

低軌道衛星軍事用途之研析

作者/施玟玟少校



國防大學理工學院正 94 年班，理工研究所 101 年班，陸軍通訓中心通資安全正規班 26 期，曾任排長、通信官、資訊官、教官，現任職於陸軍步兵訓練指揮部教官。

提要

- 一、現階段布局太空領域，爭奪太空戰場(Space Battlefield)已不再是軍事強國的專利，太空作戰重新成為國防安全的關鍵議題，市面上更是大量出現太空創新產業，¹特別是以通訊為主要應用之低軌道衛星已成為大國軍事對抗必爭的領域。
- 二、低軌道衛星不僅僅具備通訊面積涵蓋廣，製作生產門檻低的優點，若將此技術應用於我國，至少須要成功發射 120 顆低軌道衛星，²便能夠涵蓋臺灣 36000 平方公里的國土面積，方能有效防止通訊系統在戰時遭敵攻擊導致中斷的困境，所以低軌道衛星是提升戰時通訊韌性與延續戰場指管力的重要指標。
- 三、國軍《通資電要綱》已在民國 112 年年底將 C⁴ISR 修正為 C⁵ISR，新增 Cyber(網路)，主要是在因應國軍兵力結構調整、未來科技發展趨勢及聯合作戰任務需要，以建立「偵測系統能分享多元資訊、武器載台能執行聯合作戰、指管決策能跨越時空限制」的聯戰能力為目的，³指管系統旨在鏈結國軍主戰兵力輔以共同作戰圖像，共享即時情資，進而統一指揮與管制作為；⁴然支撐整體資、通系統鏈結的關鍵，便是建立低軌道衛星系統，我國應趕在中共尚未完整布局低軌道衛星的同時，積極自製低軌道衛星，爭取更多因應區域衝突的獲勝籌碼。

關鍵詞：低軌道衛星、通訊衛星、太空戰場

¹許智翔，〈太空兩用科技發展現況〉《2023 國防科技趨勢評估報告 一國防產業新動力》(臺北、財團法人國防安全研究院)，2024年1月3日，頁26，(檢索日期：2024年4月7日)。

²鍾元，〈台灣布建低軌道衛星 專家：抵禦中共軍事威脅〉《大紀元日訊》(臺北、大紀元日訊社)，2023年6月19日，(檢索日期：2024年4月6日)。

³林于今，〈國軍通資電要綱〉，(台北、國防部)，民國2023年11月27日，頁例言-1，(檢索日期：2024年7月17日)。

⁴施玟玟，〈戰場感知系統運用之研究〉《步兵季刊》第288期，(高雄、陸軍步兵訓練指揮部)，2023年5月24日，頁17，(檢索日期：2024年4月7日)。

壹、前言

因應科技高度發展，無人機、遠程火炮、精準制導彈藥在戰場頻繁使用，戰場管理要求機敏快捷兵力分散式部署，因此，各級指揮所位置勢必分散在更遼闊的空間，而對火力要求又要快速、精準、集中摧毀敵軍動態目標，各級指揮所對於戰場共同圖像的提供、傳輸、運用，就顯得迫切需要；因為我軍地面目標，在敵軍太空有北斗衛星（在軌 30 顆北斗 3 號、16 顆北斗 2 號仍在運作，並與俄羅斯格洛納斯 GLONASS 系統、美國全球定位 GPS 系統兩國簽訂訊號兼容與互操作性之協議可有效提高導航精度）⁵、低軌道衛星（建置中）、空中有預警機、無人偵察機、地面有雷達、網路有 5G，其質量雖與美國有一點差距，但數量與自主研發將可彌補這些不足，整體發展速度非常快，偵察我軍事目標具備很強大的效能與構成嚴重威脅，所以戰時我軍一旦被敵軍偵察到將會立刻被鎖定，被鎖定即容易被攻擊這是不爭的事實，地面部隊在廣闊的空間對戰場指揮速度要求標準，也相對大幅度提高，二維空間的指管系統已不能滿足防衛作戰需要，應擴充到三維空間通訊將可避開地形限制，無論軍民通訊品質、網路數位影像傳輸、精準打擊與反制敵軍攻擊，都具有強大自主性與功能性，所以低軌道衛星重要性將日益提高，而我台灣地區僅要 120 顆星鏈等級之低軌道衛星，就可以全面覆蓋，方能確保我戰場管理與戰力運用之基本功能，茲將低軌道衛星軍事用途概述如下。

貳、發展低軌道衛星重要性

民國 113 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分花蓮地區發生 7.2 級大地震，因花蓮地區幅員遼闊，許多居民住在山區與遊客在中橫地區遊覽，因地震時大部分基地台受損，數位部立即啟動中華電信與英國、印度共同投資開發的 OneWeb 低軌道衛星，地區居民對外聯絡與災情狀況，立即透過低軌道衛星讓救災隊與社會救助明瞭災情位置與嚴重性，這與 1999 年 921 大地震時，政府當即成立「地震救災中心」由副總統親自執行，第一時間政府知道災情一定很嚴重，但是災難位置與嚴重性卻無法立即掌握，而是陸續續經由直升機勘察災情或電視台深入災區報導，災區民眾初期幾乎是處於被隔離待救援的狀況，若當時也有低軌道衛星與相對性能之手機可以即時運用，相信整體災害損失會大幅度減緩。

