

# 運用低軌道衛星系統強化海軍通信指管機制之研究

Research on Enhancing Naval Communication Command Mechanisms through the Use of Low Earth Orbit Communication Satellite Systems

海軍中校 劉伯軒

提 要：

- 一、自2022年2月24日「俄烏戰爭」爆發以來，烏克蘭成功地將這場軍力懸殊的俄羅斯入侵行動，升級成為國際政治、戰爭議題，並順利向西方國家爭取龐大的軍事援助；並在開戰48小時內得到美國「太空探索技術公司」(SpaceX)支援「星鏈」(Starlink)衛星接收器，除確保政府能在社群媒體上持續更新戰況、穩定軍心外，同時也運用無人機成功進行作戰行動。此一運用充分凸顯「低軌道通信衛星」在戰場上，對網路效能維持，確實發揮關鍵之作用，值得我國借鏡學習。
- 二、近年來，中共在我國周邊持續進行的「海上灰色地帶」行動，已讓兩岸緊張情勢倍增，對我海、空軍更形成嚴重任務負荷；因此，我國在提升通信傳輸上，必須更快速，並思考如何精進強化，才能掌握臺海全般動態、即時反應威脅。由於運用低軌道衛星現已成為強化通信指管之趨勢，國軍應藉此方式提升情監偵能力及海上指管機制，俾能順利完成制海任務。

關鍵詞：俄烏戰爭、灰色地帶、臺海衝突、低軌道通信衛星系統

## Abstract

1. Since the outbreak of the Russo-Ukrainian War on February 24, 2022, Ukraine has successfully elevated this conflict, despite the vast difference in military power between the two parties, into an international political issue. They actively sought military support from Western nations and received aid from the United States "SpaceX" within 48 hours of the conflict's onset, providing "starlink" satellite receivers. This ensured continuous updates on the war situation through social media, boosted morale within the Ukrainian military, facilitated unmanned drone operations, and underscored the critical role of "low Earth orbit communi-

tion satellites” in battlefield scenarios. It highlighted how such a system sustains overall telecommunication, networking, and communication efficiency. This experience is worth emulating for our country.

2. Looking back at the recent actions of the Chinese Communist Party in the “maritime gray zones” around Taiwan, it’s evident that their activities have expanded beyond mere “crisis management” and might necessitate our military to enter a “heightened alert” phase at any time. Hence, our country must be more vigilant in enhancing military communication and transmission to comprehend the entire dynamic situations in the Taiwan Strait. Utilizing low Earth orbit satellites is poised to be a future battlefield trend. We should consider breaking free from traditional joint surveillance frameworks to effectively enhance the “overall defense operations command” mechanism of our armed force.

**Keywords: Russia-Ukraine war, Gray Zone, Taiwan Strait Conflict, Low Earth Orbit**

## 壹、前言

2022年2月24日，俄羅斯總統普丁(Putin)正式對烏克蘭實施「特別軍事行動」，計畫在12小時內取得戰場制空、36小時內摧毀烏軍通訊、48小時內繞過主要城市地區，切斷東部軍隊連繫、包圍基輔，並計畫在72小時內設立臨時政府；<sup>1</sup>然而，烏國卻能成功阻止俄軍進攻，主要是因為有效運用軍事、政治和援助裝備等多種反制措施，其中也包含國際社會的支持。更重要的關鍵是在開戰48小時內，美國民間的「太空探索技術公司」(SpaceX)執行長馬斯克(Elon Musk)就陸續援贈數批「星鏈」(Starlink)衛星接收器，這一舉

措成為烏軍扭轉戰場通信的關鍵，<sup>2</sup>也讓戰事由「一面倒」演變成持久的「消耗戰」，顯見低軌道衛星通信系統在戰場指揮管制的重要性。

我國面臨中共的威脅未曾減緩，尤其近年來，共軍機、艦在臺灣周邊海域活動遽增，中共更持續擴張其在東海、臺海和南海等爭議海域的海上力量和海事部署，建立「一線海上民兵、二線海警、三線海軍」的軍警民聯合體系及一連串計畫性的活動。<sup>3</sup>其表面上似乎是為降低軍事衝突和風險，細究其內涵卻是實質的戰略攻勢擴張；且自2020年底以來，共機幾乎每日都在侵擾我國防空識別區(ADIZ)，2023年侵擾事件更達4,032架共機，<sup>4</sup>已超過近幾

註1：“Marco Rubio, We Know What Putin’s Plan Was”, Twitter, Feb 27, 2022, [https://twitter.com/marco\\_rubio/status/1497772049283969028](https://twitter.com/marco_rubio/status/1497772049283969028), Access date: Mar 17, 2024。

註2：〈星鏈Starlink為什麼在烏克蘭對抗俄羅斯戰爭中很重要？〉，BBCNEWS中文，2022年10月21日，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-63314791>.amp，檢索日期：2024年3月21日。

註3：黃恩浩，〈中國海警部隊轉隸武警體系之觀察〉，《國防情勢月報》(臺北市)，第137期，2018年11月9日，頁34-35。

註4：〈侯友宜說「今年中共戰機來了4千架次，3年前只有130架次，增加30倍」〉，臺灣事實查核中心，2023年12月22日，<https://tfc-taiwan.org.tw/articles/10016>，檢索日期：2024年3月12日。

年總和，其意圖確實「不言而喻」。

美國智庫「外交關係學會」(Council on Foreign Relations)2023年2月10日發表《中共近期在ADIZ的侵擾行為改變臺海現狀》(China's Recent ADIZ Violations have Changed the Status Quo in the Taiwan Strait)專文表示，中共利用時任眾議院議長裴洛西(Nancy Pelosi)2022年8月訪問臺灣時機，運用封鎖圍臺軍事手段越過海峽中線，對外宣布海峽中線並非官方邊界，其片面改變臺海現狀之意圖「昭然若揭」。<sup>5</sup>儘管當前國軍對敵機、艦，雖本「不引發事端、不升高衝突、減低敵對行為」為處理原則，惟在海峽中線以東活動區域內，仍秉持「不怯敵、不挑釁」之堅定立場，執行攔截與監視任務。<sup>6</sup>由此更看出，掌握臺灣周邊海域動態，除運用原岸置指管通情監偵系統外，尚須考量一旦兩岸情勢升高後，如何運用衛星系統做為備援手段之重要性。

本文藉探討如何運用低軌道衛星系統，來深化及鞏固通信及鏈路系統運作，確保平時順利進行戰場經營，戰時指揮管制

作戰遂行。由於當前發展低軌道通信衛星系統幾乎已是全球未來趨勢，它不僅能協助海軍增加戰場透明度、延伸通信範圍，亦可迅速應對目前臺海及「第一島鏈」內中共對我之「海上灰色地帶」衝突；因此，撰文主要目的即在期許國軍加速發展此類通信系統，不僅提升指管效率，也增強備援機制彈性，大幅提升防衛作戰整體運用。<sup>7</sup>

