

出國報告（出國類別：進修）

英國王家聯合三軍國防研究所
研究心得報告

服務機關：空軍航空技術學院

姓名職稱：中校教師葉南慶

派赴國家/地區：英國/倫敦

出國期間：110年9月1日至111年9月3日

報告日期：111年10月24日

摘要

此次受訓係奉國防部 110 年 8 月 11 日國人管理字第 1100177612 號令核定，自 110 年 9 月 1 日至 111 年 8 月 31 日止，計 1 年，至英國王家聯合三軍國防研究所（Royal United Services Institute，英文簡稱 RUSI）駐點研究，RUSI 為英國歷史悠久的智庫之一，也是全球安全事務領域非常具影響力的機構之一。其研究領域包含「軍事科學」、「國際安全研究」、「國土安全與復原」、「氣候變遷」以及「衝突、戰爭與文化」等議題，RUSI 資金來源多元，包含來自會員的會費、研討會贊助廠商的收入、各國派訓研究人員的費用、與各單位機構的研究合約、以及由其他基金會、國家或個人捐獻，但就是不包含來自政府的資助。

在英國上班期間，納編於 RUSI 之國際安全研究小組（International Security Studies）從事相關研究課題，此外，因國防部訂之研究議題與國防工業與社會小組（Defence, Industries and Society）較為相關，故也經常與其小組討論交流。透過為期一年之訪問交流，有機會與英國在地或是各國從事國防相關事務之官員、專家學者（包含學術界、軍方、政府單位等）進行交流，有利受訓學員增加國際視野、國防安全新知，進而培養國軍戰略人才，提升我國國際能見度。本報告內容包含目的、受訓過程、學習心得及相關建議事項。

目錄

壹、目的	1
貳、受訓過程.....	2
參、受訓學習心得	3
一、中共發展 BDS 在各面向的意義.....	3
二、全球四大衛星定位系統.....	5
三、臺灣因應作為	6
肆、建議事項.....	8
伍、附件	10
一、受訓期間照片	10
二、結訓證書.....	12

壹、目的

軍用衛星在戰爭中扮演的角色可概分為 4 點，第一、戰爭中的通信工具，現代化戰爭覆蓋範圍廣，除了陸海空之外，還包含外太空。除了軍用級的無線電設備，低軌衛星通訊也是現代化戰爭的利器之一，24 小時良好的通訊對於各兵種之間的協調聯繫和部隊指揮命令的傳達是戰爭成敗的關鍵因素之一。第二、電子偵察，衛星可進行偵查，截收敵方雷達、通信和武器所發出的電磁信號，進一步測定信號源的位置。第三、導彈預警，若由多顆衛星組成一個預警網絡，利用衛星搭載的紅外線、可見光等各式的探測器，可追蹤導彈後方的尾焰或是導彈本身的紅外線輻射，進而追蹤出導彈的運動軌跡。第四、協助戰爭中的定位及導航，良好的全球定位導航系統，具有精度高、覆蓋範圍廣的優點，除了可以幫助船艦、戰機、無人機等精確定位外，也能夠提高導彈的精確打擊能力。

隨著 2020 年 6 月份中共完成北斗衛星導航系統的建置完成，相較於美國的 GPS、俄國的格洛納斯（Glonass）以及歐盟的伽利略衛星導航系統，中共的北斗衛星導航系統不論在硬體衛星數量、定位精度以及簡訊通訊功能，皆優於 GPS、格洛納斯和伽利略衛星導航系統。面對這樣的國際局勢，我國可透過二軌外交，即以非正式官方人員，包括學者、退休官員等非政府組織，利用不同管道進行交流，除了增加我國在國際社會的能見度之外，更重要的是，希望透過智庫交流，可以有機會透過學術交流方式，與來自不同國家的專家、學者針對我方有興趣之研究議題，進行相關交流及討論。

英國「王家聯合三軍國防研究所（RUSI）」為國際上享負盛名的智庫，每年均有來自各國家的訪問學者前往 RUSI，針對各種國家層級的相關議題進行交流訪問，而 RUSI 所發行之期刊報導也成為官方政策制定上重要依據，這也是英國 RUSI 智庫對我國國防及外交工作的重要性，也就是我國定期派員參與英國 RUSI 智庫研究的主要目的。