2022 年 2 月 24 日俄羅斯入侵烏克蘭，在俄軍火力攻擊之下，烏克蘭交戰地區之通信系統大多損毀，幸美國政府伸出援手由美國 SpaceX 低軌道衛星擔綱支援，讓烏克蘭軍方或民間不至於處於封閉狀態，烏國總統亦宣示領導全國抗俄作戰決心，此一宣示，立即傳遍全世界，對烏克蘭友善國家紛紛譴責俄軍侵略，並支援烏克蘭軍事作戰，粉碎俄軍速戰速決佔領烏克蘭之軍事侵略，烏軍的持續戰力需要與獲得還好有美國 SpaceX 低軌道衛星的正常運作，才會有源源不絕的軍事援助，讓俄烏戰爭能僵持到現在，並且重創俄國經濟與在國際間軍事實力與影響力。

⁵ 王綉雯，〈中共北斗衛星產業鏈之分析〉《國家安全研究院雙周刊第 50 期》2022.03.25 日 dsr.org.tw（檢索時間 113.08.23）

反觀我中華民國所遭受到的軍事威脅與處境較烏克蘭更為艱困，敵軍對我發動戰爭第一擊就是摧毀我 C⁵ISR 系統，讓我政經軍與民間通信、網路空間都處於封閉孤立無援之狀態，讓台灣變成孤島，我們都知道商人無祖國在商言商，首重商業利益，我中華民國會選擇英國、印度共同投資開發的 OneWeb 低軌道衛星，作為合作的對象，而不選擇美國的 SpaceX 低軌道衛星，研判是考量馬斯克大量產業極端依賴中國大陸市場，在中美對抗時，馬斯克的政治傾向與對兩岸間政治觀點亦向中共政權嚴重傾斜，未來兩岸之間若爆發軍事衝突時，國家永續生存與發展，絕不能寄望在對敵人友善的商人手上，本篇研究是基於花蓮地震與俄烏戰爭衍生出對低軌道衛星軍事用途之構思，我國無論政府、軍方、產業界與民間都應重視低軌道衛星發展與運用的重要性，它比戰機、潛艦、戰車都還重要，因為戰爭時期政府對外發言、軍隊的 C⁵ISR 系統、所有民間軍事或非軍事活動絕大部分都要依賴低軌道衛星來維持，因此，我們要對低軌衛星現況與發展建立基本認知，未來在軍事上除了通信、網路、定位、導航、精準打擊之外，在其他方面還有許多附加價值是值得我們探索的，例如低軌道衛星之傳輸數據、影像的頻寬可有效運用雲端系統建構出軍事上之分散式指揮模式，達到兵力分散火力集中避免遭到敵人定位與精準打擊的目標。

而隨著新太空時代的到來，太空領域已是目前新興科技的核心要項之一，不僅各種源自太空探索而生的科技運用廣見於人類生活的各層面，未來各領域高度倚賴的網路通聯，也將與太空密不可分，甚至到 2050 年時，太空將在科技、市場與運用等層面有更深入的融合。⁶

太空科技原本就屬於高度軍、民兩用的範疇，其應用在國安與軍事層面皆扮演重要的角色。在烏俄戰爭中，「Starlink」星鏈系統在國際間大放異彩，讓全世界看見低軌道衛星靈活的通訊應用貫穿整個烏俄戰爭的角落。

「美國太空司令部」司令迪金森（James Dickinson）出席 2022 年 3 月 8 日參議院軍事委員會聽證會時表示，由低軌道衛星組成的「星系」或「擴散式架構」（proliferated architecture），在飽受俄國戰火蹂躪的烏克蘭境內，特別凸顯出軍事與保持通訊能力的關鍵性。⁷即使烏克蘭網路基礎設施被俄羅斯破壞，「星鏈」之「低軌道衛星群」依舊可透過終端接收天線（antennas）連接衛星網路，讓烏克蘭民眾與官員保持網路連線狀態，甚至可遠端操控無人機攻擊俄國軍隊。⁸

⁶James Black et. al., Future Uses of Space Out to 2050: Emerging Threats and Opportunities for the UK National Space Strategy, RAND, <https://www.rand.org>, (檢索日期：2024 年 3 月 20 日)。

⁷Sandra Erwin, U.S. General: Starlink in Ukraine Showing what Megaconstellations Can Do, Space News, <https://spacenews.com>, (檢索日期：2024 年 3 月 20 日)。

⁸Rachel Lerman and Cat Zakrzewski, Elon Musk's Starlink is Keeping Ukrainians Online when Traditional Internet Fails, The Washington Post, Mar 19, 2022, <https://www.washingtonpost.com/>, (檢索日期：2024 年 3 月 20 日)。

參、大氣層與衛星分類

一、大氣層：地球大氣層分層方式有幾種，普遍是根據溫度的垂直分布與變化來劃分，但各層之厚度與分界因時因地而異，一般可分為五層：⁹各層之高度及其應用概述如下。(如圖一)

(一)對流層：離地球表面最近，從海平面往上約12公里(層頂隨著季節變化與緯度而有不同)的高度，平均每增高1公里，降低攝氏6.5度，¹⁰其對流現象有兩個原因，一為地形不平坦導致空氣上升產生對流現象；二為此層的溫差大、且下熱上冷，所以對流不穩定，因為受重力影響，水氣集中在高度較低的底層，藉由水產生三態變化，故也是氣象發展多樣化的一層。