## 貳、認識衛星種類及軍事運用現況

衛星科技在日常生活中運用日趨多元化，不僅用於通訊及網路連結，更可提供天氣預報、全球定位系統(GPS)精確定位及地球觀測；而在軍事領域上，亦扮演著重要的角色。透過不同種類之衛星手段，可獲取各種即時的情報資訊，同時提供通信支援、監偵、導航定位及戰場指揮管制之用。以下就衛星種類、特點及軍事應用現況，概要說明如后：

### 一、衛星種類

衛星一般根據軌道高度不同，通常區分以下四類(如表一)，<sup>8</sup>概述如下：

註5：Ben Lewis, "China's Recent ADIZ Violations have Changed the Status Quo in the Taiwan Strait", Council of Foreign Relations, Feb 10, 2023, <https://www.cfr.org/blog/chinas-recent-adiz-violations-have-changed-status-quo-taiwan-strait>, Access date: Mar 20, 2024。

註6：〈共軍第一擊我反擊誰決策？國防部：第一線部隊斷然處置〉，《聯合報》，2022年10月13日，<https://udn.com/news/story/10930/6683466>，檢索日期：2024年3月5日。

註7：黃宗鼎，〈「戰略清晰」是消弭「灰色地帶」的不二法門〉，財團法人國防安全研究院，2023年6月6日，<https://indsr.org.tw/focus?uid=11&pid=1626&typeid=32>，檢索日期：2024年3月6日。

註8：M. F. Othman, N. A. Kamarudin, M. R. Samsudin, N. Hamzah & A. Sabirin, "Parametric Analysis of the Communication Satellite Characteristics", 2009 International Conference on Space Science and Communication. T. E. Mangir, "The future of public satellite communications," 1995 IEEE Aerospace Applications Conference. Proceedings, Aspen, CO, USA, 1995, pp. 393-410 vol.1。

表一：衛星種類對照表

衛星種類	地球同步軌道衛星	中軌道衛星	低軌道衛星	太陽同步軌道衛星
距離地表	35,786公里	2,000-35,786公里	200-2,000公里	500-800公里
移動速度	11,000公里/小時	14,000公里/小時	27,000公里/小時	27,400公里/小時
使用壽命	10-15年	5-10年	3-5年	10-15年
延遲時間	250毫秒	100毫秒	20毫秒	30毫秒
相關應用	監偵、氣象、導航	導航、通訊	監偵、通訊	測地、氣象
實例	美國GOES 印度INSAT系列 中共中星系列	美國GPS	美國SpaceX	美國Landsat

資料來源：參考吳秀樺，〈低軌衛星是什麼？為何大紅？臺灣機會在這5個產品，一篇文看懂〉，數位時代，2022年11月21日，<https://www.bnext.com.tw/article/71771/leo-compatible--5g-components0920>，檢索日期：2024年3月2日，由作者彙整製表。

### (一) 地球同步軌道 (Geostationary Earth Orbit, GEO) 衛星

屬傳統衛星，距離地球表面約35,786公里，軌道周期和地球自轉周期一致(24小時繞行地球1週)，代表從地面觀察衛星其位置不會改變，而地面天線追蹤衛星可不必轉動天線。GEO可對某固定地區提供連續的通信、天氣監測或廣播覆蓋，如日本「氣象廳」(JMA)用以提供亞洲和太平洋地區的氣象監測和通信的「MTSAT」衛星，即是一例。

### (二) 中地球軌道 (Medium Earth Orbit, MEO) 衛星

軌道高度約為2,000公里到3萬5,700公里，多數為每12-24小時繞行地球1圈，最著名的MEO衛星系統是美國的「全球定位系統」(GPS)，透過此方式提供全球24小時不間斷的導航和定位服務。

### (三) 低地球軌道 (Low Earth Orbit, LEO) 衛星

軌道高度約為200公里到2,000公里，

其軌道高度低，故飛行速度快，平均繞行地球一圈時間僅需約100分鐘。通常用於地球觀測、通信、導航和科學研究，一般「國際太空站」(ISS)就位於此一軌道上。

### (四) 太陽同步軌道 (Sun-Synchronous Orbit, SSO) 衛星

高度一般在500公里至800公里之間，是一種特殊的地球軌道衛星，此種軌道設計的衛星在不同季節和時間都保持於太陽和地球的相對位置不變，衛星能夠以較低的高度運行，從而實現高解析度的觀測。SSO通常用於監測地球、預報天氣、環境保護及科學研究等領域，美國「地球觀測計畫」(Landsat Program)所採用的「Landsat」衛星系統即屬此類。

## 二、我國衛星軍事運用現況

我國在電子通訊、航太金屬、半導體元件及衛星通訊設備等領域衛星均有相關成熟產業，故對於衛星相關系統零組件也已形成供應鏈，可製造高品質衛星地面設備；惟在國防與民間科技整合方面，仍有



諸多挑戰，尚無法成為全球主要的整合設備商，亦有待持續推展。<sup>9</sup>國產衛星有「福爾摩沙衛星」（主要為太陽同步軌道衛星）及與新加坡共同運營「中新衛星」（地球同步軌道衛星），其餘均需透過商業管道租用，更遑論有完全自主之通訊衛星。有關衛星運用現況，說明如后：<sup>10</sup>

（一）衛星在軍事運用方面以通信及資料鏈傳為主，國軍主要「天頻」、「維星」為商租「中華電信公司」之「中新二號」同步軌道衛星(ST-2 GEO)，也是該公司之商用廣播衛星。自2011年發射啟用至今已逾10年，該衛星之中繼轉發功能，<sup>11</sup>須透過地面主控站進行雙跳式閘道網管服務，故常有阻通或訊號延遲產生，就軍事運

用角度觀察，在指揮管制效率及通信維持能力上，效能仍待提升(如圖一)。

（二）除通信及資料鏈傳外，衛星之軍事用途中亦包含「導航定位」、「監偵」、「氣象」及「測地」等四類，目前除「監偵、氣象、測地」類部分功能運用國產「福衛五號、七號及八號」外，涉及「導航定位」部分仍需仰賴他國支援。有關功能部分，分述如下：

1. 導航定位(Navigation and Positioning)：

現今世界有四大導航系統，分別為美國「全球衛星導航系統(GPS)」、歐盟「伽利略定位系統(Galileo)」、俄羅斯「格洛納斯衛星系統(GLONASS)」及中共「北斗衛星導航系統(BeiDou)」，除伽利略系統係由民間機構控管外，其餘系統控制權均由該國軍方掌握，且均有聲明無法全時提供定位服務，代表可能因戰時或利益衝突時被選擇關閉系統，以利軍事上的應用；<sup>12</sup>這也意謂一旦臺海爭端發生時，美國為防止中共使用GPS定位系統，可能隨時停止GPS訊號，藉以阻撓中共訊號傳遞，此時連帶會造成我軍作戰行動受影響，屆時不僅無法掌握部隊位置，也使得戰術行動無法正常下達。

