

淺談結合低軌道衛星 建構海軍指管機制系統

Combining satellites to construct a naval command
and control mechanism system

海軍中校 劉安翼

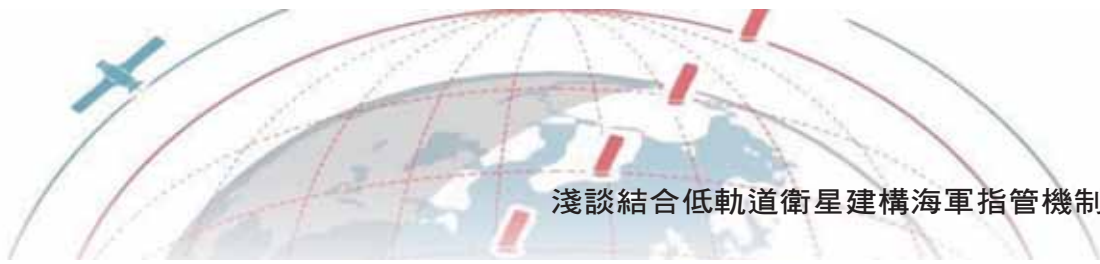
提 要：

- 一、1957年10月，蘇聯成功發射世界上第一枚進入太空的人造衛星-「史普尼克1號(Sputnik 1)」，自此人類正式邁入太空時代，世界各國也紛紛開始對太空及衛星科技領域的探索與計畫，尤其低軌道衛星數量更是急速成長。
- 二、通常低軌道衛星所適用的領域在於地面偵察、通信和導航，未來在使用及發展需求上也將持續增加；同時因低軌道衛星距離地球較其他種類衛星更近，藉由系統改良與升級，可獲得更大的頻寬、更高的傳輸速度，提供的服務將更穩定、可靠。
- 三、近期「俄烏戰爭」給予各國許多寶貴的經驗教訓，尤其作戰中心及重要基礎設施在戰時肯定是敵方摧毀打擊的重點，若指管通信系統與裝備遭戰損，致訊息無法順利傳遞，在海上的部隊指揮管制必將受限，遑論戰場求勝。故為切合通信科技發展趨勢，國軍應借鏡他國經驗、善用民間資源，並將衛星技術導入通信鏈路，同時建置系統備援手段，才能發揮戰場指管功能，達成任務。

關鍵詞：低軌道衛星、衛星通信、指揮管制

Abstract

1. In October 1957, the Soviet Union successfully launched the world's first artificial satellite into space, "Sputnik 1". Since then, human civilization has officially entered the space age, and countries around the world have begun to invest in the field of space and satellite technology. Exploration and planning, especially the rapid growth in the number of low-orbit satellites.
2. Generally, low-orbit satellites are applicable to ground reconnaissance, communications and navigation, and the demand for use and develop-



ment will continue to increase in the future. At the same time, because low-orbit satellites are closer to the earth than other types of satellites, through system improvements and upgrades, they can obtain With larger bandwidth and higher transmission speed, the services provided will be more stable and reliable.

3.The recent “Russian-Ukrainian War” has taught various countries many valuable lessons. In particular, combat centers and important infrastructure must be the focus of destruction and attack by the enemy during wartime. If communication systems and equipment are damaged in battle, messages will not be sent smoothly. At the same time, it should be established as a system backup method so that it can exert its battlefield command function and achieve its mission.

Keywords: Low Earth Orbit 、 Satellite Communications 、 Command and Control

壹、前言

人造衛星(以下稱衛星)在科技與通信發展，對於現代生活影響日益巨大，早在「冷戰」時期，美、蘇兩強的太空競賽中，當蘇聯率先於1957年10月成功發射世界上第一枚人造衛星「史普尼克1號(Sputnik 1)」後，¹世界各國紛紛開始對太空及衛星科技領域的探索與計畫。按我國「資訊工業策進會」(Institute for Information Industry)預估，在衛星產業快速驅動下，低軌道衛星數量預估將從2023年的7,500枚，持續成長至2030年的17,350枚

；²因此，以往不便架設基地台的處所(如飛機上與海上郵輪等)，目前都會運用接收衛星訊號做相互通聯之訊息傳遞。另一方面，登山救難必備的衛星電話或網路巨擘「谷歌」(Google)公司的「Google Earth」定位導航服務，及氣象預報中的衛星雲圖等資訊，都是藉由衛星訊號所提供，且用途日趨多元，運用範圍更是「無遠弗屆」。³

目前人類生活中常用的手機通信，自20世紀70年代和80年代初期研發通信技術和無線電開始，到1983年最早第一款「可攜式」通信手機⁴年上市，隨即開啟移動

註1：上世紀「冷戰」時，蘇聯率先於1957年10月4日自「拜科奴爾(Baykonur)太空中心」發射升空第一顆進入行星軌道的人造衛星「史普尼克1號」，由於毫無先兆下，遂造成西方國家的強烈震撼，更在美國國內引發了一連串事件(如史普尼克危機、華爾街股災等)。Zak, Anatoly, Sputnik's mission, RussianSpaceWeb.com, 2015/12/27, https://web.archive.org/web/20130123225622/http://russianspaceweb.com/sputnik_mission.html, visited date: 2024/1/22。

註2：黃晶琳，〈四大關鍵 催動低軌衛星發展〉，《經濟日報》，2023年7月16日，<https://money.udn.com/money/story/11162/7303329>，檢索日期：2024年1月24日。

註3：吳元熙，〈【圖解】馬斯克也瘋狂！史上最大低軌衛星競賽來了，誰能搶下太空商機？〉，數位時代新聞網，2021年6月10日，<https://www.bnext.com.tw/article/63091/air-space-staellite-business>，檢索日期：2024年1月26日。

註4：第一款「可攜式」手機為「摩托羅拉」(Motorola)公司生產，機體重量約為1,100公克，通話時間約30分鐘且需10小時充電時間，由於機體大，不便於攜帶。

通信時代；由於數據通信技術發展和設備改良，相關設備從「第三代移動通信技術」(3th Generation)快速演變到「4G」及「5G」，不僅訊號不間斷，且傳輸速度愈來愈快。⁵近年的低軌道衛星問世，成功帶動相關科技產業發展與革新，系統甚至已向「6G」邁進，未來發展難以估量。目前此一技術已使訊息即時傳遞可以不受地形環境限制，進一步提供做軍事任務行動和災害救援所需通信服務，並讓各級部隊能在高強度戰場環境下，藉由可靠及穩定的通信指揮管制系統，做出有效且即時的戰場指管訊息傳遞與戰術協調，運用方式愈顯多元。