貳、受訓過程

作者奉令自 110 年 9 月 1 日至 111 年 8 月 31 日止，至英國皇家聯合三軍國防研究所（RUSI）駐點研究，駐點期間所屬部門為 RUSI 各研究團隊之一的國際安全研究部（International Security Studies, ISS）。因國內外新冠肺炎肆虐，故出國機票經航空公司數次更改後，最後在 110 年 9 月 1 日於桃園機場出發，次日抵達英國倫敦，經過 1-2 週辦理租房簽約、交通卡購置、家庭醫生登記、子女學校申請、手機門號、網路申辦、生活必須品購置及生物辨識晶片居留許可（Biometric residence permits, BRP）領取等事宜，於 RUSI ISS 部門通知日期（9 月 14 日）正式報到並納入 ISS 研究小組。

正式報到後，相繼完成個人使用電腦設定（網路網域設定、個人在 RUSI 的電子信箱設定等）、出入 RUSI 辦公大樓以及各辦公室的磁卡開通（出入門禁管制用）、地下停車場之使用及相關規定宣達等。之後，隨即由 ISS 資深研究員帶領至各辦公室，與其它不同部門同事實施簡短自我介紹，並認識 RUSI 建築物內相關設施及環境。接下來安排與 ISS 資深研究員進行 1 對 1 對談，討論其專長領域及研究題目。因為作者由國防部所律定的題目中所選擇的為「不對稱作戰」，欲探討中共北斗衛星導航系統相關研究議題，此主題除了與國際安全研究部（ISS）相關之外，亦與國防工業與社會小組（Defence, Industries and Society）相關，故也透過 ISS 的資深研究員介紹下，與國防工業與社會小組的成員也進行研究議題上的交流及討論。

參、受訓學習心得

90 年代開始，各國有了「空權」的概念，也開始思考空中戰爭的可能性，根據美國 2020 年「軍事辭典」對於「制空權」的定義為：空中控制的程度，在作戰區域內敵方無法使用導彈威脅及有效干擾。「制空權」意思為在空中、地面或海上的軍事活動時，有免受到敵軍空軍或飛彈攻擊的可能性。隨著太空科技的進步，空權已由過去的「天空」，到現代須加上「太空」，太空權（space power）定義為部隊部署於地球外層空間運作，以達到軍事與國家目標之能力，此定義與美國空軍對於航空與太空權（air and space power）類似，為統合運用空中及太空的資訊系統，以應用於全球戰略軍事武力。

許多軍事專家學者皆表示制天權比制空權、制海權、制陸權與制電磁權，都還來得重要。換句話說，軍事衛星的發展是現代軍事行動成敗的關鍵之一。如「前言」所述，軍事衛星在戰爭中可當作通信工具、電子偵察、導彈預警以及協助戰爭中的定位及導航等，其中在導航定位部分過去有兩個著名的例子，第一、1993 年中國「銀河號」貨輪航行到伊朗途中，因全球定位系統（Global Positioning System, GPS）遭美國斷訊，被迫中止正常航運達 33 天。第二、1996 年臺海導彈危機時刻，美國局部關閉 GPS 訊號，導致中共部隊試射導彈失去衛星導航而無法精準打擊預定目標。因此，太空衛星導航系統一直來都是各大國在航太領域上積極發展及建構的科技技術之一。

在中國不願意放棄武力犯臺的情況下，臺灣更應關注中國北斗衛星導航系統（BeiDou Navigation Satellite System, BDS）的發展，此次前往英國智庫，藉由與不同領域專家共同探討北斗衛星導航系統的發展歷程及技術特點，並與其它主要衛星導航系統比較，評估 BDS 對於臺灣國家安全可能造成的威脅，進一步提出相關的因應方式。

一、中共發展 BDS 在各面向的意義

中共自 1994 年開始，中國努力發展北斗衛星導航系統，並於 2020 年 6 月完成北斗衛星導航系統的建置，這也是中共自主建設、獨立運行的衛星導航系統，北斗衛星導航系統的完成撼動了美國長期以來在衛星導航的地位，更是中共追求佔領未來戰爭的制高點，達到軍事目的。中國也成為了繼美國、俄羅斯之後，第 3 個擁有自主衛星導航系統的國家，並運用於中國的氣象、農漁業、水利、交通運輸、防災減災、緊急搜救等領域，最重要的共軍也運用於軍事用途上。