2. 監偵(Surveillance)：

註9：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，2019年8月30日，頁33-44。

註10：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34-33。

註11：數位發展部，〈應變或戰時應用新興科技強化通訊網路數位韌性計畫(111年核定本)〉(臺北市)，2022年8月，頁78。

註12：樊德平、薛明立，〈戰爭中的雙眼 全球衛星系統強國爭霸〉，《工商時報》，2023年11月2日，<https://www.ctee.com.tw/news/20231102701476-430701>，檢索日期：2024年3月8日。

我國「福爾摩沙」系列衛星均無法獲取立體影像，也無法提供全時、全天候衛星影像，且目前仍受限於感光元件及後續影像處理問題，故往往以運用國外商用衛星(如GOOGLE)，以獲得光學與雷達影像，且一般解析度較高。

### 3. 氣象(Meteorology)：

現用「福爾摩沙衛星五號」可每日提供即時、高精度的大氣觀測資料(囊括各層空氣密度、溫、氣壓和濕度剖線等近500項大氣環境資料)，再配合美方GPS定位系統，使其成為天氣、氣象預報及太空研究的利器。<sup>13</sup>另我國現今氣象雲圖，主要由日本同步氣象衛星所拍攝，在軍事運用上，不同的氣象條件及變動的大氣環境，對高科技武器裝備、作戰人員、作戰行動乃至整個作戰進程，都有深淺不同程度的影響。<sup>14</sup>

### 4. 測地(Geodesy)：

「福爾摩沙衛星五號」配備高解析度的光學成像儀器，用於生成地球表面影像，主要顯示地表變化和地形測繪，提供最新地形地貌資訊，俾用於地圖製作，並可用來製作數據地形模型，進而匯入地理資訊系統，建立基本圖檔資料，再視需要轉

換為電子地圖應用。<sup>15</sup>

## 參、現今低軌道通信衛星運用

低軌衛星最大優勢為不易受到地形限制，它能夠有效覆蓋地面基地臺不易通聯區域(如遠離陸地海域、叢林深處等)，而這是其他種類衛星無法辦到的，且根據數據統計，全球約有35億人口生活在網路覆蓋不足的地區，隨著低軌衛星技術的不斷發展，未來這一領域的應用潛力將不斷擴大。<sup>16</sup>低軌道通信衛星在各主要國家商業發展，及「俄烏戰爭」運用實例，分項說明如后：

### 一、低軌道衛星在各國商業概況

現今全球最積極布局低軌道衛星產業，主要有四大營運廠商，分別為「太空探索技術公司(SpaceX)」(美國)、「一網公司(OneWeb)」(美國)、「電星公司(Tele-sat)」(加拿大)和「亞馬遜公司(Amazon)」(美國)，<sup>17</sup>而其中美國3家公司已掌握其中科技主流；另中共及許多歐洲國家都積極推動相關的政策及資源輔助；而在主流低軌衛星軌道發展規劃中(如圖二)，可看出未來覆蓋率提高，也將成為發展趨勢。以下就與我國關連最大的美國及中共發展

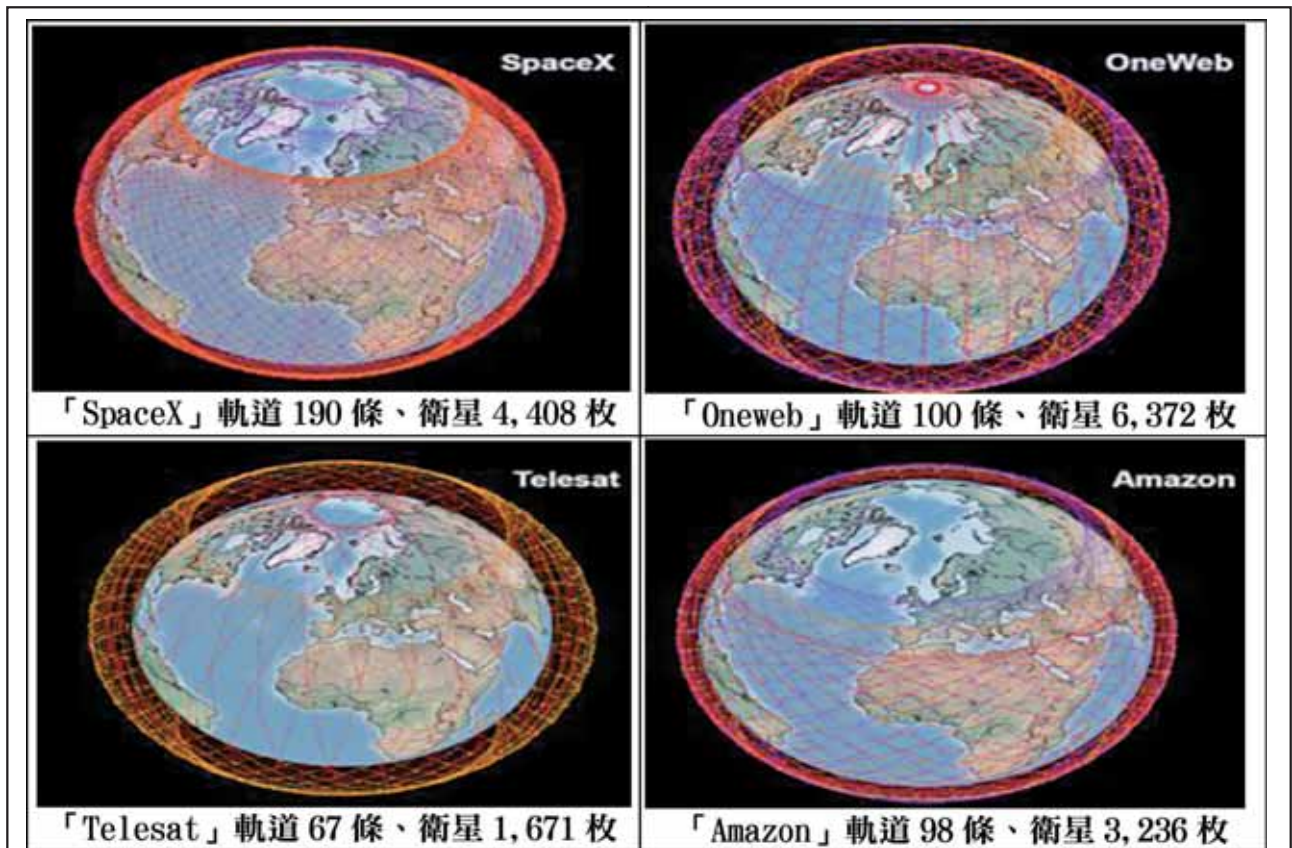
註13：毛正氣、戴世杰，〈中共氣象衛星之發展與現況〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第45卷，第4期，2011年8月1日，頁105。