2022年2月24日，俄羅斯對烏克蘭發起「特別軍事行動」(以下稱「俄烏戰爭」)，烏國政府卻能成功運用網路媒體的傳播，同時引起世界各國關注與支持；其中關鍵就是美國「太空探索技術公司」(SpaceX)，在俄軍入侵烏國並關閉地面互聯網服務和移動電信網絡後不久，隨即提供「星鏈計畫(Starlink)」服務，使該國在通信設施遭到摧毀的情況下，仍能運用衛星維持與外界國家的傳輸聯繫。此一舉措，也為基輔當局得以在戰事中持續獲得關鍵所需之通信支援，⁶連帶有助於戰事

相關訊息交流與政府外交訴求傳達，也對媒體傳播戰事的連續性，起到舉足輕重的影響；更進一步引起全球對於低軌道衛星在通信領域上的研究技術，產生更高的重視。

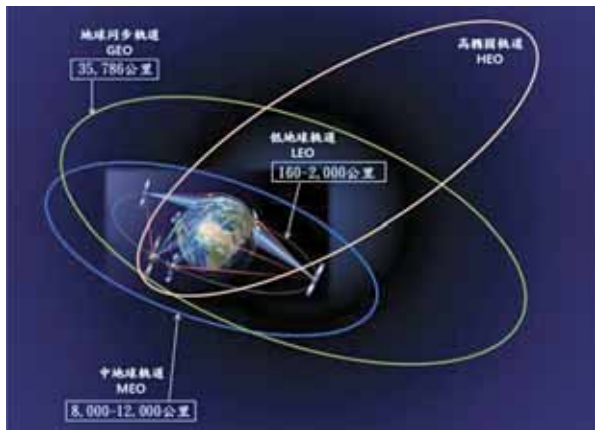
目前手機通信服務是現代人不可或缺的日常，遑論高度講究「通信為先」的作戰指揮，尤其沒有順暢的聯繫與訊息交換，一旦戰事發生，部隊戰術行動勢必受到侷限，嚴重時甚至慘遭戰場失敗，影響任務達成。因此，為確保衛星通信傳遞品質及工作效率，需要建構良好的硬體裝備與控制系統，才能使衛星在太空中順利運作，並提供所需服務。期望透過本研究，可以運用低軌道衛星做為未來海上作戰指管的新選項，同時應用此一科技來建構海軍更完善的指管通信系統、提高系統效率與品質，強化指管作為、達成任務，這也是撰寫本文主要目的。

貳、人造衛星概述

衛星係在地球大氣層上方繞著地球飛行，其運行方式必須得由地面火箭酬載並發射上太空後，在天體軌道上部署。依照衛星在太空運行的軌道距離地表高度分類，概分為「同步軌道衛星」(Geostation-

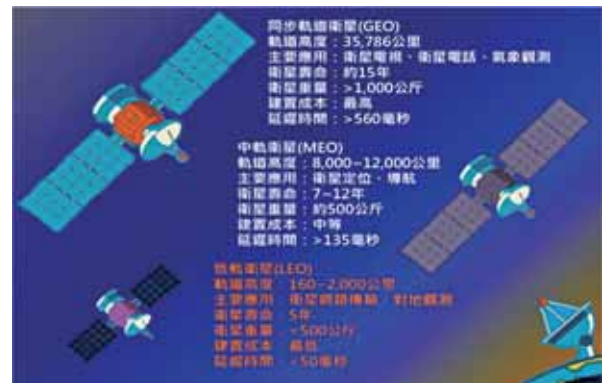
註5：在2001年「3G」技術首次推出，主要支援高速數據傳輸，使用頻段為2GHz左右，傳輸速度幾百KB。「4G」時，頻寬也改為700MHz至2600MHz，速度可達10MB以上；「5G」技術，頻段為24GHz至86GHz，每秒傳輸可達數百MB以上。劉耀瑜，〈一次搞懂5G！3大特性：高速度、低延遲、多連結〉，《經理月刊》，第189期，2020年9月15日，<https://www.managertoday.com.tw/articles/view/60321?>，檢索日期：2024年1月22日。

註6：〈星鏈Starlink為什麼在烏克蘭對抗俄羅斯戰爭中很重要？〉，BBC新聞網，2022年10月21日，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-63314791>，檢索日期：2024年1月25日。



圖一：衛星軌道示意圖

資料來源：參考楊宗新，〈「衛星技術」在中共軍事領域之應用及國軍應處之道〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第58卷，第1期，2024年2月1日，頁8，由作者彙整製圖。



圖二：人造衛星的種類

資料來源：吳元熙，〈【圖解】馬斯克也瘋狂！史上最大低軌衛星競賽來了，誰能搶下太空商機？〉，數位時代新聞網，2021年6月10日，<https://www.bnext.com.tw/article/63091/air-space-staellite-business>，檢索日期：2024年1月26日，由作者彙整製圖。

ary Orbit，以下稱GEO)及「非同步軌道衛星」(Non-Geostationary Orbit，以下稱NGEO)兩種；其中NGEO又因距離地面高度不同，再分為「高橢圓軌道」(High Elliptic Orbit，以下稱HEO)⁷、「中軌道」(Medium Earth Orbit，以下稱MEO)及「低軌道」衛星(Low Earth Orbit，以下稱LEO)等三類(如圖一)。由於HEO是一種具有較低近地點和極高遠地點的橢圓軌道，其軌道特性目前僅前蘇聯時期有發展及研究，不列入本文探討；GEO、MEO及LEO等3種衛星(如圖二)，因其不須沿地球赤道面運行，因此有更多軌道可供使用，在應用上更具較多彈性。概要介紹如下：⁸

一、同步軌道衛星(GEO)

(一)位於地球同步軌道上的衛星，距離地球表面超過3萬5,000公里，其飛行速度與地球自轉速度保持一致(約23小時56分4秒)；因此，以地表視角來看，同步軌道衛星始終保持在同一位置。由於距離地球較遠，單枚衛星即可覆蓋較大範圍地球表面；所以一般用3枚等距之GEO，就可提供幾乎全球範圍的涵蓋。至於要將衛星發射到同步軌道上，其受火箭運載能力的限制和發射場一般不處於赤道上的影響，多數的運載火箭不能直接將衛星送到軌道上，須分三個階段才能抵達，⁹整個過程是相當複雜和困難的。

註7：據「克卜勒定律」(Kepler's law)，衛星在遠地點附近區域的運行速度較慢，因此這種極度拉長的軌道的特點是衛星到達和離開遠地點的過程很長，而經過近地點的過程極短。這使得衛星對遠地點下方的地面區域的覆蓋時間可以超過12小時，這種特點能夠被通信衛星所利用。由於蘇聯(以及現在的俄羅斯)大部分國土處於緯度較高的地區，發展地球同步衛星對其意義不大，所以蘇聯是最重視發展高橢圓軌道衛星的國家。P.W. Fortescue, L.J. Mottershead, G. Swinerd, J.P.W. Stark, 《Spacecraft Systems Engineering》，John Wiley and Sons, 1991/2/20.