中共北斗衛星導航系統的成功建置在國際上有重大的政治意義，中共打破了美國 GPS 長期壟斷衛星導航系統，表示中國有能力

部署自己的衛星導航系統，不受制於他國外，對外在世界上爭取了國際事務的主導權，有效提升其國際地位，對內則是可大肆宣傳中共的輝煌成就，以鞏固政權領導地位。

北斗衛星導航系統對於中國的經濟意義更為明顯，北斗衛星導航系統對內可廣泛的應用於民生生活、農漁業、通訊、國家建設、災害防治及緊急搜救等，對外隨著北斗衛星導航系統的涵蓋範圍的擴大至全球，產業鏈也隨之成長，除可賺取外匯外，更讓中國在國際商業合作機會大增。

從科技意義來探討中共北斗衛星導航系統，太空科技儼然已經是世界各大國努力發展的領域，若可以在此領域領先世界，可以提升其國際的地位形象，目前已經國際認證的北斗衛星導航系統，讓中國在太空科技產業上可說是追上美國、俄羅斯等太空大國。若一個國家可以在此高科技產業上取得世界數一數二的地位，將其成果應用於其它領域，例如通信、物流、智慧型手機和智能穿戴設備等，將有更大突破性的發展。

中共北斗衛星導航系統在軍事意義上，從各項網路訊息、期刊或是中共官方發布文件中，雖不易找到北斗衛星導航系統在軍事上的應用價值，但導彈系統、航空母艦、戰機、無人機等各式新式武器都是需要定位導航的服務，當中共擁有自己的衛星導航系統，不只在各式武器、裝備的性能可大大提升，甚至還可以反制敵人，對於自身的指揮、管制、通信、資訊、情報、監視、偵查（C4ISR）功能也發揮至最大。其中，中共藉由北斗衛星導航系統來達到「聯合作戰機制」、「導彈精準射擊」、「牽制美軍干涉臺海戰事」等軍事目的，將對臺灣的國家安全構成重大的威脅。

除了上述北斗衛星導航系統在政治、經濟、科技及軍事面向上的意義外，中共在北斗衛星導航系統的發展成功，也代表著中共已成功將軍、民的資源有效整合，以增強國家的科技實力。

在英國智庫期間，與資深研究員討論中得知西方國家（美國和歐盟）在軍、民整合的做法是從政府主導的計劃加速轉向商業計劃，也就是將政府視為主要（固定）客戶，且重視其政府需求。而當商業公司有了穩定的政府資金，也就有助於自家公司規模以及和能力的成長，這也使客戶（政府）受益，其實就是一個雙贏的局面。例如大家非常熟悉的馬斯克 SPACE X 公司長期致力於開發自己的技術，也曾經幫美國軍方發射各種火箭、衛星上太空。換句話說，政府與民間力量結合的方法，讓政府以及商業公司達到雙贏局面。

反觀中國，與西方國家不同是這些衛星都是由中國的國有部門、新興的商業部門建造的，其目的是讓商業公司成為國有實體的補充（互補），其重點是更具成本效益的投資。這裡所述的衛星不僅北斗衛星導航系統，中國運營著自己的氣象導航、地球成像和通信衛

星等，全部由中國政府直接擁有和運營，或者由國有企業所有。簡單來說，在西方國家，私營部門與政府機構共同投資，民間以純粹的商業基礎向政府提供能力。中國則是將太空視為一項戰略層面，尤其在習近平主席的領導下，不論是天氣和氣候預報、導航、太空數據和通信方面完全獨立。

二、全球四大衛星定位系統

全球各先進國家各自擁有自己的衛星導航系統，但並非每個衛星定位系統都可以應用於全球，而僅是區域性的衛星導航系統，例如印度區域導航衛星系統（Indian Regional Navigation Satellite System, NAVIC）、法國 DORIS（Doppler Orbitography by Radiopositioning Integrated on Satellite）定位系統及日本準天頂衛星系統（Quasi-Zenith Satellite System, QZSS）都是屬於區域性的導航系統。