註14：交通部中央氣象局，〈新發射氣象衛星資料之接收及其產品應用計畫書(核定本)〉，2015年9月，頁3-10。

註15：李芸珊、周士傑，〈福衛五號：遙測影像的生產鏈〉，數位大觀園，2015年1月30日，<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=4c1a1dc5-d59a-4569-9da4-83dd0bd33d16>，檢索日期：2024年3月8日。

註16：張嘉軒，〈臺灣的低軌道衛星供應鏈〉，MoneyDJ，2022年3月29日，<https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviewer.aspx?a=95a9c07c-c534-4808-96e0-a3ac323de60f>，檢索日期：2024年3月9日。

註17：陳子榕，〈2023年低軌道衛星商機噴起來〉，《萬寶週刊》(臺北市)，2022年12月23日，<https://udn.com/news/story/6850/6859367>，檢索日期：2024年3月5日。



圖二：國際主流低軌衛星服務系統軌道規劃示意圖

說明：美國「麻省理工學院」曾對四大低軌衛星營運廠商進行比較，並根據每家廠商向聯邦通訊委員會提交的技術規格計算各廠低軌衛星系統的全球數據容量，四家公司均計畫持續發射衛星入軌，以達更高涵蓋率。

資料來源：參考Jennifer Chu, “MIT study compares the four largest internet meganetworks,” MIT News, June 10, 2021, <https://news.mit.edu/2021/study-compares-internet-meganetworks-0610>, Access date: Mar 17, 2024, 由作者彙整製圖。

狀況，分段說明如后：

(一)美國

1. 低軌道衛星營運公司以「太空探索技術公司(SpaceX)」的「星鏈計畫」(Starlink)規模最大，並與「美國太空總署」(National Aeronautics and Space Administration, NASA)簽署多項合約，俾大幅提升美軍通信、偵察和導航能力。根

據公布數據，自2018年2月首次發射迄今現已有逾4,408枚Ku、Ka波段衛星在軌工作，每枚衛星的重量大約在260至300公斤，主要用戶分布在北美、歐洲及澳大利亞等36個國家或地區；<sup>18</sup>未來規劃朝向布局42,000枚低軌道衛星，以增加衛星覆蓋率，確保服務無死角，同時放眼全球偏遠地區，並提供低成本的互聯網連線。<sup>19</sup>

註18：〈什麼是星鏈 Starlink？成千上萬顆低軌衛星布局的背後〉，BBC NEWS中文，2022年8月2日，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/science-62377847>.amp，檢索日期：2024年3月8日。

註19：〈低軌衛星業者紛紛就位，成長正要開始！目前有哪些臺廠已供貨？後續供應觀察重點這樣看！〉，優分析網站，2023年10月27日，<https://uanalyze.com.tw/articles/599063999?ssp=1&setlang=zh-hant&cc=TW&safesearch=moderate>，檢索日期：2024年3月9日。

2. 美國軍方為建立一個統一的太空網路體系目標，並將低軌道衛星與中高軌道衛星、無人機、飛機和地面站等平台連接起來，以形成一個全球範圍的資訊傳輸和共享網路。軍方也希望利用低軌道衛星的高速、低延遲和抗干擾的特性，提升其對太空感知和控制能力，以應對可能的太空衝突和威脅，並預計在2024年前完成低軌道衛星測試和驗證，並在2028年實現太空網路的初步運作能力。<sup>20</sup>

3. 除「SpaceX」公司為美國國防和情報機構提供地球觀測、安全通訊和有效載荷託管等服務外，如「一網公司(Oneweb)」及「亞馬遜公司(Amazon)」等公司亦透過「美國聯邦通信委員會」(Federal Communications Commission, FCC)批准衛星發射和運營許可，支持發展低軌道衛星科技，對民間公司來說，可運用政府資源來測試其衛星系統之性能和可靠性；對軍方而言，在大幅提升軍事通訊和情報收集能力；相對於美國政府來說，不但使全球網路覆蓋率提升，也降低生產衛星成本，並協助民間公司在國際市場取得競爭力，進而保障國家安全。<sup>21</sup>

## (二) 中共

### 1. 2016年12月15日，中共國務院發布

「『十三-五』國家信息化規劃」，內容明確提及要「構建天地一體網絡空間基礎設施」以及「建設軍民一體、平戰結合、攻防兼備的網絡安全體系」。在此政策推動下，由「中國航天科技集團」、「中國航天科工集團」分別推出的「鴻雁系統」、「虹云工程」成為當前低軌道衛星發展最具特色的工程項目。2018年12月，「虹云」、「鴻雁」首顆衛星皆相繼成功發射，象徵中共低軌道寬頻通訊衛星系統建設已進入實質發展階段。

2. 2021年4月28日，由中共「國務院國有資產監督管理委員會」成立的「中國衛星網路集團有限公司」掛牌運作，繼「中國電信集團有限公司」、「中國聯合網路通訊集團有限公司」、「中國移動通信集團有限公司」及「中國廣播電視網絡集團有限公司」之後，成為中國大陸第五家電信運營商，專注於衛星通訊和低軌衛星通訊產業發展。其次，中共民營航天企業，如「九天微星」、「銀河航天」等公司也提出低軌道衛星星座計畫，在民營衛星和運載火箭技術領域方面有所突破。<sup>22</sup>

3. 中共現今低軌道衛星通訊產業以資訊網路服務為主，處於穩定發展階段，並且在既有的多項民用數據通訊服務之外，

註20：陳成良編譯，〈「星鏈」大升級成「星盾」！SpaceX放眼國防與情報客戶〉，自由電子報，2023年1月22日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/4191788?ssp=1&setlang=zh-hant&cc=TW&safesearch=moderate>，檢索日期：2024年3月9日。

註21：〈5G時代之後，低軌道衛星將有愈來愈多大廠切入卡位〉，科技產業資訊室，2021年2月1日，<https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=17484&ssp=1&setlang=zh-hant&cc=TW&safesearch=moderate>，檢索日期：2024年3月9日。

註22：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，2022年4月22日，頁33-44。



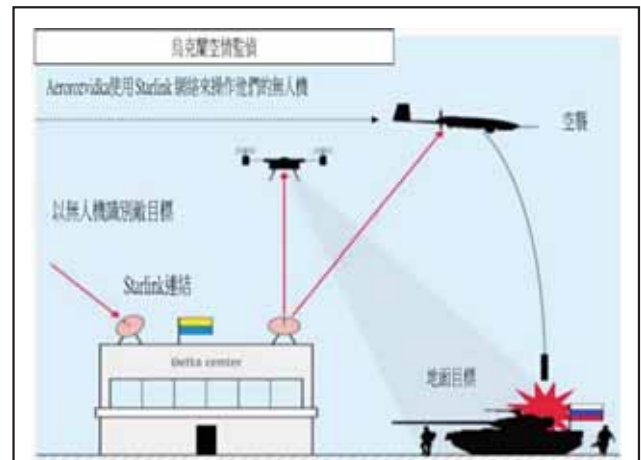
同時結合軍事通訊用途。以「鴻雁系統」為例，除可提升「北斗」衛星導航系統的定位精度，當共軍部隊在山林、野外、海洋區域活動，亦能確保地面通訊系統、航空、航海監視的組網全面覆蓋，而有利於廣域的行動通訊訊息交換和掌握。<sup>23</sup>僅就現有情資顯示，目前已能全面掌控我國陸、海、空各項動態資訊，影響不容小覷。