註8：曾巧靈，〈國際低軌道衛星應用與營運商發展動態〉，資策會產業情報研究所研析報告，2021年7月1日，<https://www.iacp.org.tw/uploadPDF/1639702638.pdf>，檢索日期：2024年1月24日。

註9：火箭投送到同步軌道概分三階段：第一步將運載火箭將衛星送到距離地面200至300公里的停泊軌道；其次，以停泊軌道的環繞速度，將衛星加速送到轉移軌道與同步軌道相切處(轉移軌道的遠點)；最後，在轉移軌道遠點上點燃發動機

(二)衛星因距離地球較遠，存在訊號延遲，且在通信上存有頻譜利用率低，以及系統容量不足等問題，且因衛星運行只在一個軌道面上，可容納的地球同步軌道的數量有限。早期技術發展僅用於通信用途領域，然由於人類在諸多偏遠地區活動仍存在通信需要；因此，未來發展方向將朝向更高的通信品質，來做性能提升，才能滿足不斷增長的使用需求。另一方面，各國GEO發展都努力設計改良成更小體積，以應用在如醫療、教育、軍事(飛彈預警、數據中繼)及航空等更多領域。

二、中軌道衛星(MEO)

中地球軌道也稱「中圓軌道」，是位於低地球軌道和地球同步軌道之間高度運行軌道，距離地球表面高度在8,000公里到1萬2,000公里高度。由於軌道高度降低，減少同步軌道衛星軌道面不足，致有頻譜利用率低及通信訊號延遲等缺點；但其也兼具低軌道衛星的優點，且大部分都是做為導航使用，如美國的「全球導航定位系統」(GPS)、「格洛納斯系統」、「北斗衛星」及「伽利略定位系統」等，¹⁰部分跨越南、北極的通信衛星也使用該軌道，運轉週期約在2至24小時不等，大部

分都在12小時左右。

三、低軌道衛星(LEO)

相較於GEO及MEO，低軌道衛星(LEO)過去主要用於軍事與國防上，隨著衛星小型化及系統有效載荷不斷進步，加上火箭運載成本下降，使得低軌道衛星製造成本降低，也是目前發展中數量占多數的衛星，它們通常在距離地球表面160公里到2,000公里的高度運行。因為發射至軌道運作成本較低，以及距離地表較近等優勢，讓數據傳遞的距離近、不易延遲，可更快速進行網路傳輸。¹¹用途分項說明如后：

(一)通信

利用衛星做為中繼站，對來自地球地面站的無線電信號進行接收或放大並轉發，使2個或多個地面站之間能實現遠距離傳輸，例如衛星電話和衛星電視。

(二)地球觀測

可以提供高分辨率的地球影像，用於地理資訊系統、災害監測和農業研究等領域。

(三)定位和導航

低軌道衛星可以用於全球的導航與定位系統，幫助人類確定所在的位置和方

，使衛星進入地球同步軌道，並用衛星上的小發動機微調衛星的姿態，使衛星完全進入同步軌道。Jason Davis, 〈How to get a satellite to geostationary orbit〉, The Planetary Society, 2014/1/17, <https://www.planetary.org/articles/20140116-how-to-get-a-satellite-to-gto>, visited date: 2024/1/23。

註10：格洛納斯(GLONASS)是俄羅斯的全球導航系統，類似美國的GPS。由俄羅斯國防部維護和營運，旨在為俄羅斯軍隊和民用使用者提供全球定位和導航服務。伽利略(Galileo)是歐洲的衛星導航系統，由歐洲太空總署(ESA)和歐盟共同開發和營運，提供歐盟成員和全球用戶高精度定位和導航。楊宗新，〈「衛星技術」在中共軍事領域之應用及國軍應處之道〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第58卷，第1期，2024年2月1日，頁8。

註11：楊一達，〈初探中共首次建構「低軌衛星群」之安全意涵〉，《國防安全雙週報》(臺北市)，第52期，財團法人國防安全研究院，2022年4月22日，頁35。

向。

(四) 科學研究

低軌道衛星也可以用研究地球大氣和磁場等，在大量地表觀測數據及歷史資料累積後，提供科學家們進行研究。

自人類開始探索宇宙後，各國陸續運用火箭投送衛星進入太空，衛星科技與人類生活密切接軌，並在日常生活、學術研究或軍事等領域，甚至人類思維模式都受到影響。由於衛星的出現，改善通信能力，讓人們更加便捷地進行跨國交流、更精確地掌握所在位置以及預測天氣；換言之，誰能在太空科技領域先一步掌握關鍵技術，等同具備足夠影響力，可以改變人類的未來，而在通信領域上更是如此。

參、我國低軌道衛星發展現況及軍事情用途分析

在世界各國開啟太空競賽後，我國同樣意識到太空發展是未來世界趨勢所在，為建立我國太空基礎設施，並進行太空人才培育，政府自1990年代即投入太空科技迄今已逾30年，並在行政院「國家科學委員會」下成立「國家太空科技發展長程計畫規劃小組」，以發展衛星為主軸，並由「國家太空中心」(Taiwan Space Agency)負責執行，期帶動國內太空科技產業快速發展。

面對現今複雜多元的通信環境，尤其戰時任務使用單位數量越來越多，伴隨網路需求流量不斷增加，軍事行動上通信指管系統傳輸，將面臨更大的壓力和挑戰；因此，必須尋求一種新的解決方案，以提高通信指揮管制系統的效率與品質，同時應對未來不斷增長的使用需求，而低軌道衛星技術正好切合所需，可以提供更好的通信技術做為戰場使用。以下低軌道衛星在就學術、商業發展及軍事上之用途，分述如下：

一、衛星科技發展狀況

(一) 學界概況

1. 我國在低軌道衛星技術方面具備相當水準，國內擁有一些領先國際的公司和研究機構，也在研究和開發低軌道衛星技術上取得許多成就。學術界最具代表性乃是「國立中央大學」於1984年成立的「太空及遙測研究中心」(以下稱「太遙中心」)，該中心重點研究領域在遙測科技，主要是地球環境與太空環境遙測，並分為「遙測技術」、「空間資訊」及「太空科學」等研究群。中心下轄的衛星接收站，目前可接收的衛星資料有「SPOT-4」和「SPOT-5」同步軌道觀測衛星，「ERS-2」海洋觀測、「Terra」氣象觀測及「Aqua」觀測衛星等，也是我國「福爾摩沙衛星二號」的影像分送中心之一。¹²除一般學

註12：「SPOT」是法國發射的一種地球觀測衛星；「ERS-2」是「歐洲太空總署」(ESA)用於海洋監測和冰川研究，具有較高影像分辨率的雷達，適合應用在海洋風場量測、海冰監測、地表監測等；「Terra」是「美國國家航空暨太空總署」(NASA)發射的地球觀測衛星，可以獲取大氣、陸地和海洋的高精度數據，做為氣象預報和環境及氣候研究，同樣的適用於軍事情用途；「Aqua」是NASA發射的地球觀測衛星，可觀測海洋溫度、鹽度等數據。