(二)平流層(又稱臭氧層)：位置在對流層之上，距離海平面上升大約50公里的高度，因為這一層的溫度上熱下冷，不易發生對流現象，¹¹所以飛機多在此層飛行，這一層也是各國空戰、國防監視及戰力較勁的一層，補充說明：戰鬥機最高的飛行高度約為20公里，而高空監控氣球卻可在24-37公里的高度飛行，所以2023年中國大陸高空氣球事件，美國首先派遣U-2偵察機進行偵察，再派遣F-22戰鬥機發射AIM-9X響尾蛇飛彈擊落此巨型氣球，藉由路透社的報導，高空氣球是由氦氣組成的巨型監視氣球，搭載太陽能面板提供無限動力，可以垂吊監視儀器，其中包括雷達、感知系統、通信系統及攝錄鏡頭等設備。¹²

(三)中氣層(又稱光化層)：平流層之上，距離海平面上升到大約85到100公里，是溫度最低的一層，約為-100°C。¹³該層主要藉由光化學作用產生氣體故又稱光化層，是人類了解最少的一層大氣。所謂「卡門線」(Karman line)就是位在這一層，國際航空聯合會認為大氣層和太空的界線為海拔100公里(約62英里)處，這個分界線即稱為卡門線。¹⁴所以，海拔100公里以下稱為「天空」，海拔100公里以上為「太空」，而2021年英、美流行的太空旅行，其高度僅海拔86公里，原則上還是不屬於太空旅行。

(四)增溫層(又稱電離層)：中氣層之上，也是國際太空站所在，這是最厚的一層，來自太陽的紫外線輻射可將空氣加熱到1,500°C以上，該層的溫度變化與太陽黑子活動有著密切關係。¹⁵

(五)外氣層(又稱散逸層)：增溫層之上，這個區域因為空氣粒子運動速度快、離地

⁹交通部中央氣象署，大氣概述全書下載，<https://www.cwa.gov.tw>，(檢索日期：2023年12月28日)。

¹⁰同註8，(檢索日期：2023年12月28日)。

¹¹同註8，(檢索日期：2023年12月28日)。

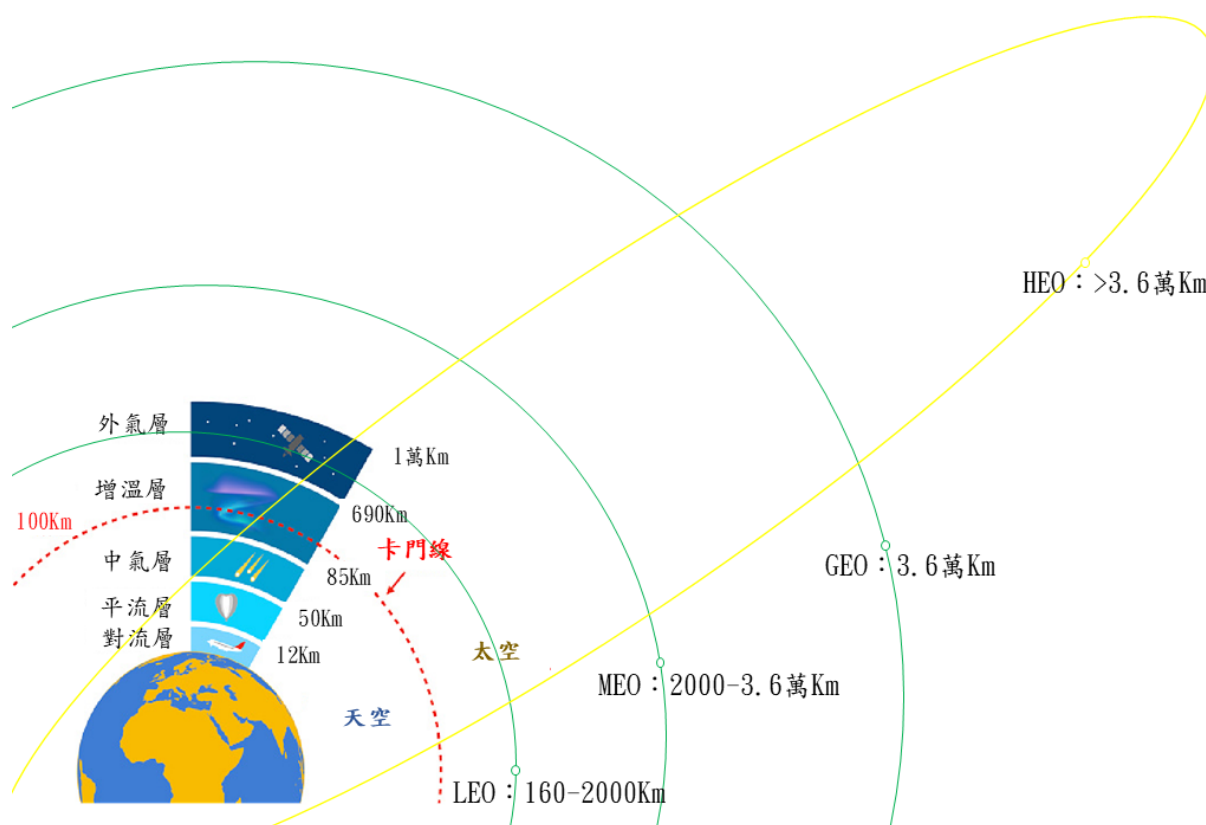
¹²BBC NEWS，中國大陸氣球被擊落墜海 北京稱美方「反應過度違反國際慣例」，<https://www.bbc.com>，(檢索日期：2023年12月28日)。

¹³同註8，(檢索日期：2023年12月28日)。

¹⁴Dr. S. Sanz Fernandez de Cordoba, Presentation of the Karman separation line, Used as the boundary separating Aeronautics and Astronautics, FAI World Air Games, June 21, 2004, <https://www.fai.org/astronautics/100km.asp>，(檢索日期：2024年6月10日)。