### 二、「俄烏戰爭」運用

「俄烏戰爭」在2022年2月爆發後，由於烏克蘭並無軍事通訊衛星，只能有限度地使用商業衛星補足受到重創的傳統無線電和有線電通訊系統，故當美國「星鏈」衛星開始為烏軍提供衛星通訊和情報技術支援，僅憑其分布完整之衛星接收終端設備，就能大幅改善烏國在指管通信的能力，也確保在戰場上敵、我雙方動態掌握以及指揮打擊效能，同時也能進行直接攻擊俄軍任務，並在戰場上發揮關鍵性作用，重創俄軍。以2022年4月21日烏軍在馬里烏波爾(Mariupol)戰場上，「星鏈」衛星運用概況，說明如后：<sup>24</sup>

#### (一) 情報傳遞

作戰初期，烏軍原處於僅能防禦的處境，突破困境之關鍵在於運用「星鏈」衛星和總部進行通訊聯繫與情報傳遞，烏軍透過前線小型無人機連結地面終端設備實施情蒐，並即時將訊息傳回指揮部或軍用



圖三：烏軍無人機精準地面轟炸示意圖

說明：「空中偵察(Aerorozvidka)」是烏軍一個小型無人機部隊，在2014年6月由具備IT與無人機專業的民間人士所創立，旨在促進為烏克蘭的安全和防禦部隊創建和實施網絡中心和機器人軍事能力。他們使用Starlink協調敵機識別系統，透過無人偵察機及無人攻擊機實施精準地面轟炸。

資料來源：參考Reports that Ukraine has begun to use Starlink for 'anti-tank bombing,' Mar 22, 2022, [https://gigazine.net/gsc\\_news/en/20220322-starlink-helping-ukraine-win-drone-war/](https://gigazine.net/gsc_news/en/20220322-starlink-helping-ukraine-win-drone-war/), Access date: Mar 17, 2024，由作者彙整製圖。

無人機導控站(如圖三)。

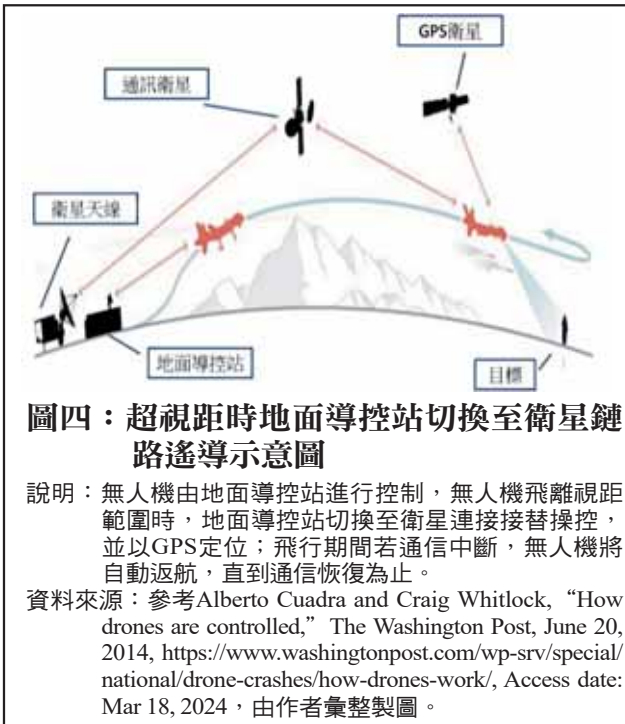
#### (二) 指揮管制

烏軍依偵知結果透過「星鏈」對攻擊無人機、戰機和地面砲兵等戰鬥單位下達攻擊指令，對已標定之俄軍部隊分別執行打擊，不僅造成俄軍將領陣亡、部隊有生力量遭擊滅，連軍艦、戰車等重裝武器也都有損毀；儘管與攻擊性武器有效發揮密不可分，但「星鏈」提供之精準定位助力、維持通訊構連暢通無礙，確實都對任務完成有著重大意義。

#### (三) 超視距導控

註23：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6-13。

註24：〈「星鏈」在亞速鋼鐵廠參戰「實錘」，信息量很大〉，壹讀，2022年5月22日，<https://read01.com/gzd440e.html>，檢索日期：2024年3月10日。



烏軍運用無人機與「星鏈」衛星聯結後，實施超視距(Beyond Line-of-sight, BLOS)傳輸，即便當無人機超出導控距離範圍時，仍可透過地面導控站切換到衛星鏈路，確保對無人機任務的持續控制(如圖四)。

#### (四) 認知作戰

「星鏈」衛星通訊增加烏國在傳遞訊息方面之優勢，也在「媒體戰」攻防中提供穩固的通訊基礎，發揮極其重要的功用；另一方面烏軍也能夠有效對抗俄方發動的假訊息及「認知作戰」攻勢，此種能力的展現對於在國際間取得聲援及經援，同時在影響敵方心理層面上，都發揮極大的價值。<sup>25</sup>

## 肆、我國在低軌道衛星發展與未來趨勢

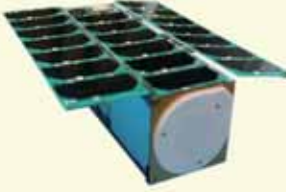

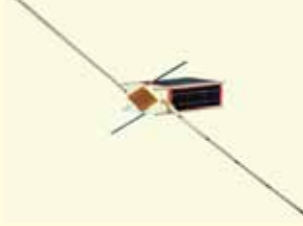
我國目前在低軌道衛星領域，雖然未具備獨立發射能力，但隨著科技技術日新月異，及全球通信需求增加，或許仍有機會參與國內商業衛星計畫，進而提供多元化的軍事應用服務，也不排除國際合作成為選項。未來如何將低軌道衛星系統納入國家安全及國防戰略規劃，進而提升指管、通信及監偵等能力，也是政府必須關注的重要議題。以下就發展方向與未來及趨勢，概要說明如后：

### 一、我國低軌道衛星發展

我國「國家太空中心」(NSPO，以下稱太空中心)自1992年成立以來，一直扮演與多國深入合作的關鍵，並參與遙測衛星、科學研究衛星和氣象衛星等項目的研發；而「工業技術研究院」(以下稱工研院)在通訊領域也擁有豐富的研發經驗，雙方資源整合後，有助朝向衛星通訊領域合作。2017年NSPO就執行「臺灣新興太空產業領航計畫-微衛星發展計畫」(又稱「立方衛星計畫」)，藉此研發出3顆軌道高度介於400至600公里之間的微型衛星(如表二)，透過培養新一代太空技術人才，並產出立方衛星商用產品，迄今雖已退役，但技術能量仍在；期待政府持續推展並逐步與國際接軌，進一步增加是類技術人

