 枚 GEO 在軌導航衛星、3 枚 GSO 在軌導航衛星與 27 枚 MEO 在軌導航衛星。首枚第三代導航衛星於 2015 年 3 月發射升空，迄今年 5 月止，第三代導航衛星已發射 13 枚在軌。按照時程，北斗三號系統服務範圍將在今年底涵蓋歐

亞大陸，2030 年完成全球定位服務。為涵蓋全球，北斗三號地面測控站臺也必須部署全球，大陸目前正與東協國家洽談，以「全球定位科技夥伴」為名，在它國建置地面站臺聯網，爾後更會擴及一帶一路上的友好國家設站。

陸、大陸北斗衛星定位面臨的挑戰

大陸北斗系統算是較晚才搭上衛星定位末班車，固然彰顯大陸國防自主的決心，唯北斗系統面臨一連串挑戰：涵蓋範圍尚未普及全球、衛訊頻道與它國系統重疊相互干擾、導航衛星汰換太過頻繁、商用服務侷限過大、衛星於戰時定會遭受威脅等。

北斗系統面臨的第一個挑戰是涵蓋範圍尚未普及全球。以目前部署在 GEO 上的 5 枚在軌導航衛星看來，這些靜止在赤道天頂的衛星，均勻配置在印度洋塞席爾與太平洋諾魯間的外太空。這也說明在戰時共軍精準武器制導的作戰範圍，聚焦在亞太地區。若要跨出 GEO 在軌導航衛星涵蓋區域執行遠攻，如運用東風四十一洲際彈道導彈攻擊美洲，就得使用北斗系統進行機動式覆蓋，否則共軍導彈的多彈頭無法接收導航滾動式的訊源，就不能變軌飛向目標接戰。

第二個挑戰是衛訊頻道與它國系統重疊相互干擾。北斗系統準備使用的衛訊頻道 E 波段與歐盟 GALILEO 全球定位系統重疊，L 波段也與美國 GPS 定位系統重疊；先來後到的商規應用，到底誰有優先權，爭議恐怕要提交「國際電信聯盟」仲裁。至於軍規波段特別是 Q 頻譜，雖具有較長的編碼與更強的抗干擾能力，但在戰時，交戰雙方相互干擾無從規避，能及時跳頻抗干擾方能勝出；鑑於大陸衛訊導航落後先進國家整整一個世代，要在相互干擾中先贏全勝，難度頗高。

北斗系統面臨的第三個挑戰是導航衛星汰換太過頻繁。大陸導航衛星主部件與零附件尚未達致完全自研、自製、自產、自用，很多晶片元件都仰賴進口國外的商規相容產品，零附件規格紊亂也導致系統整合十分不易；在軌衛星運作，時日久了材質逐漸劣化，全壽期不到 8 年，遠低於先進國家導航衛星的 20 年。北斗系統使用多達 35 枚導航衛星，比先進國

家的系統要多出 5 到 11 枚，這也說明北斗系統採用量多去彌補質劣的策略，致使今後每年必須發射 4 至 7 枚，頻頻汰換劣化的導航衛星。

第四個挑戰是商用服務侷限過大。衛星導航的服務以軍事用途為主，衍生出的商用服務，倒也替資訊化的世代注入快速、高效、便捷、舒適的元素，如衛星定位給予精準的報時、車船飛機的導航、探勘量測的定位、個人定位的服務、防盜與防散失的救援定位等。唯大陸的北斗系統搭末班車搭得太晚，衛星導航的商用服務早已遭它國同類系統先馳得點，且它國的商用套餐式服務完全免費；用戶對既存的衛星導航商用服務滿意度高、依賴性大，全球趴趴走的客戶對服務的忠誠度也高。北斗系統商用服務要搶全球客戶難度大，故其服務對象侷限於大陸境內依法強制加裝北斗系統接收器的用戶，無競爭力普及全球。最近大陸盛傳「北斗地圖 APP 免費下載」誤導訊息，妄圖藉北斗衛星第三代導航系統之名，作行銷無版權偽劣電子地圖之實，足見北斗系統商用服務遲遲尚未推出官版北斗電子地圖，必然面臨無解的困局。

最後一個挑戰是衛星於戰時定會遭受威脅。由於衛星導航的服務以軍事用途為主，戰時在軌的導航衛星將成為敵對國家的主攻目標；攻擊外太空的導航衛星樣式有兩種，一是暫時癱瘓，一是澈底摧毀。先進國家針對攻擊在軌衛星的兩種攻擊程序均處於測戰階段，距實戰部署為期不遠。軟殺的癱瘓，係以高功率電波干擾導航衛星發送的波段，使在軌衛星在特定干擾時段內既聾又啞且瞎，無法對武器、載臺作有效制導。硬殺的摧毀，係以雷射武器擊殺在軌衛星，使其導航功能永久失效；美國國防部已委託洛馬公司研發機載 SHIELD 雷射槍，這支五萬瓦高功率化學雷射先導武器，於今年 6 月進行測戰，爾後將推送入太空站進行測評。

柒、小結

在太空部署衛星導航系統當然好，唯愈多未必就愈好。慣用在軌導航衛星定位的現代化武裝部隊，一旦衛星訊源消失，會立即造成軍事行動不順暢；依賴導航衛星訊源愈深、軍事行動就愈不順暢，甚至戰局翻轉，遭劣勢裝備的對手創機反擊逆轉勝。