表一：我國衛星數量統計一覽表

名稱	服役時間	除役時間	用途	任務軌道	軌道高度	
福爾摩沙衛星	一號	1999	2004	科研	近地軌道	600
	二號	2004	2016	地球觀測	太陽同步軌道	891
	三號	2006	2020	地球觀測	太陽同步軌道	700-800
	五號	2017	-	地球觀測	太陽同步軌道	720
	七號	2019	-	地球觀測	太陽同步軌道	705-707
	八號	2023	2028	地球觀測	太陽同步軌道	561
中新衛星	一號	1998	2011	通訊	地球同步軌道	36,000
	二號	2011	-	通訊	地球同步軌道	36,000
鳳凰		2017	2019	地球觀測	近地軌道	550-650
珍珠		2023	-	通訊	近地軌道	550-650
獵風者		2023	-	地球觀測	近地軌道	550-650

資料來源：參考袁崇峰，〈我國發展反衛星能力之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第55卷，第6期，2021年12月1日，頁35，由作者綜整製表。

術研究外，接收之資料亦可提供臺灣本島地區影像製作使用(我國衛星及功能用途，如表一)。

2. 國內另有幾家大學院所在太空領域不斷研究中積累成就，如「成功大學」在2017年成功發射臺灣第一枚立方衛星「鳳凰」(Phoenix Cubesat)，該計畫主要研究地球外層大氣，衛星也持續在太空運行直至2019年順利退役；另「中央大學」也配合國內推動「5G」低軌道衛星計畫，在2023年及2025年時將通信衛星「珍珠」(6U立方)送上太空，¹³並採用自行研製的Ku/Ka頻段通信酬載，做為雙向通訊測試網路的載體，也為我國「5G」通信上取得

更好品質。

(二) 商界概況

1. 現階段發展低軌道衛星所用的Ka頻段(指頻寬在26.5至40GHz之間)，與「5G」所使用的通信頻段有部分重疊，且在產業發展半導體、晶片及通訊天線陣列及基地台等方面均具備成熟技術，也代表「5G」產業的生產製造、研發經驗及技術，都可延伸應用到低軌道衛星上；¹⁴若再加上地面接收站終端所需設備元件，國內均能自主生產且實力不弱。目前衛星與地面站的天線陣列、射頻晶片、通訊協定等，國內「工業技術研究院」也都是自主研發製造，無須國外進口；另國內數家廠商也紛

註13：「加州理工州立大學」Jordi Puig-Suari教授和「史丹佛大學」Bob Twiggs教授在1999年共同提出「立方衛星(CubeSat)」概念。尺寸的基礎單位為「1U」(邊長10cm的立方體)，體積小、重量輕，研發成本低，送上太空也容易，因此成為進入衛星開發的入門款。許世穎，〈臺灣太空發展系列：立方衛星〉，CASE報科學，2022年11月8日，<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=40975>，檢索日期：2024年1月23日。

註14：丁邦安，〈臺灣攻低軌衛星 準備好了〉，《經濟日報》，2022年10月30日，<https://today.line.me/tw/v2/article/vXz0w9m>，檢索日期：2024年1月23日。

表二：全球低軌道衛星營運巨頭發展概況表

企業	 Starlink	 OneWeb	 亞馬遜	 Telesat
發展策略	垂直整合	策略合作	集團整合	策略合作
客群	消費者/企業/政府	企業/政府	消費者/企業/政府	企業/政府
投資總額	300億美元	24億美元	100億美元	50億美元
垂直整合	<ul style="list-style-type: none"> • 自製火箭(SpaceX) • 雲端平台增值服務 	--	<ul style="list-style-type: none"> • 自製火箭(Blue Origin) • 雲端平台增值服務 	--
已獲准+已申請衛星數	11,926+30,000	2,716+6,372	3,236	1,373

資料來源：參考〈低軌衛星產業四巨頭 爭奪制空權〉，《經濟日報》，2022年10月30日，<https://money.udn.com/money/story/11162/6724733>，檢索日期：2024年2月16日，由作者彙整製表。

紛切入衛星供應鏈(如台揚、穩懋、金寶等)，亦可進行衛星總體設計、衛星組件製造、衛星測試和評估等。此外，政府也相當重視低軌道衛星技術和發展研究，並為相關項目提供資金支持，這也讓我國成為亞洲低軌道衛星技術領域的一個重要參與者。¹⁵

2. 國內三家通信電信業者(中華電信、遠傳及臺灣大哥大)陸續與國際低軌道衛星公司商談合作(如美國「星鏈(Starlink)」、加拿大通訊商「Telesat」及英

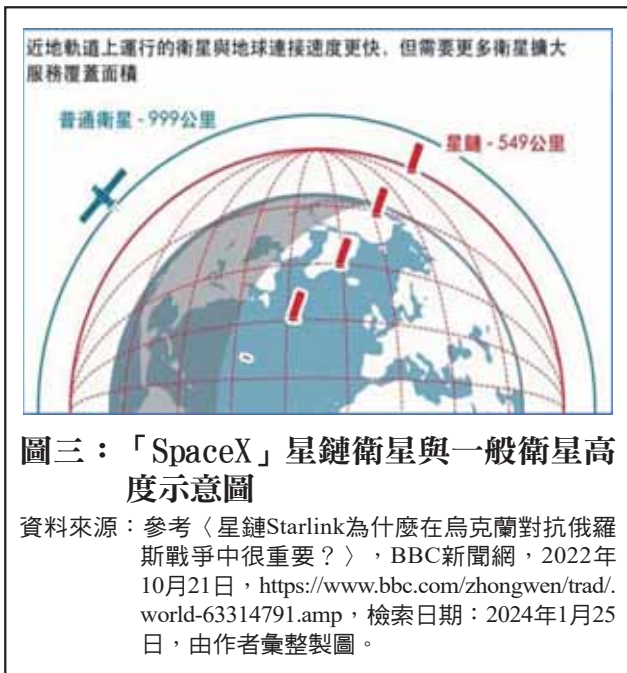
、美兩國合作的「一網全球通訊公司(OneWeb)」等，至於美國「亞馬遜」(amazon)旗下的「Kuiper計畫」則尚未洽談(如表二)，¹⁶並規劃將28GHz的800MHz做為與國際衛星公司合作的頻段，可在偏遠地區擔任地面接收站的回傳網路、或提供使用者海事或山區服務，並在戰時做為軍事通信備援方式。¹⁷至於，行政院「數位發展部」(Ministry of Digital Affairs，簡稱數發部)也要求與多家衛星機構公司合作，以強化國家通訊網路應變韌性，確