目前具有全球定位的 4 大衛星導航系統包含美國的 GPS、俄羅斯的格洛納斯（Glonass）、歐洲的伽利略（Galileo）以及中國的北斗衛星導航系統。

全球定位系統（GPS）是美國國防部的衛星導航系統，GPS 自 1990 年代初開始全面運行，並逐漸部署改進的衛星類別，直到 2020 年初使用第 4 個民用 L1 波段信號可為地球表面提供準確的定位、測速和高精度的標準時間，定位的誤差為 10 公尺（軍規的精度在 1 英尺以下），為現今全球最廣泛採用的衛星定位導航系統。GPS 具有諸多優點，包含使用低頻訊號，在各種狀況下仍不影響其訊號接收，98%全球覆蓋率，定位、定速、定時誤差小，可移動定位。重要的是，使用 GPS 時接收機不需要發出任何信號，也就是具有隱蔽性，此性能對於軍事應用極其重要。

格洛納斯是由蘇聯於 1982 年研發的衛星導航系統，自 1982 年以來，格洛納斯使用 L 波段的信號作為 GPS 的有效替代方案，由於沒有補充新衛星以及適當地維持系統，格洛納斯星座逐漸退化，自 2000 年初開始無法使用。後來進行了重大更換和振興計劃後，該星座從 2004 年開始定期填充，並於 2011 年再次宣布格洛納斯星座運行，目前由俄羅斯維護運作，格洛納斯系統主要以國防軍事為目的，用途主要作為車輛、船艦、飛行器與飛彈等載具的導航與時間校正之用，之後才開放民間使用，格洛納斯系統的定位誤差為 30 公尺。格洛納斯系統優點為衛星發射頻率不同於 GPS，故可防止整個衛星導航系統同時被敵方干擾。格洛納斯的應用普及度遠不及 GPS，主要是因為俄羅斯並不重視民用市場。

伽利略系統是歐盟於 1990 年代初期開始發展自己的衛星導航

系統，不同於 GPS 和格洛納斯系統，伽利略一開始就並非以軍事用途為首要目的。伽利略系統的高精度定位可達 1 公尺，並且在高緯度地區提供比 GPS 及格洛納斯系統有更好的定位服務。伽利略定位系統在發展上遭遇許多阻礙，包含歐盟國家之間對於計畫內容意見分歧、經費的短缺以及於 2002 年將中國納為合作對象，因而招來美國的干預。

北斗衛星導航系統的發展可概分為三階段，第一階段為 2000 年僅三顆導航衛星，服務範圍主要在中國境內定位服務，誤差高達百公尺，無法對用戶定速（無導航功能），有源雙向定位（保密性不佳）。第二階段為 2007 年起陸續發射導航衛星升空，除了服務範圍擴大至亞太地區外，也改為無源接收（保密性佳），有定速（導航功能），定位誤差進步至約 10 公尺，軍用版的定位誤差僅 1 公尺。第三階段自 2015 至 2020 年，共計有 35 顆導航衛星，服務領域涵蓋全球，最大優勢為具備簡訊通訊功能，此為 4 大導航衛星中，唯一擁有此功能之系統。

三、臺灣因應作為

假設美國在臺灣海峽與中國開戰，美國將在遠離中國海岸的地方作戰，這意味著美國將高度依賴太空技術。也就是說，這為中國提供了一種不對稱優勢，激勵其發展一套強大的反太空能力，美國很容易對中國太空技術背後的意圖做出最壞的假設。在應對中國在外層空間的軍事威脅時，過去川普政府在很大程度上強調了軍事首要地位，並宣布外層空間為作戰領域。川普總統於 2019 年 12 月宣布成立太空部隊，作為美國武裝部隊的第六個分支。這個部隊專門在組織、訓練和裝備太空部隊，以保護美國和盟國在太空的利益，並為聯合部隊提供太空能力。

因為中國曾經表示太空對現代戰爭至關重要，並認為使用反太空能力既是降低美國軍事能力的一種方法，也是贏得未來戰爭的關鍵之一。中國和俄羅斯的太空活動對美國的國家安全利益已經構成了嚴重的威脅，所以從過去川普政府到現在的拜登政府在太空領域上，始終對俄羅斯和中國保持高度的注意、警戒。