¹⁵同註8，(檢索日期：2023年12月28日)。

心遠，地球引力不足，所以大氣氣體容易散逸到太空之中。¹⁶



圖一：大氣層與衛星分類示意圖

資料來源：作者自行繪製

二、衛星種類

根據United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)的統計，在1957年發射第一顆人造衛星後的66年中，已經有15,946個物體被發射到太空中。截至2023年6月，尚有11,330顆人造衛星在地球上空環繞，實際上運作中的數量共6,718顆。這些衛星的分類如下：通訊衛星4,823顆(72%)、地球觀測衛星1,167顆(17%)、技術發展衛星414顆(6%)、導航定位衛星155顆(2%)以及其他用途之衛星159顆(2%)。¹⁷而這些衛星依據任務及需求的不同，被分配在不同高度與角度的地球軌道上工作，衛星依軌道高度分為以下4種。(如表一)

(一)高橢圓軌道(Highly Elliptical Orbit；HEO)衛星，高度約在3.6萬公里以上，該軌道為橢圓形，有一端離地球較為接近，因此，當衛星移動到近地點軌道位置時，其移動速度最快；而當衛星移動到最高點(即距離地球相對高的軌道位置)實則移動最慢，因此當衛星移動到最高點，可針對地球特定區域提供較長時間的傳輸、觀測等應用。¹⁸

¹⁶同註 8，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)。

¹⁷莊承穎，〈EO 衛星是如何環繞地球-淺談衛星軌道〉，《臺北、農村發展及水土保持署技術研究發展平台》，第 88 期，2023 年 10 月 5 日。

¹⁸呂佩如，〈台廠從地面設備挺進本體組件、低軌道衛星系搶組網引爆需求〉，《臺北、新通訊元件雜誌》，<https://2cm.com.tw>，2021 年 1 月 25 日，(檢索日期：2024 年 4 月 12 日)。

(二)地球同步軌道(Geostationary Orbit；GEO)衛星，距離地表3.6萬公里，繞行地球一圈的時間正好是24小時，與地球自轉速度一樣，因此，看來像是固定在地面同一位置，訊號涵蓋地球的面積最廣，只要3到4顆同步衛星，就能涵蓋整個地球(除南北極高緯度區域外)，主要用於衛星電視轉播、廣播，也因為距離遠導致訊號傳遞延遲時間較長，相對的頻寬窄可傳送的數據量低。

(三)中地球軌道(Medium-Earth Orbit；MEO)衛星，簡稱中軌道衛星，介於GEO衛星與LEO衛星之間，距離地表2,000至1.5萬公里，多用來提供GPS導航、定位。

(四)低地球軌道(Low-Earth Orbit；LEO)衛星，簡稱低軌道衛星，是太空飛行器/衛星距離地球地面高度最低的軌道，距離地表500至2,000公里，擁有通訊、遙測、導航、氣象、科學探索和國防六大應用，而低軌道衛星高達70%用來通訊，9%則是遙測，也就是利用影像做環境監控、氣象監測、洋流分析等。¹⁹低軌道衛星火箭載運成本低，發射每公斤成本不到1000美元，且製造成本低，以Space X發射系統來說，一台火箭至少裝載60顆以上衛星。故，低軌道衛星成為世界大國競相加入研發、製造作為通訊主軸之產業。

人 造 衛 星 分 類 表				
	HEO	GEO	MEO	LEO
高 度	3.6萬公里以上 (橢圓軌道)	3.6萬公里	2000-3.6萬公里	160-2000公里
用 途	技術開發、觀測	電視轉播、廣播	導航、定位	通訊、遙測、導 航、氣象、科學探 索、國防
成 本	最高	次之	再次之	50萬美元
使 用 年 限	最久	15年	7-12年	5年
覆蓋全球最 低 需 求		4顆	20顆	1584顆
重 量		1000公斤<	550公斤	<500公斤
繞行地球一 圈所需時間		24小時	12小時	90分鐘
延遲時間 ²⁰		250毫秒 ²¹ <	100毫秒<	<50毫秒