註25：KHARKIV REGION, "UkraineX:How Elon Musk's space satellites changed the war on the ground," Ukraine, June 8, 2022, <https://www.politico.eu/article/elon-musk-ukraine-starlink/>, Access date: Mar 16, 2024。

表二：我國立方衛星計畫衛星諸元及性能表

衛星名稱	 飛鼠衛星 (IdeasSat)	 堅果衛星 (NutSat)	 玉山衛星 (YuSat)
服役時間	2021年1月24日發射入軌，同年9月退役。	2022年12月發射入軌，2023年4月1日軌道高度降落至200公里以下自行燒毀。	2021年1月24日發射入軌，同年10月退役。
體積重量	3,400立方公分 4.4公斤	2,300立方公分 1.8公斤	1,700立方公分 1.6公斤
性能及任務	攜帶縮小版「電離層探測儀」(CIP)探測繞地軌道路徑之電離層特性，並研究衛星與地面無線通訊之干擾。	搭載廣播式「自動回報監視系統」(ADS-B)處理飛機無線電信號接收，以進行飛安導航、飛安救援與無人機管理等。	「船舶自動識別系統」(AIS)與「自動封包回報系統」(APRS)可接受載臺發射之訊息，對周邊範圍船舶、車輛進行動態追蹤與海上搜救。

資料來源：〈臺灣新興太空產業領航計畫-微衛星發展〉，國家太空中心，2023年4月1日，[https://www.tasa.org.tw/history\\_prog.php?c=23071001&ln=zh\\_TW](https://www.tasa.org.tw/history_prog.php?c=23071001&ln=zh_TW)，檢索日期：2024年3月2日。

才及科技能量。

## 二、低軌道衛星未來趨勢

我國相關產業現已與「SpaceX」的「星鏈(Starlink)」計畫建立了初步的合作關係，而「國家太空中心」與「工研院」也規劃將所積累的經驗、太空驗證測試方法，以及相關技術轉移給民間企業，協助國家在低軌衛星領域蓬勃發展，提升在太空通訊領域的國際競爭力。<sup>26</sup>有關發展趨勢概述如后：

(一) 衛星小型化、高通量、多波束，傳輸量不斷提升

目前「星鏈計畫」使用之衛星係屬「高通量衛星」(High Throughput Satellite, HTS)，其單一衛星訊號能覆蓋更多區域，且具備更大資料傳輸能力。此技術主要得益於多點束波技術的應用，並能將發射信號分成多個狹窄波束，且能夠獨立指向不同的地區，定向精確性佳，信號損耗少，除確保單一衛星能夠更高效的覆蓋更大區域外，亦讓傳輸容量和速度都大幅提升；<sup>27</sup>且造價低廉，能大幅降低進入太空產業的門檻。<sup>28</sup>

(二) 傳輸時間快，能配合更高性能的

註26：〈臺灣太空中心啟動低軌衛星發展計畫〉，DIGITIMES，2022年1月10日，[https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000627085\\_W6J17LCK7S0LCZ65DQ0QQ](https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000627085_W6J17LCK7S0LCZ65DQ0QQ)，檢索日期：2024年3月10日。

註27：〈低軌衛星是什麼？為何火紅？一篇看懂低軌衛星：臺灣這5個產品最有機會〉，國立中山大學南區促進產業發展研究中心，2022年11月21日，<https://www.stipc.org/tw/notice/507>，檢索日期：2024年3月10日。

註28：周康玉，〈臺灣之光！全球最先進氣象衛星「福衛七號」打造「太空溫度計2.0」〉，ETtoday新聞雲，2019年6月25日，<https://finance.ettoday.net/news/1474858>，檢索日期：2024年3月10日。

## 終端應用

低軌衛星與地表距離相對近，傳輸時間(傳輸時延)短，可確保通信即時性及通話品質，以手機語音通話為例，傳輸時延超過0.5秒，就可能導致通話品質下降；而低軌衛星傳輸時延功能，可有效控制在20毫秒或以下，未來可能隨著6G技術發展升級，使低軌衛星民間產業應用上更廣泛，且終端設備越多、越普及的情況下，更多助力國防科技結合，提升通信效率。<sup>29</sup>

### (三)無地形限制，解決網路覆蓋率問題

低軌道衛星在衝突環境下的應用更廣泛，尤其在陸、海、空三維空間武器裝備方面，都具有顯著優勢。更主要的優點就是不受嚴峻地形如山區、海域或極地等地的架設限制，加速實現更廣泛的通信覆蓋率，亦使得低軌道衛星在複雜的電磁環境下，仍具抗干擾和反劫持的能力。<sup>30</sup>

綜上所述，由於低軌道衛星在「全域機動」和「跨域協同」的作戰模式中，都能提供關鍵的支援，確保軍隊在動態多變的戰場環境下，能夠迅速、靈活地應對各種挑戰；因此，低軌道衛星技術的應用在現代戰爭中扮演至關重要的角色，並為軍

事作戰提供了前所未有的彈性和效能，同時也開拓未來更多發展的可能性。

## 伍、建置低軌道衛星對指管機制之作戰效益與建議

在軍事應用中，透過低軌道通訊衛星及地面站結合遙感衛星，不僅能夠實現全天候監控邊境地區或作戰目標，提升敵情判斷和預先防處的能力，同時也能夠應用於飛彈攻擊預警；透過多功能衛星的協同作業，實現更強大的監偵預警功能。另外，遙感衛星不僅可傳輸高精度的地面信息，還能有效提供飛彈威脅識別資訊，確保對目標進行實時告警、追蹤，進而提升對飛彈攔截等防禦能力。國軍若能整合衛星通訊、遙感和預警功能，將有助於建立更全面、靈敏且高效的軍事監測網絡，以應對複雜多變的臺海作戰環境。以下就建置效益、考量因素及功能強化等項，分析如后：

### 一、作戰效益

#### (一)反制超音速飛彈

一般超音速飛彈飛行速度均超過1馬赫以上(等同每小時1,225公里)的飛彈，而低軌衛星繞行地球的速度，<sup>31</sup>遠大於超

註29：〈低軌衛星是什麼？低軌衛星產業介紹！〉，VOCUS，2023年10月25日，<https://vocus.cc/article/653745b1fd89780001cb9b24>，檢索日期：2024年3月10日。