中國除了將北斗衛星導航系統運用於中國國內的氣象、農漁業、水利、交通運輸、防災減災、緊急搜救等領域外，中國在空間科學領域（包括與暗物質和引力波研究相關的科學任務）以及衛星通信（量子通信和 6G 領域）有重大突破，尤其中國支持北斗衛星導航系統在其「一帶一路」政策，鞏固「一帶一路空間信息走廊」相關建設。

最重要的共軍也將北斗衛星導航系統運用於軍事用途上，如前

面在中共發展北斗衛星導航系統的軍事意義所述，中共在「聯合作戰機制」、「導彈精準射擊」、「牽制美軍干涉臺海戰事」以及提升中國 C4ISR 系統功能，在在都對臺灣的國家安全構成重大的威脅。臺灣面對中國藉由北斗衛星導航系統加強對臺灣的侵略行動的情況，在此提出幾點可能的因應作為。

第一、以最直接的概念就是將衛星導航系統硬體摧毀，在冷戰（1947-1991）時期，美、蘇兩方皆提出摧毀低於 2000 公里的低軌道衛星計畫，但皆僅止於計畫階段而未實際執行，至 2007 年時，中國發射的一枚火箭擊毀了軌道高度 865 公里的衛星。但是，北斗衛星導航系統的實體衛星分別位於中圓軌道衛星、傾斜地球同步軌道衛星及地球靜止軌道，高度皆大於 20000 公里，以目前我國的火箭技術及射程高度，摧毀衛星主題有其難度。

第二、電子干擾，北斗衛星導航系統高度皆超過 20000 公里，傳至地面的訊號屬於微弱訊號，也就容易受到環境及人為的干擾。其方式大致區分兩種，第一為利用干擾器干擾其為衛星接收器，使其無法正常接收北斗衛星導航系統之訊號；第二為釋放假訊號來欺騙北斗衛星導航系統，使敵方無法正確命中目標。2003 年伊拉克戰爭，伊拉克軍隊就曾使用 GPS 干擾裝置，誘導多枚美軍精密飛彈偏離航向，使其無法命中目標，此作法我國的中科院已經完成相關干擾器研發。

第三、北斗衛星導航系統需要有地面站如主控站、注入站、監測站，分別負責系統運行管理與控制、向衛星發送必要訊號及接收衛星的訊號分送給主控站。也就是說，地面站為北斗衛星導航系統運作的重要環節，若我國在事先偵蒐到北斗衛星導航系統的地面戰精確位置，嘗試直接以武器摧毀其地面站，也就可以削弱北斗衛星導航系統協助中國作戰能力。

第四、發展及添購飛彈防禦系統，臺灣長期以來不論是中科院自行研發或是向外國採購，全臺灣部署各式防空飛彈，包含中、高層飛彈還是低空的航空器，以預防共軍不同導彈的攻擊。包括愛國者、天弓、鷹式等飛彈，目的就是維護臺灣雷達站、要港、機場等重要軍事設施及或政經指揮中心。但隨著北斗衛星導航系統可以大大提升中國的飛彈精準度，臺灣還是要繼續提升現有的飛彈防禦系統來因應，避免兩岸的軍力差距持續擴大。

肆、建議事項

由上述受訓過程及學習心得的論述以及討論，可歸納出以下提出數點建議事項。

第一、我國科技部及國防部 2020 年底共同提出「先進科技研究計畫」，預計 5 年投入 50 億推動學研中心。前期預計於各大學成立學研中心主題領域，對外公告徵求「學研中心」專案計畫，推出 7 大主題領域，包含（1）尖端動力系統與飛行載具、（2）先進船艦及水下載具、（3）先進材料與力學分析研究、（4）資電通訊與智慧化科技、（5）前瞻感測與精密製造研究、（6）關鍵系統分析與整合、（7）先進系統工程中心。以發展深耕前瞻特定領域關鍵技術及人才培育為目標。建議中、後期可考慮太空領域。