註15：江明晏、蘇思云，〈低軌衛星商機1/低軌衛星放眼6G 臺灣靠地緣優勢力拚連網商機〉，中央通訊社，2021年9月4日，<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202109040013.aspx>，檢索日期：2024年1月22日。

註16：加拿大「Telesat」於1969年成立，提供具備高速寬頻衛星技術，與美國「SpaceX」聚焦於消費性市場相比，「Telesat」更專注於企業客戶。一網「OneWeb」於2012年與空中巴士國防航天合資成立，主要子公司一網衛星(OneWeb Satellites)是一家衛星生產工廠；「amazon」衛星網路服務Project Kuiper旨在建立光學衛星間鏈路，利用雷射在各衛星間建立起網狀網路，提供比陸地上光纖網路快近30%的資料傳輸速度。

註17：林淑惠，〈低軌衛星釋照 電信業備戰〉，《工商時報》，2022年11月7日，www.ctee.com.tw/news/tech/749415.html，檢索日期：2024年1月24日。

註18：蘇思云、江明晏，〈臺灣強化網路韌性，數位部推低軌衛星2年計畫〉，科技新報，2023年2月18日，<https://technews.tw/2023/02/18/the-ministry-of-digital-technology-promotes-a-2-year-plan-for-low-orbit-satellites/>，檢索日期：2024年1月21日。



並提供指揮管制也算是相當有效的應用。「俄烏戰爭」中，美國民營網路公司「SpaceX」就主動提供「星鏈計畫(Starlink)」衛星訊號，協助烏克蘭維持對外通信網路暢通(如圖三)；另美國「國家偵察局」(National Reconnaissance Office, NRO)每年支付3億美元(折合新臺幣約94億元)，負責採購各商業衛星公司的高解析度衛星空照圖(如光學、紅外線、合成孔徑雷達成像技術等)做為情報使用，且透過衛星空照，同樣使俄軍動態無所遁形，也能迅速提供烏國做為對抗俄國的利器。²⁰這些使用方式，再再證明低軌道衛星所具備的特殊戰略價值。有關低軌道衛星在軍事領域的發展和趨勢，分析說明如后：

(一) 智能化

低軌道衛星的智能化是軍事領域的一個重要發展方向，包括使用「人工智能」(Artificial Intelligence, AI)運算和自我學習的技術突破，用以提高衛星的工作效率和性能。透過人工智能和雲端計算技術，再加上大數據資料庫應用，能做到自主任務控制、降低人為操控失誤機率，並且進一步透過中、高軌道衛星結合的形式，提升運作分析效能，²¹更助益於軍事運

保國內外訊息傳遞及國家網路安全。¹⁸

3. 2022年8月，國內半導體科技業者「聯發科技公司」已在實驗環境測試中，與距離地面高度600公里，且移動速度每小時2萬7,000公里的低軌道衛星，成功完成模擬「5G」手機通信網路的雙向資料傳輸功能，¹⁹凸顯發展前景可期。

二、軍事用途的發展及趨勢

由於低軌道衛星(LEO)可覆蓋較廣泛的地表範圍，同時提供偏遠山區、海上等通訊無法達到區域之相關語音、簡訊及上網服務，若通信技術應用於軍事用途，用網路協助作戰部隊遠端情資傳遞、追蹤，

註19：高兆麟，〈全球第一！聯發科5G NTN衛星手機，率先完成實驗連線測試〉，ETtoday，2022年8月17日，<https://finance.ettoday.net/news/.2318356>，檢索日期：2024年1月19日。衛星通信被稱為非地面網路(Non-Terrestrial Networks, NTN)，指利用太空或高空載體，透過該載體配置通訊傳輸設備，實現通訊網路覆蓋。

註20：舒孝煌，〈戰場應用亮眼 凸顯商業低軌衛星價值〉，《青年日報》，2022年9月14日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1532557&type=%E5%9C%8B%E9%9A%9B>，檢索日期：2024年1月23日。

註21：董慧明，〈從「星鏈」衛星在俄烏戰爭的應用看中共低軌道衛星的發展〉，《戰略安全研析》(臺北市)，第175期，國立政治大學國際關係研究中心，2022年8月1日，頁64。

用。

(二) 即時通信

戰場環境瞬息萬變，對於快速且即時的通信服務需求也不斷增加；因此，需要增加低軌道衛星的數量來滿足高速、寬頻和長距離的通信要求。美國民間「星鏈計畫」就是以發射大量衛星來達到建置高效能通信網路之目標；若以成本低、高頻寬與低延遲的「低軌道衛星群」網路做為通訊樞紐，將可在第一時間串聯與控制大範圍或全球性的衛星感應網與武器，並提供即時的飛彈預警與「定位、導航、定時」(Positioning, Navigation, and Timing)等軍用功能服務。²²

(三) 全球覆蓋

軍事領域同樣對全球性的通信和數據傳輸服務需求日益增加，而且一般地面網路因基地台設置有侷限性，且無法全方位通達；因此，藉由低軌道衛星在高空位置及不受環境地形影響之特性，可提供大量衛星影像和高分辨圖像數據，並補足現行「5G」系統在偏遠地區通訊上涵蓋之不足。²³衛星觀測常用於識別敵方軍事目標和部署，且能幫助指揮官評估戰場形勢，並做出快速適當決策；因此，低軌道衛星的部署數量在持續增加的同時，代表其對全球覆蓋範圍也在不斷上升。

(四) 多功能

低軌道衛星具備的多功能性也是軍事領域的一個指標，包括「戰場通信」、「地面觀測」、「精準武器定位」和「情報蒐集」及「戰場指管」等多項服務；²⁴透過衛星提供高精確度的定位資訊，能讓部隊執行精準目標標定與打擊等任務。

(五) 安全性

軍事領域對於數據和通信安全的需求高，故一般軍事組織可以使用低軌道衛星進行偵察和情報蒐集，以瞭解敵方的動向和部署。任務部隊在獲得軍事行動、指揮管制、情報蒐集等訊息的同時，系統也透過演算法完成加密，使訊息傳輸更具可靠性及安全性。另一方面，衛星接收天線安裝方便，甚至僅需15分鐘即能完成天線及路由器組裝，其在便利與安全上的要求，符合現代戰場的需要。

肆、建置低軌道通信指管之限制

低軌衛星的問世使得各國科技競爭白熱化，技術不斷的更新，也快速改變人類的生活方式，尤其在軍事應用中也越來越受到重視。以下就低軌衛星通信與指管傳輸相關考量因素，概要分述如后：