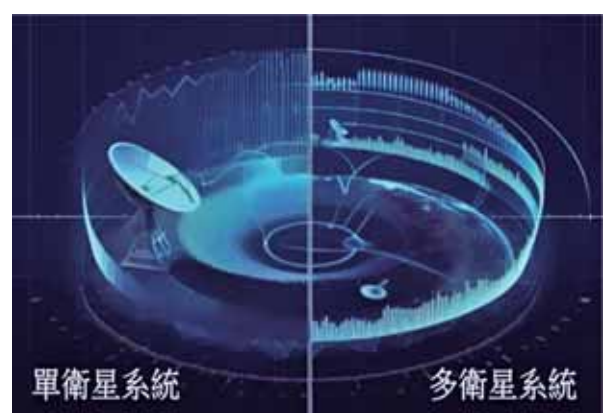
註30：Office of the Secretary of Defense, "Military and Security Developments Involving the People's Republic of China 2022," (Washington, D.C.: Department of Defense), November 29, 2022, <https://media.defense.gov/2022/Nov/29/2003122279/1/-1/1/2022-MILITARY-AND-SECURITY-DEVELOPMENTS-INVOLVING-THE-PEOPLES-REPUBLIC-OF-CHINA.PDF>, Access date: Mar 17, 2024。

註31：計算低軌衛星繞行地球的速度約每小時2萬7,000公里，最快每1.5小時繞行地球一周，等同3馬赫音速(約為每小時3,675公里)。

音速飛彈，且低軌道衛星具備高精度追蹤系統，可瞄準長距離快速移動物體，達到「遠程飛彈預警與攔截」；當建立低軌道衛星監偵運作系統後，不只能與友盟國家「共同作戰圖像及情資鏈傳」，亦可運用無人機、船遠端遙控取代固定(機動)雷達站(車)，大幅提升地面與防空之協同作戰能力(Cooperative Engagement Capability, CEC)，透過整合對空中目標追蹤與識別能力及精確目標定位，進而達成協同接戰(Coordinated Cooperative Engagements, CCE)目標，<sup>32</sup>鞏固臺灣本島整體防禦體系安全。

### (二)發展盟國作戰擊殺鏈

當低軌道衛星的覆蓋率足夠時，透過商用低軌道衛星轉為軍用，可以成為軍方通訊備援的關鍵手段，<sup>33</sup>且納入國軍通訊網絡後，特別是海軍的聯合情監偵系統，就能夠大幅提升覆蓋範圍，並在複雜戰爭環境中提升整體作戰能力；尤其在面對中共威脅明顯提升的情勢下，我國隨時需要應對可能的第一波導彈攻擊。屆時如何持續發揮情監偵、指管鏈路與反制打擊的能力，低軌道衛星將在其中扮演關鍵角色，亦有助形塑完成擊殺鏈之不對稱防衛作戰能力。若能進一步與盟友合作，將有助形成完整擊殺鏈，讓我國更融入區域安全體



圖五：單衛星(低涵蓋率)及多衛星(高涵蓋率)都卜勒效應比較圖

說明：圖左為單衛星系統在都卜勒效應下的速度變化會導致訊號通訊中斷或頻譜變寬；圖右為多衛星系統，能夠提供更好的容錯能力及覆蓋率，並減輕都卜勒效應對通訊的影響。

資料來源：作者自行繪圖。

系中，確保國家安全。

### (三)取代海底電纜光纖

一旦臺海局勢升溫的情境下，中共發動的第一波導彈攻擊，可能針對相關指揮通信設施和軍事基地；這樣的攻擊行動，將導致所有雷達、電力、通訊等關鍵基礎設施受到嚴重破壞。特別是在現代通信體系中，我國約九成五的數據和語音流量是透過海底光纜進行接收和發送。海纜也有可能成為敵國潛在攻擊的目標，屆時網路和手機訊號的全面中斷將是不可避免的，這使得我國在面對這樣的威脅時，需思考建立更為彈性和防禦性的通信基礎設施，以確保在可能的敵對衝突中，仍能保持通

註32：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1期，2022年2月1日，頁96-100。

註33：吳靖雯，〈地緣政治風險升高 臺灣發展低軌衛星備援〉，DIGITIMES，2023年5月23日，[https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000663974\\_B9P8G5N68HZQC03SJSGE6](https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000663974_B9P8G5N68HZQC03SJSGE6)，檢索日期：2024年3月10日。

信的可用性。<sup>34</sup>

## 二、考量因素

低軌衛星相對於地面基地臺，均是處在相對高速移動的狀態，尤其在高頻段和高速移動環境下，「都卜勒效應」(Doppler Effect)將十分明顯(如圖五)，且對地面通訊基頻接收機的解調和解碼效能產生嚴重的影響，同時亦增加地面通訊基頻接收機的時序及頻率同步之困難度。故建置自主低軌衛星系統，若未能克服這些技術瓶頸，可能導致通信通道的損耗或中斷，且因衛星運動高度低，也有遭導彈攻擊可能性；另衛星壽命及維保也是考量因素，分別說明如后：

### (一) 離空時間短，通信時間有限

低軌道通信衛星的獨特性體現在其與地面通訊站的短暫通訊窗口。由於低軌道衛星經過單一地面通訊站的時間非常有限，這導致地面通訊站只有在低軌道衛星飛越上方時，才有機會與之建立通訊聯繫；當低軌道衛星離開地面通訊站上空後，通訊連結即中斷，地面通訊站無法繼續與衛星通訊，也無法即時取得衛星所蒐集的資料。這使得衛星和地面通訊站之間的通訊必須在每一次通過上空的窗口內完成。這樣的通訊方式可能影響資料傳輸的即時性，也需要在有限的時間內，完成任何資料

的接收及操控命令的發送。

### (二) 通信覆蓋率高，才能完善運作

低軌衛星的高速移動可能導致通訊損失，因此在設計低軌通訊系統時，必須考慮增加低軌道衛星的數量，以提升整體覆蓋率，確保通信連接的穩定性。同時，為了符合低軌衛星的使用情境，需要同步修改基頻標準規範，這可能包括針對高度移動的衛星進行通訊協議的調整，以確保通信系統在低軌衛星的運作環境中能夠有效運行。這種標準的調整和更新，是確保低軌通訊系統性能和效率的重要步驟，<sup>35</sup>建置階段時必須納入考慮。

### (三) 可能遭受攻擊

低軌道商用衛星服務(如Starlink和Telesat)，通過部署大量近地軌道輕型衛星，構建了一個全球性的空中通訊網絡，以實現高速互聯網和通信服務。然在戰時情況下，這種商用衛星服務轉為軍事用途時，由於低軌道衛星高度相對較低，缺乏防禦機制；因此，容易成為敵方反衛星導彈或長程高能雷射武器的攻擊目標。加上商用衛星服務通常使用大量衛星在多條軌道上運行，一旦有衛星失效，可能引發同軌道上的連鎖效應。這也是美國僅將低軌道商用衛星服務，視為備用通信手段之主因。<sup>36</sup>

註34：〈水面下的臺海危機？海底電纜：中國灰色地帶戰略新章〉，公視新聞網-新聞實驗室，2023年7月30日，<https://news.pts.org.tw/projects/taiwan-submarine-cable/>，檢索日期：2024年3月10日。