表一：人造衛星分類表
資料來源：作者自行綜整製作

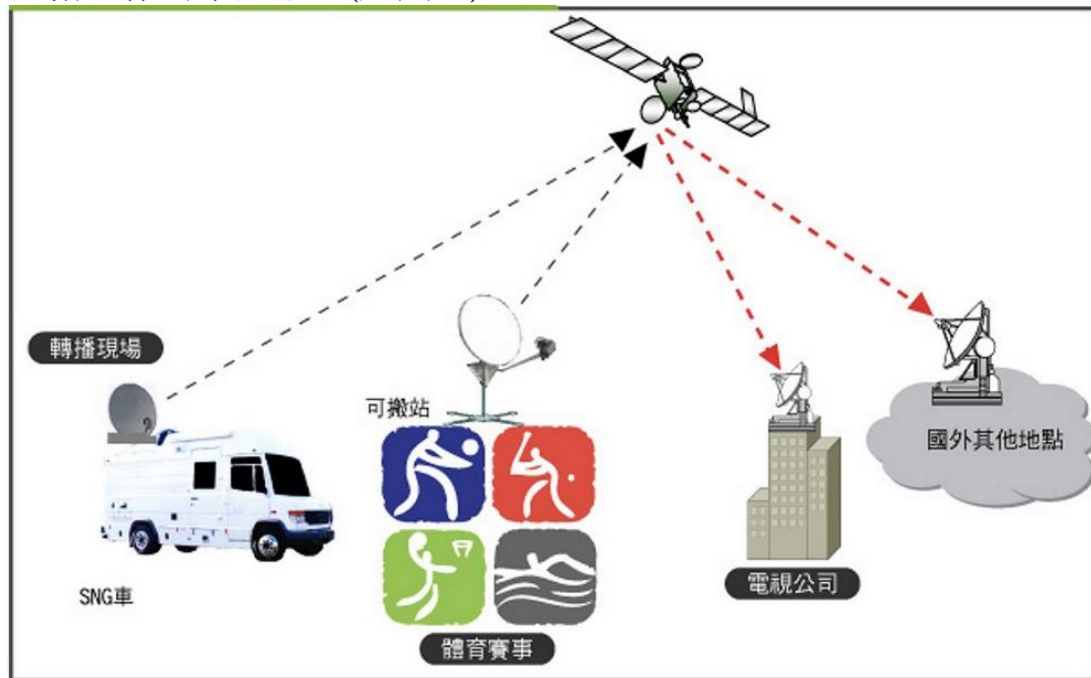
¹⁹徐建峰，〈國家太空隊動起來！低軌道衛星商機大爆發、各廠布局、概念股一次看〉《臺北、經濟日報》，
<https://www.money.udn.com>，(檢索日期：2024年1月30日)。

²⁰延遲時間：接收端接收到發送端發送訊息，所需的時間稱為延遲時間，延遲時間小於、等於光速，且因傳輸數據量的大小不同，延遲時間亦不相同。

²¹毫秒：千分之一秒，亦等於0.001秒。

三、衛星通信

現階段的衛星通信多以GEO衛星為主，依地域性可分為全球性(Global)、區域性(Regional)與國內(Domestic)衛星通信。²²GEO衛星系統應用於各類通信服務，如國際航海衛星通信(Inmarsat) 利用陸上通信網路建立船舶與陸地間的通信，可提高船舶航行通信效率及增進航海安全；而衛星行動通信舒拉雅(Thuraya) 提供多款終端設備，支援語音、簡訊、定位與Internet等衛星行動通信服務，對登山客、救難人員或跨國旅客等特別重要；²³其他還有電視的中繼衛星，不論是國內還是國外的新聞，甚至是離島等孤立區域，都可以透過衛星作為中繼站。(如圖二)



圖二：GEO衛星作為電視中繼站示意圖

資料來源: <https://ebook.ncc.gov.tw>，國家通訊傳播委員會，(檢索日期：112年12月27日)

肆、低軌道衛星通訊應用

低軌道衛星由於距離地球近，飛行速度快，平均繞行地球一圈時間約 90 分鐘，經過單一地面接收站上空時間非常短，使得地面接收站可與低軌道衛星通訊的時間相當短，當低軌道衛星飛離地面接收站上空後，便失去與低軌道衛星的聯絡，直到下次再飛回地面接收站上空，才可取得衛星所蒐集的資料或是發送操控命令給低軌道衛星，無法即時操控衛星。若要透過地面接收站進行即時衛星操控，就需要在全球各地建置多個地面接收站，除了有建置成本問題，是否有可設置地面接收站的地點也是實際面臨的問題。²⁴為解決這個問題，以下將探討低軌道衛星的通訊方式。

²²黃進芳，〈衛星通信系統實務〉，《臺北、國立台灣科技大學電子工程系射頻無線通訊實驗室》，98年8月25日，(檢索日期：2024年1月30日)。

²³王中和、鄒曜駿、洪三育，〈快速布建提升數位韌性 淺談衛星通信服務發展現況〉，《臺北、NCC NEWS》，第 17 卷第 3 期，112 年 9 月，(檢索日期：2024 年 1 月 30 日)。

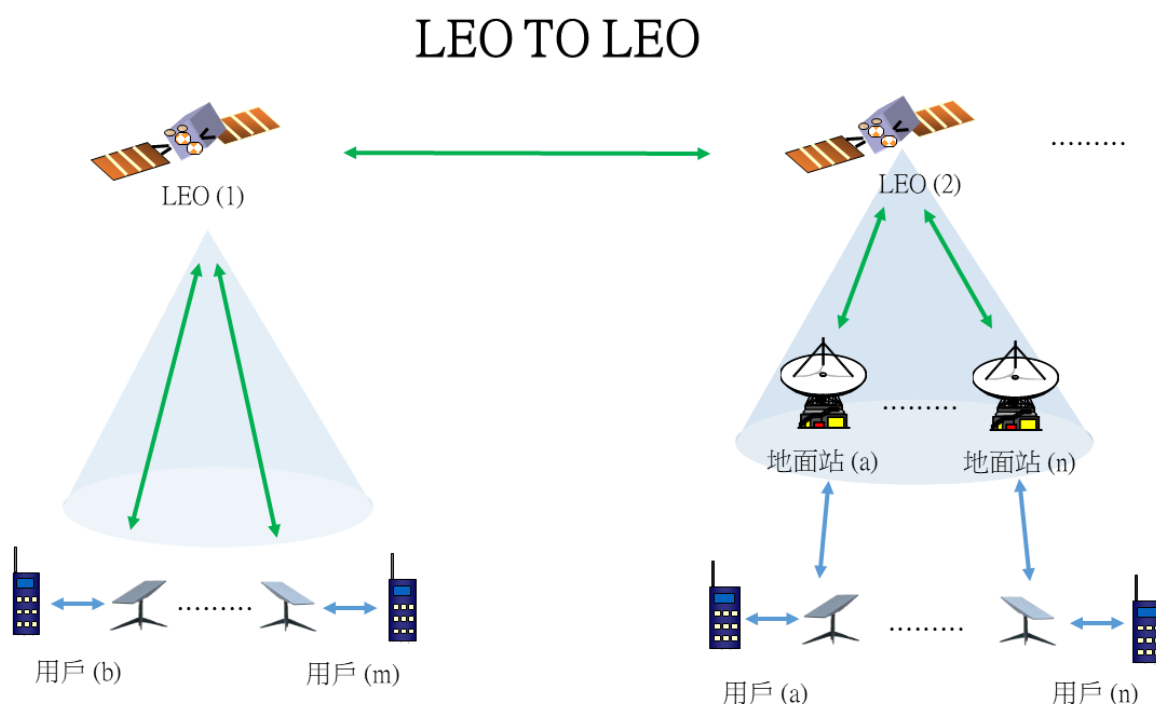
²⁴O. Kodheli et al., <Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges>, 《IEEE Communications Surveys & Tutorials》, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, 2021。