第二、上述計畫預計在各大學設立學研中心，預計 5 年培養 150 位國防科技人才。第二個建議就是除了公私立大學外，可鼓勵臺灣與國防領域相關的各研發機構加入學研中心，例如位於新竹的國家太空中心，該中心為專門負責我國太空計畫的執行單位，可以考慮仿英美作法，利用軍民合作，創造雙贏的模式。也就是說，藉由國家太空中心的專業，由國防部主導政策面，太空中心則負責技術層面，共同為臺灣的國防科技（太空戰）努力。

第三、國軍人才培育。就如同在第三章中的臺灣因應作為提到的電子干擾，要培養一位可以參與傳統（基本）干擾研發的人才，最基本的知識在電子、電機、通訊、資訊等相關科系的大學課程中，大致可以學習到其知識。若要更進階的干擾技術，也就是欺騙（假訊號），則就需要再繼續進修碩博士並修有「密碼學」相關知識。我國（不論軍人或民人）具有這樣專長的人才不多，再縮小範圍至國軍軍人擁有這樣專長的人才更少，故建議可朝此方向努力。培養未來可能參與太空戰的國軍人員至國內進修電機、電子、通訊、資訊等專長碩士，或是培養國軍人才至國內、外進修具密碼學之相關課程之學程或學位。

再者，依據要破解、攻擊的對象不同（即不同武器、不同裝備），往往需要橫跨不同領域。以要破壞敵方衛星偵測參數為例，需要有專業人才負責幫忙連上衛星，再換另一個專業人才（例如：駭客）來做破壞軍事衛星偵測。也就是說，在確定「太空」為未來的作戰領域之一的前提下，國軍未來需要跨領域整合之人才，所以國軍除了以各種形式（國內外受訓、全職進修、在職進修等）培育國軍單一專長人才外，跨領域國防科技整合人才的培育也是刻不容緩。

第四、在國軍選派人員至英國 RUSI 智庫方面，在此次（110-111 年）我至英國 RUSI 智庫交流的前一位已經是約 3 年前，RUSI 經常舉辦各種主題的研討會或論壇，參與者除有現役或退役高階將領、政府官員，也有各種領域的專家學者，這樣的交流可更了解英國、歐盟相關政策以

及未來趨勢，故建議在經費允許情況下，每年都可以派員前往 RUSI 智庫交流，除增加國軍派訓人員對於各項國際議題的解析能力、自身的國際觀之外，我國若長期與英方智庫建立聯繫管道，相信對於兩國智庫之間的交流有極大幫助。

另外，我國派員至英國智庫也並非僅能每年固定日期，例如我國現行就是每年 9 月至次年 8 月，也就是說，每年一位的訪問學者彼此幾乎見不到面，或是只有見面很短時間（2-3 天），還不包含調整時差，無法做深入的交流。以我此次駐點於 RUSI 國際安全研究部門的經驗，同部門的其他國家（日本）訪問學者，一位訪問學者與下一位的訪問學者在英國駐點研究期間有數個月的重疊時間。這樣做法的優點除了前一位智庫訪問學者可以協助同一國家派訓的下一位訪問學者更快進入狀況（包含日常生活、議題研究、環境適應等），還可以針對某一研究議題接手做出更深入的研析探討，讓重要的研究議題有延續性，對於國家所重視的議題更能夠有更深入的剖析。

伍、附件

一、受訓期間照片



圖1 與 ISS 主管 Neil Melvin 於 RUSI 合影



圖2 與 RUSI 資深研究員 Veerle Nouwens（左一）、日本（法務省）訪問學者 Naoshi Owaku（右二）以及我國海軍訪問學者（右一）於假日至餐廳聚餐



圖 3 與 RUSI ISS 計畫負責人 Jeremy Wimble 於 RUSI 合影

二、結訓證書



**ROYAL UNITED SERVICES INSTITUTE
FOR DEFENCE AND SECURITY STUDIES**

Founded 1831
Incorporated by Royal Charter 1860

VISITING FELLOWSHIP

This is to certify that

**Lieutenant Colonel Nan-Ching Yeh
Republic of China (Taiwan) Air Force**

Has served as a Visiting Fellow at the
Royal United Services Institute for Defence and Security Studies
from 13 September 2021 to 31 August 2022
and has contributed with distinction to the work of the Institute

31 August 2022

Director-General