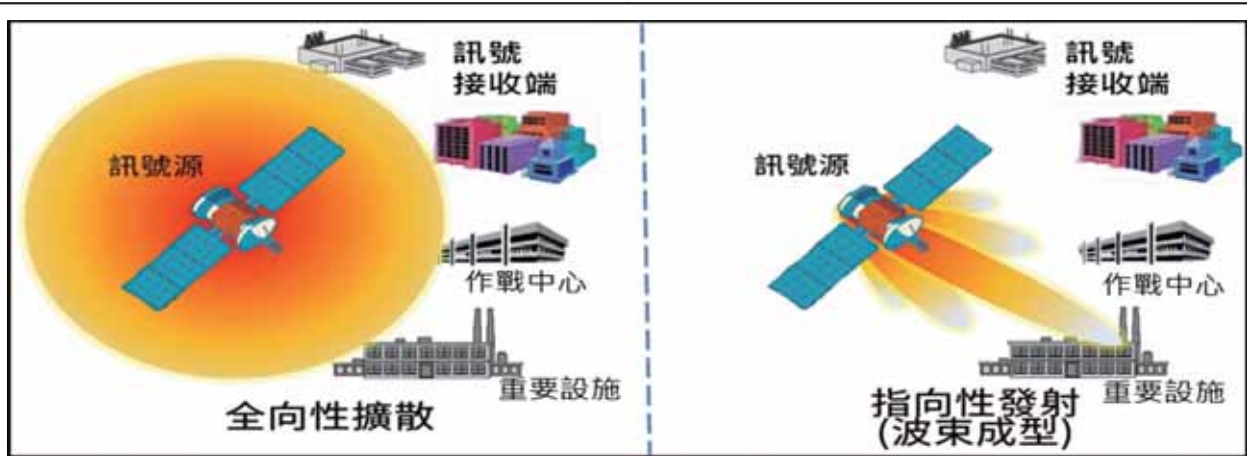
一、低軌衛星通信傳輸概況

衛星通信與一般通訊方式略有差異，

註22：同註11。

註23：陳建志，〈淺談低軌道衛星對臺灣的重要性〉，信傳媒，2023年11月21日，<https://www.cmmmedia.com.tw/home/articles/43582>，檢索日期：2024年2月13日。

註24：袁崇峰，〈我國發展反衛星能力之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第55卷，第6期，2021年12月1日，頁27。



圖四：無線電號傳輸波束成型概念圖

資料來源：參考林福林，〈從天線陣列/方位角到智慧型天線 波束成形基本原理一次看懂〉，新通信元件線上雜誌，2020年8月7日，<https://www.2cm.com.tw/.2cm/zh-tw/tech/A540D94709A74EF7BE05F4BFF1D54451>，檢索日期：2024年1月22日，由作者彙整製圖。

因低軌道衛星在太空運行移動，繞行速度每秒可達7.5公里(可在90分鐘繞行地球一圈)，故通訊傳遞在此種高速下，易產生訊號衰減與偏差，需不斷透過通訊系統進行設定的調整與校正。再者，過去傳統衛星訊號通常無法控制電磁波的波束大小，而低軌道衛星採「5G」通訊所使用的陣列天線，具「波束成型」(Beamforming)²⁵的信號處理技術，能定向發送和接收訊號，藉調整相位陣列的基本單元參數，就能集中指向訊號傳輸，不僅減少訊號干擾，並能提高通信效能(如圖四)。

二、限制因素

(一) 軌道穩定性

受到地球의各種應力影響(如太陽風、月球引力、地球大氣阻力、地球磁場等)，低軌道衛星需要控制系統，如火箭推進器、姿態控制系統、動力學等動力推進系統，不斷微調衛星位置，以保持在軌穩定；²⁶畢竟衛星軌道不穩定就可能影響其運行效果，甚至損害太空中的衛星設備。因此，設計和操作衛星時需要考慮到許多因素，甚至透過控制中心定期進行軌道調整，來確保系統穩定性，以維持功能正常運作。

(二) 製造成本高

低軌道衛星的成本受到設計、製造、運行和推進技術等因素影響，需要大量的

註25：波束成型又稱波束賦形，一種通過控制多重信號源的相位和強度來形成一個有效的信號波束的處理技術，通常用於無線通信系統、超音波檢測和音頻系統。林福林，〈從天線陣列/方位角到智慧型天線 波束成形基本原理一次看懂〉，新通信元件線上雜誌，2020年8月7日，<https://www.2cm.com.tw/.2cm/zh-tw/tech/A540D94709A74EF7BE05F4BFF1D54451>，檢索日期：2024年1月22日。

註26：沈元祥、孫允平、楊憲東，〈微衛星姿態控制系統設計〉，《科儀新知》(新竹市)，第23卷，第1期，臺灣儀器科技研究中心，2001年8月1日，頁51。

人力和物力投入，所以成本較高。美國「麥肯錫(McKinsey)管理顧問公司」²⁷指出，部署一套衛星網路系統費用估計在50至100億美元間(折合新臺幣約1.5-3兆元)，營運成本很高；且衛星屆壽期就需要更換，而成本約10至20億美元(折合新臺幣約300至600億元)。²⁸一般而言，低軌道衛星因為距離地球較近的軌道上，因此需要更強的推進力和成熟的技術。而具體的成本包含衛星設計、製造(包括衛星結構、電子系統、控制系統設計)成本；此外，運行和維護成本也是一個重要因素。由於低軌道衛星須持續進行軌道調整，也必須定期檢查和維護，以確保衛星在太空的正常運行，及數據資料傳輸穩定。

(三) 使用壽命

一般衛星壽命約5-7年不等，且內部電力長短決定在太空中生存的時間，它同時也受到大氣層及時間推移的影響。由於衛星需保持軌道穩定，故會持續消耗內部電力及動力，以維持在軌穩定性；一旦電力逐漸消失，衛星本體終將受地球重力影響，讓飛行高度持續下降，最後落回到地球。²⁹所以必須持續發射新的衛星取代，才能確保衛星傳輸鏈路功能持續正常運

作。

(四) 太空垃圾

由於太空中沒有任何引力，故遺留在太空中的老舊衛星、火箭碎片、太空碎片等物體，可存在時間甚久，使其他衛星的運行和飛航安全受到影響。因此各國政府和「國際太空聯盟」(International Astronautical Federation, IAF)³⁰正持續制定措施，包括執行太空垃圾清除計畫、提高太空垃圾監測能力、提高衛星和太空船設計與操作安全性等，或採取「物理性動能」(Kinetic Physical)或「物理性非動能」(Non-Kinetic Physical)方式，³¹來破壞太空中的垃圾，使其能循慣性進入太氣層中燃燒殆盡或依附在其他星體上。

伍、海軍通信指揮運用構想

現代海軍作戰中，通信系統的重要性確實無庸置疑，甚至足以影響戰術部署、情資共享和聯合作戰等多個層面。軍隊為了因應日益複雜的作戰環境和擴大通信需求，正衍生出建構通信指揮管制系統的概念，據以實現高效、即時且安全的通信運作。以下就海軍建構通信指揮管制方案及運用構想，分段說明如后：