一、低軌道衛星通訊方式

(一) LEO TO LEO

低軌道衛星(LEO)與低軌道衛星(LEO)間通訊，指的是當低軌道衛星涵蓋範圍下無地面接收站可連接網際網路，便可利用低軌道衛星與低軌道衛星間通訊串接組網，²⁵將用戶網路封包資料轉接至有地面接收站存在之低軌道衛星(如圖三)，例如SpaceX公司的「星鏈」；LEO(1)衛星涵蓋範圍內無地面接收站，所以，用戶(b)和用戶(m)無網路使用。因此，LEO(1)可連接有地面接收站的LEO(2)，將地面站(a)和地面站(n)的訊號藉由LEO(2)傳給LEO(1)所涵蓋的用戶(b)和用戶(m)，這樣的方法可以讓很多沒有地面接收站的用戶端都有網路可以使用。

「星鏈」主要都是透過同一個低軌道衛星覆蓋範圍下的地面接收站連接網際網路，而「星鏈」為了擴大衛星網路服務範圍，提供南北極等不易架設地面接收站之地方也能存取衛星網路服務，已開始嘗試低軌道衛星間通訊實驗，透過在低軌道衛星上2個方向，分別設置各1組雷射光通訊裝置，與其衛星群進行低軌道衛星間通訊串接，²⁶建立衛星的星群網路。



圖三：LEO TO LEO示意圖

資料來源:作者自行繪製

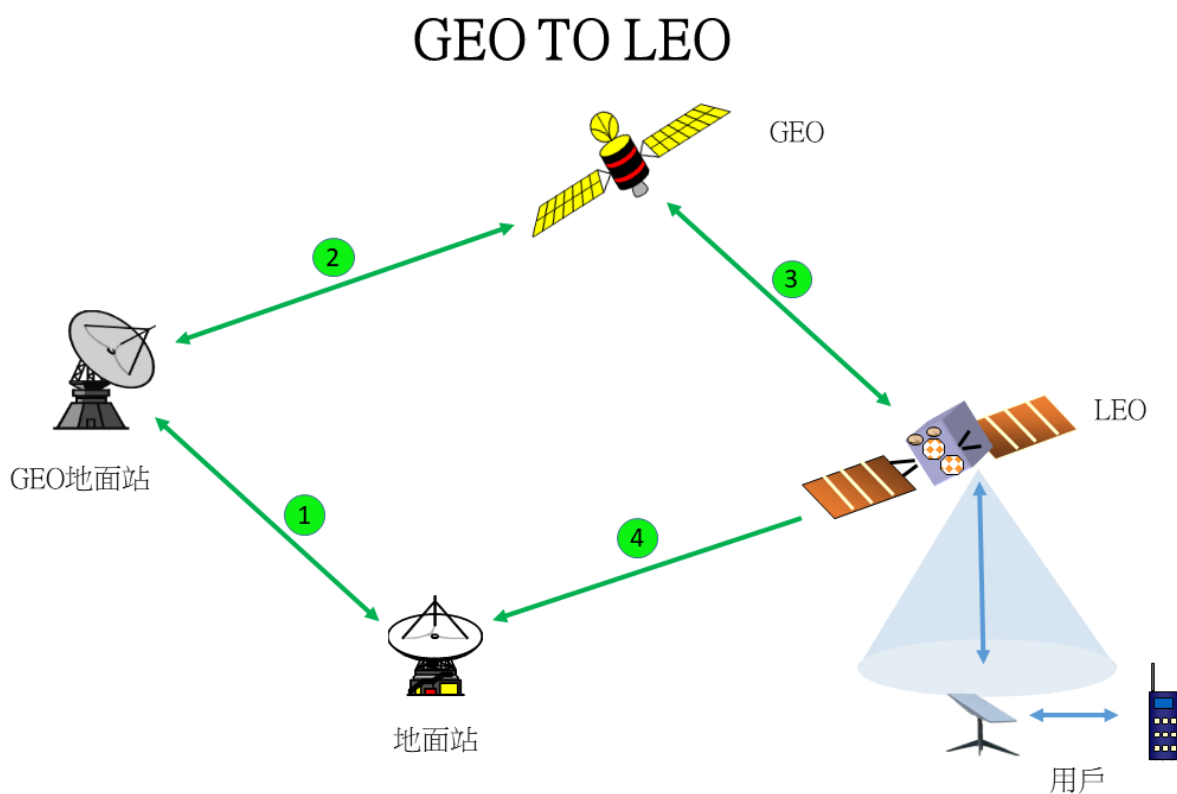
²⁵Inigo del Portillo, Bruce G. Cameron, Edward F. Crawley, <A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband>, 《Acta Astronautica》, vol. 159, pp. 123-135, June 2019。