註35：馬德明、徐文江，〈微衛星星系覆蓋設計〉，《科儀新知》(新竹市)，第23卷，第1期，2001年8月，頁60-74。

註36：何禮明，〈衛星通信運用於國軍網路之研究〉，《國防大學管理學院國防資訊研究所碩士論文》(臺北市)，2007年，<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewilsK3jjuyEaxXhha8BHRpkAPYQFn0ECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fndfdtd.ncl.edu.tw%2Fhandle%2F44524389998050139875&usg=AOvVaw0wvCW6GALU>

### (四) 衛星壽命不長

低軌道衛星通常攜帶較少的燃料，且高速運行使得一般壽命約為3至5年，此特性讓其整體維護成本的管理變得至關重要。為實現低軌道衛星的永續發展，必須著重於對衛星運行週期的精細計算，同時需要仔細評估衛星的發射頻率、功率分配等因素；<sup>37</sup>另一方面，突破低燃料攜行的科技瓶頸，也是衛星永續運作的關鍵。

### 三、現階段國軍通信強化重點

「俄烏戰爭」期間，「SpaceX公司」執行長馬斯克(Elon Musk)也曾表態將停止對烏克蘭提供「星鏈」衛星服務，這直接導致烏軍在對俄國的作戰中遭遇無可避免的通訊失聯，這已點出衛星在現代軍事行動中的重要性。<sup>38</sup>我國若能積極投注大量研發能量發展人造衛星，核心目標即為提供高通達率的衛星通信服務，確保在任何情境下，軍方能夠迅速、穩定地進行指揮控制和情報傳遞，以確保決策者在各種情境下，都能夠即刻應對複雜且具挑戰性的通信需求。因此，對建置之裝備有必要強化措施如后：

#### (一) 資訊安全措施

目前國軍使用的衛星通信系統(包括

國際海事衛星通信系統)，在傳遞包括語音、視訊、數據、傳真、廣播和多媒體情報等方面，確實能發揮關鍵作用；然而，運作需要透過網管中心(地面投落點)執行資訊轉發。<sup>39</sup>由於網管中心有能力掌握用戶傳遞的所有資訊，訊息經過保密器但仍存在被破譯的風險；<sup>40</sup>這種潛在風險需要高度警覺，特別是軍事通信中，資訊的機密性至關重要。隨著科技的發展，「去中心化」的衛星通信系統架構，能進一步保障軍事通信的安全性，也可能成為未來發展的方向，其中包括更先進的加密技術、更分散的管理結構，都能減少潛在的資訊洩漏風險。

#### (二) 裝備適用性問題

國軍在規劃性能提升作業時，即面臨選用的裝備雖然在其他國家的軍隊中已經服役，但衛星通信、大氣環境以及運用方式等因素，使得這些裝備未必能完全適合我國的特殊軍事需求；換言之，裝備的適用性是一個亟待解決的課題。故在執行裝備性能提升的同時，必須考慮突發狀況可能帶來的需求變更；也因此，必須根據我國的作戰環境，調整裝備的功能，以確保系統順利整合及運用，同時提高整體軍事

PznauCx4vkiY&opi=89978449，檢索日期：2024年3月10日。

註37：H. Tsuchida et al. "Efficient Power Control for Satellite-Borne Batteries Using Q-Learning in Low-Earth-Orbit Satellite Constellations," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 6, June, 2020, pp. 809-812。

註38：〈馬斯克憂戰事失控 斷星鏈阻烏軍襲俄黑海艦隊〉，中央通訊社，2023年9月9日，<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202309080085.aspx>，檢索日期：2024年3月10日。

註39：羅秋馨、黃貴笠、徐玉青，〈低軌衛星通訊網路管理與控制系統〉，《電腦與通訊》(新竹縣)，第187期，2021年9月，頁33-36。

註40：劉敦仁、羅濟群，〈衛星通信系統安全防護機制研究〉，國立交通大學資訊管理研究所，2006年1月9日，<https://grb-def.stpi.narl.org.tw/ite/download4?docId=2727157&responseCode=8018&grb05Id=1060092>，檢索日期：2024年3月10日。

作戰的效能。

### (三) 須具備抗干擾能力

我國因四面環海，若面對海空封鎖時關鍵物資運輸上，相對困難，更遑論相關的支援裝備；且民用衛星通訊系統往往未考量對抗干擾部分，故軍租商用衛星仍然有遭受突破、洩密或受干擾停擺等風險。<sup>41</sup>因此，發展自主衛星系統不僅能確保獨立、安全的通信管道且具備抗干擾能力，更能提升通信連結的穩定性，同時在戰時仍能保持有效的指揮與管制，對以防衛為主的我國而言，確實至關重要。

## 陸、結語

長期以來，國軍通信體系主要仰賴海底、地面光纖及空中微波系統，然而，這些系統都存在著各種潛在的風險，如海底光纖易遭受人為或地震等自然災害的破壞，而地面光纖和空中微波系統容易受到天氣影響，也可能導致通信中斷。故為使通信系統在戰時仍能充分運作，國軍有必要思考建立衛星通信為主的備援機制，以增加通信指管系統的韌性。證諸「俄烏戰爭」初期，烏國成功利用低軌道衛星確保必要的訊息傳遞，凸顯衛星通信確實為一種

穩定、靈活，且抗干擾性強的通信方式，<sup>42</sup>值得政府重視。

面對日益嚴峻，且多樣之敵情狀況下，國軍對指管通情監偵的依賴，不能僅靠傳統固定天線或機動載臺，畢竟一旦遭敵導彈攻擊或特工破壞，或專有電信網路癱瘓，恐將面臨指管癱瘓狀態。因此，穩定之自主衛星通信系統，將不受地形、地物或通信盲區的限制，並具有強大的資訊處理能力，提高通信靈活性和範圍，確保指管通情監偵覆蓋範圍，才能讓各部隊仍均能保持穩定的通信連接，以利任務達成。再者，發展低軌道通信衛星系統現已是全球未來趨勢，它不僅能協助海軍增加戰場透明度、延伸通信範圍，亦可迅速應對目前臺海及「第一島鏈」內中共對我之「海上灰色地帶」衝突；<sup>43</sup>期望國軍也能建置低軌道衛星指管能力，不僅提升指管效率，也增強通信備援手段，才能有助任務達成。



#### 作者簡介：

劉伯軒中校，海軍軍官學校95年班、國防大學海軍指揮參謀學院107年班。曾任海軍海豹軍艦輪機長、海虎軍艦作戰長、海軍司令部作戰官，現服務於海軍192艦隊。

註41：同註9，頁32-33。

註42：王浩宇、鄭勝為，〈海纜若遭敵軍切斷恐失對外聯繫 太空中心：需120顆低軌衛星保持通訊〉，TVBS新聞網，2023年7月3日，<https://tw.sports.yahoo.com/news/海纜若遭敵軍切斷恐失對外聯繫-太空中心-需120顆低軌衛星保持通訊-144822776.html>，檢索日期：2024年3月12日。

註43：同註7。