註27：「麥肯錫公司」為一所由「芝加哥大學會計系」教授詹姆斯·麥肯錫創立於芝加哥的管理諮詢公司，營運重點是為企業或政府的高層幹部獻策、針對龐雜的經營問題，給予適當的解決方案。

註28：江明晏，〈SpaceX財務壓力大 低軌衛星獲利大不易〉，中央通訊社，2022年2月3日，<https://www.cna.com.tw/news/afe/202202030073.aspx>，檢索日期：2024年1月25日。

註29：陳怡如，〈低軌衛星讓通信無遠弗屆〉，《工業技術與資訊月刊》(新竹縣)，第367期，2022年10月15日，頁23。

註30：成立於1951年，宗旨是通過科學技術的交流，推動空間技術和外太空的研究與合作，促進宇航事業及和平利用外太空活動的發展，促進先進知識傳播，分享學術成果，獎勵有突出貢獻的太空工作者，開展工作者培訓等。

註31：同註，頁29。

一、建構通信指揮管制方案

以低軌道衛星當作實現建構通信指揮管制機制的媒介，需要綜合考量包括衛星選擇、地面站建設、通信協議以及通信控制軟體等要項及條件，分述如下：

(一) 建置考量

考量衛星生命週期有限，建構低軌道衛星系統必須透過持續發射衛星的方式，來保持穩定的通聯品質。全球預計在2021至2030年間，每年以1,700枚衛星的發射速度確保系統覆蓋率，2030年預估持續成長至1萬7,350枚，³²讓低軌道衛星儼然成為全球占比數量最高的衛星。此外，衛星的軌道高度、軌道傾角、天線方向及覆蓋範圍等要項，也將影響通信的穩定性和可靠性；換言之，這都是建構符合所需的衛星通訊系統前，必須深刻考量的。

(二) 地面站建設

面對天空中為數眾多的衛星，在地面上同樣需要建置一定數量的接收站，藉信號傳遞以實現遠端控制、指管和監控的功能。一般地面站的設置需考量位置及安全性，以保證衛星信號能暢通無阻，並盡可能地縮短與通信指揮中心的距離，以減少信號延遲，以及確保良好的通信品質。另一方面，以「去中心化」(Decentraliza-

tion)概念建立數個功能相同的地面站，不僅達到備援效果，同時也可有效提高系統韌性，以便戰時能快速支援作戰任務。³³僅管建置地面接收站所費不貲，但基於通信傳輸需要，仍應考量其在戰時的實際需求，全力投資經費，以支持作戰需要。

(三) 通信協議

建構低軌道衛星系統需要使用特定的通信協議，為符合現行一般網路數據通信架構基礎，確保數據資料分割與傳輸，現階段多採用「TCP/IP協議」³⁴做為衛星和地面站之間的通信傳遞管道，並在數據傳輸過程檢查有無疏漏；同時為確保通信效率，通信協議需要考慮包括「傳輸速度」、「容錯能力」、「數據加密壓縮和安全性」等因素，且須按照低軌道衛星做相容性的設計，並確保系統相容無礙。

(四) 控制軟體

低軌道衛星系統中的最關鍵部分，即為負責協調與控制地面站和衛星之間運作的控制軟體，該軟體需要具備包括數據傳輸控制、錯誤校驗、數據解碼和處理、通信路由選擇等能力。控制軟體將根據通信任務和衛星軌道狀態，對通信任務進行排程，同時將通信任務進行優化和整合。軟體的良窳也將直接影響整體系統的運作效

註32：陳怡如、涂心怡，〈我的連線，上太空〉，《今周刊》(臺北市)，2022年10月20日，<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183015/post/202210200006/>，檢索日期：2024年1月21日。

註33：張柏仲，〈參酌俄烏戰爭經驗 新版國防報告書凸顯指管去中心化概念〉，中廣新聞網，2023年9月12日，<https://bccnews.com.tw/archives/481239>，檢索日期：2024年1月21日。

註34：「TCP/IP協議」是網際網路的一種數據通信的基礎架構，透過分層的工作結構將數據分割為IP數據包後進行傳輸，並確保所有的數據包都順利傳輸到接收端，且為保障系統的安全性，以「對稱加密技術」(Advanced Encryption Standard, AES)和「非對稱加密技術」(Rivest-Shamir-Adleman, RSA)，對通信進行保護，防止傳輸過程遺失任何數據。

率和安全；因此，建置控制軟體時，應經過精細設計和優化，以確保指揮管制系統的效率和可靠性。

二、衛星通信指管運用構想

海上環境受天候、水文及大氣等限制，無法透過岸上基地台接收通信傳遞訊號，故各類航行船舶均以無線電及衛星電話做為主要通聯方式。海軍艦艇在海上航行及任務，亦同樣受到環境限制(一般數據傳輸受地球曲率影響約25浬)³⁵若能運用低軌道衛星建立通信支援備援手段，將能提升指管的韌性，更有助部隊戰力的發揮。運用構想概述如下：

(一) 結合無人機即時戰場管理

將衛星與無人機科技相結合，可最大化發揮無人機之優點，延伸情報偵照與搜索距離，並透過衛星遠端遙控無人機，俾在現有艦載平面雷達搜索涵蓋距離外之海域，進行先期偵察。³⁶若在作戰行動中，同樣可運用衛星定位功能掌握無人機所在位置，同時在掌握目標精確定位後，運用攻擊型無人機在視距外即可進行偵察與戰術打擊。³⁷另一方面，由無人機提供作戰即時的偵照及視訊，³⁸不僅節約人力負荷

與減少任務派遣風險外，更是可直接避免人員傷亡，對提供指揮官戰場掌握及決策評估，同樣有極大助益。

(二) 建置可攜帶型衛星天線

因應海上艦艇空間有限，部隊行動講求靈活迅速，固定式衛星接收天線並不適用於部隊作戰行動使用；故發展並建置方便攜帶型衛星天線，由於此類裝備電磁波頻段較高，接收設備可進一步改良將體積縮小成約40公分大小的接收天線，³⁹軍事行動過程可視戰況需要，以非定點方式選擇適當接收訊號位置，或採臨時架設天線方式，交換情資並傳遞重要訊息，讓部隊具備即時掌握戰機之優勢，亦有利於指揮官命令下達。

(三) 延伸通信指管距離

1. 透由衛星提供遠距離通信能力，進而加大艦隊編隊距離，此特點可提高艦隊作戰時艦艇的隱蔽性及存活率；或透過無人機延伸艦隊通信涵蓋範圍；或透過改裝無人機承載衛星接收天線，做為通信接收之中繼載台，在適當調整部署位置後，可擴大通信涵蓋範圍，同時常保鏈路訊號不受影響而中斷。惟以衛星建立通信指管機