²⁶A. U. Chaudhry and H. Yanikomeroglu, <Free Space Optics for Next-Generation Satellite Networks>, 《IEEE Consumer Electronics Magazine》, Oct. 2020。

(二)GEO TO LEO

低軌道衛星(LEO)與地球同步軌道衛星(GEO)間通訊，主要可提供地面人員即使衛星不在可通訊地面通訊站上空時，可即時操控衛星，執行衛星任務，蒐集任務資料，隨時掌握衛星狀態。對於低軌道衛星數量低，無法自組衛星星群的業者，可透過地球同步軌道衛星(GEO)中繼方式，即時與低軌道衛星進行通訊。²⁷

低軌道衛星具備 2 種通訊路徑，第 1 種通訊路徑為直接對地通訊，提供低軌道衛星(LEO)覆蓋範圍內用戶終端網路傳輸服務，讓偏遠地區地面節點感測器蒐集所需資料；第 2 種通訊路徑為透過地球同步軌道衛星(GEO)作為中繼點，與地面操控站進行通訊。透過此方法，可讓低軌道通訊用衛星增加即時管理能力，同時提供備援通訊應用的可能。²⁸（如圖四）



圖四：GEO TO LEO示意圖

資料來源:作者自行繪製

二、低軌道衛星四大系統

現階段全球佈署在低軌道之通訊衛星系統為目前全球覆蓋率最高的馬斯克 SpaceX、英國及印度合作的 OneWeb、中國大陸的 GW 國網系統及尚在籌畫生產的加拿大 Telesat 和美國 Amazon 的 Project Kuiper。SpaceX 在馬斯克的帶領下，具有自行量產衛星及火箭的能力，且因製作成本較低，故可因應使用者的需求提供廣泛及客製化功能；

²⁷ 林坤毅，〈衛星間通訊技術與應用介紹〉，《新竹、電腦與通訊》<https://jictcms.itri.org.tw/>，（檢索日期：2024 年 4 月 12 日）。

²⁸ 同註 26，（檢索日期：2024 年 4 月 12 日）。

其他系統礙於自製衛星能力尚未成熟，加上發射衛星需要有可靠的火箭來推進，種種成本的加成導致佈署的腳步緩慢，被 SpaceX 遠遠拋在腦後。

SpaceX 區分「Starlink 星鏈」與「Starshield 星盾」兩大計畫，Starlink 主要目的為提供偏遠地區網路服務，Starshield 則專供美國政府、國防和情報部門使用，Starshield 建構在 Starlink 之上，利用 Starlink 衛星技術提供美國偵察、戰場資訊感知與檔案加密傳輸服務，是一個非常完整且強大的衛星系統。麻省理工學院模擬四大(除中國大陸 GW 系統)低軌道衛星系統完成佈署後，全球各地可能的覆蓋率示意圖，(如圖五)²⁹我們可以清楚看到 Space X 屬於全部低軌道衛星，覆蓋率較密集，惟地球兩極末端的數量較少；OneWeb 採不同高度的軌道佈署，其兼容性較高，覆蓋面積較大，惟因衛星高度與傳輸率呈反比，故其傳輸率較慢；Telesat 傾向與 OneWeb 衛星佈署方式雷同，惟其計畫發射的衛星數量遠少於 OneWeb，可推斷其提供服務的品質相對較差；Amazon 起步較晚，申請的衛星數量多在人口密集區，對於高山或是偏遠地區較不友善。我國因 Starlink 簽約內容須同意 SpaceX 公司擁有衛星的管理與使用權，使條件與我國需求不符，故中華電信已經與英國 OneWeb 完成簽約，也積極與加拿大 Telesat 洽談合作，預計 2027 年台灣也可以擁有自主的低軌道衛星通訊系統。³⁰此外，0403 花蓮大地震，數位發展部第一次使用 OneWeb 建立通訊網路，這也是國內首次於災難任務中啟用低軌道衛星通訊系統建立通訊網路，技術人員於花蓮架設衛星設備，將衛星訊號轉為 Wi-Fi 網路，提供救災人員即時以影像或語音回傳災區應變中心。³¹並提供山區偏遠地區暫時的通訊系統，協助災民與家人聯繫，解除心中煩憂。

中國大陸觀察到烏克蘭是使用馬斯克 SpaceX 衛星系統成功打擊並入侵俄羅斯軍隊，進而打造中國版的星鏈--千帆星座。2024 年 8 月 6 日中國大陸成功將「千帆星座」18 顆商業衛星發射升空，此低軌道衛星座計畫由上海垣信衛星科技有限公司承作，計畫分為三代衛星系統，GEN1：於 2025 年底前完成 648 顆區域網路覆蓋，GEN2：2027 年完成 648 顆全球網路覆蓋，GEN3：2030 年底年將完成 15000 顆低軌道衛星發射，並提供全球用戶使用。預計未來還要發射 38000 顆衛星布局全球。³²自中國大陸 2020 年以「GW(國網)」名義向 ITU 申請寬頻星座計畫起，規劃三個「萬星星座」計畫，分為「GW 星座」、「千帆星座」及「Honghu-3」，³³可見中國大陸在目前經濟不佳的情況下仍堅定與美國對抗的決心。