註35：曾國政，〈海軍建置「協同作戰能力」(CEC)與現行數據鏈路之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第6期，2022年12月1日，頁100。

註36：楊宗新，〈「衛星技術」在中共軍事領域之應用及國軍應處之道〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第58卷，第1期，2024年2月1日，頁13。

註37：周子馨，〈SpaceX證實限制烏軍「武器化」衛星 烏方怒要求選邊站〉，yahoo新聞網，2023年2月10日，<https://tw.news.yahoo.com/spacex證實限制烏軍-武器化-衛星-烏方怒要求選邊站-032559302.html>，檢索日期：2024年1月23日。

註38：徐康榮、孫亦韜，〈中共運用無人載具對我海軍艦隊作戰影響〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第52卷，第5期，2018年10月1日，頁76。

註39：蔡榮峰，〈低軌衛星5G通訊與臺灣參與〉，《國防安全雙週報》(臺北市)，第62期，財團法人國防安全研究院，2019年8月30日，頁34。

制，可延伸之編隊及通信傳輸距離等具體參數，仍待實測蒐集，俾做為修訂部隊任務準則之參據。

2. 各式機動雷達車及飛彈車，進駐戰術及戰力保存位置時，通常會受到先天地形環境侷限影響；若能以衛星訊號垂直傳遞，則可消除機動雷達車及飛彈車戰術行動時所受地形阻隔限制，確保指管通信暢通無礙。另潛艦屬戰略武器，行動本身就不可測知，在戰術指管和通信傳遞上頗為不易，若應用低軌道衛星科技特性，配合潛艦在適切深度施放通信浮標，進行通信構聯，有助即時訊息傳遞與接收，亦利於指揮官完整兵力派遣管制。

(四) 戰場視訊

部隊若在遠距離條件下，分隔多地執行任務，常需要以衛星視訊方式與艦艇及岸置指揮所通聯，以進行戰場情資分享及訊息傳遞，以彌補地面網路訊號受地形限制的不足，同時也提供指揮官和參謀判斷運用。⁴⁰因此若能藉衛星科技技術與「戰術共同圖像」(Common Operation Picture, COP)整合，讓部隊各級指揮官都可以看到相同戰場態勢，將可大幅提升指管效益，並發揮聯合作戰效能。⁴¹

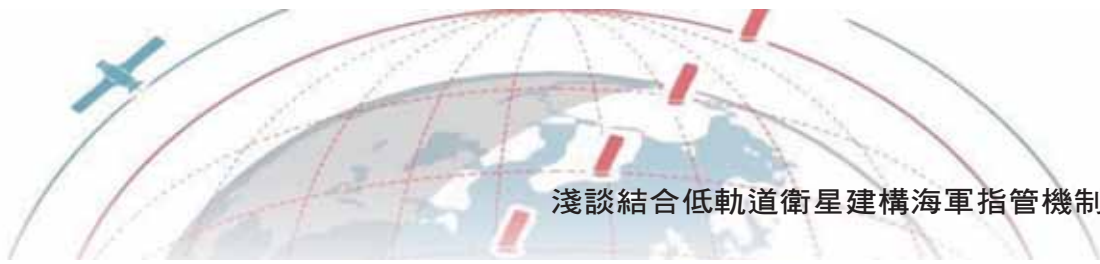
陸、結語

隨著人類文明演進，在美國、蘇聯兩大強權太空競賽後，開啟各國對太空研究與探索，並陸續發射火箭運送各種衛星科技裝備到太空中，以進行各項實驗與研究。近年來，各國除持續發展衛星科技，使地面觀測、定位及通信的功能不斷提升外，也透過衛星技術以彌補通信受地形限制的不足。依「俄烏戰爭」經驗，證實衛星系統能有效提高通信指揮管制的能力和效率，尤其在遠距離傳輸和高頻寬通信；因此，我國如何因應科技發展與傳輸需求，並發展一套適合用於低軌道衛星系統，以強化通信指揮管制(含備援)機制(包括選擇適當的衛星、建設地面站、選擇通信協議和使用加密技術等)，至關重要，不僅將使網路傳遞更可靠，且更適宜納入戰場指管通信使用。

我國現行通信指揮管制在面對大數據流量和高強度要求狀況下，仍存在著不足之處，包含傳統的通信指揮管制機制所使用的頻寬有限，導致無法應對異常大的數據流量狀況；或者當通信系統出現故障時，以現有的通信指揮管制機制，常常無法及時應對，甚至產生數據遺失和中斷，及系統出現延遲等反應速度降低等問題，這些都有待立即改進，才能支持任務部隊所需。期望衛星技術相關研究，能提供我軍

註40：楊孟軒，〈搭飛機也能視訊開會！低軌道衛星商機來臨，臺廠卡位有絕對優勢〉，《天下雜誌》，第763期，2022年12月13日，<https://www.cw.com.tw/article/5124003?-template=transformers>，檢索日期：2024年1月22日。

註41：曾國政，〈海軍建置「協同作戰能力」(CEC)與現行數據鏈路之研究〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第6期，2022年12月1日，頁89。



淺談結合低軌道衛星建構海軍指管機制系統

在建構衛星通信指管上之發展有所助益，並使艦隊作戰能突破既有距離限制，暢通指揮管制、清除戰場迷霧，進而支援我海上及地面作戰行動，快速達成任務，才是建置系統的最大價值。 ㊦

作者簡介：

劉安翼中校，海軍軍官學校98年班、國防大學海軍指揮參謀學院111年班。曾任海軍岳飛軍艦飛彈長、迪化軍艦作戰長、海鋒大隊中隊長，現服務於海軍司令部。

左營軍區的故事

海軍總醫院

民國32年4月日本海軍將在臺灣最高的指揮機關-警備府及其所屬施設部、工作部、通信隊、海兵團、海軍病院等各機構和部隊，由澎湖馬公移至高雄左營；其中，海軍病院即為海軍總醫院（今國軍左營總醫院）前身。

民國34年臺灣光復後收編為「海軍醫院」，民國36年更名為「海軍第三醫院」，民國38年正式定名為「海軍總醫院」，民國71年起醫院評鑑評定為「區域教學醫院」，民國84年精進案改名為「國軍806總醫院」，民國87年精實案更名為「國軍左營醫院」，民國91年實施國防二法改隸屬國防部軍醫局，民國94年更名為「國軍左營總醫院」，民國102年更名為「國軍高雄總醫院左營分院」，民國113年再更名為「國軍左營總醫院」。

該院秉持「視病猶親」的憫人胸懷，堅定「大家同在一條船上」的信念，打造以價值為基礎之優質化醫療品質，建立以病人為中心之整合性醫療架構，進而提供優質貼心的醫療服務品質，期達成「海軍軍陣醫學的醫療重鎮，社區軍民信賴的保健資源」的願景。（取材自《鎮海靖疆-左營軍區的故事》）