²⁹Emma stein，〈麻省理工學院團隊模型運算，四大低軌通訊衛星計畫流通量比一比〉，《臺北、科技新報》，<https://technews.tw/2021/06/25/starlink-spacex-telesat-oneweb-satellite-constellation-network-throughput>，(檢索日期：2024 年 4 月 12 日)。

³⁰黃晶琳，〈台灣低軌衛星通訊時代來了 中華電與全球二哥 OneWeb 簽代理合約〉，《臺北、經濟日報》，<https://www.money.udn.com/money/story>，(檢索日期：2024 年 1 月 30 日)。

³¹錢玉紘，〈花蓮強震 台灣第一次 OneWeb 低軌道衛星前進太魯閣災區，要怎麼救災？〉，《臺北、25 數位時代》，2024 年 4 月 8 日，<https://www.bnext.com.tw/article/78791/hualien-earthquake-oneweb>，(檢索日期：2024 年 5 月 1 日)。

³²楊昇儒，〈中國大陸版「星鏈」首批衛星發射升空，試圖追上美國〉，《北京、中央社》，2024 年 8 月 7 日，<https://cna.com.tw>，(檢索日期：2024 年 8 月 14 日)。

³³連書華，〈中共發 18 衛星挑戰星鏈 專家：存技術障礙〉，《臺北、大紀元日報社》，2024 年 8 月 13 日，<https://epochtimes.com.tw>，

作者依據現階段全球低軌道衛星佈署情形製作下表，(如表二)由表二我們可以看見目前最為成熟的低軌道技術是馬斯克的 SpaceX 系統，英、印 OneWeb 系統與中國大陸的 GW 系統正急起直追中，若以 ITU 先申請先贏原則來說，首次發射後兩年內須發射 10%數量的衛星，5 年內須發射 50%，整個星座衛星需在 7 年內完成發射。³⁴以中國大陸為例，今年是千帆星座第一次發射，表示剩下的 15000 多顆衛星將在 7 年內發射至太空中運作，這無疑是提升對岸通訊能力，擴展監視、偵察視野的一大良機，我們應該在佈署自身的低軌道衛星的同時也要發展反制手段。

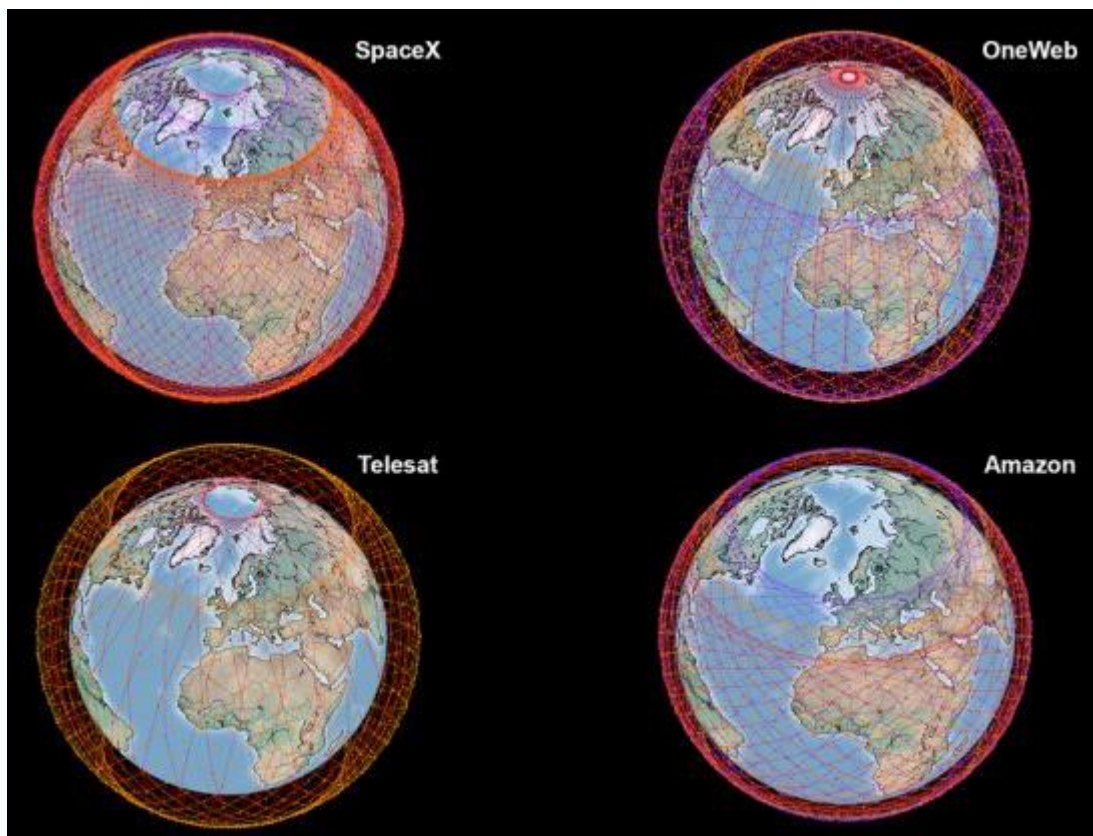
全 球 低 軌 道 衛 星 佈 署 比 較 表						
		SpaceX	OneWeb	GW	Telesat	Project Kuiper
主要開發國家		美國	英國、印度	中國大陸	加拿大	美國
成立時間		2002	2012	2020	1969	
發射衛星量		6700	618	18	117	2
預計佈署量 ³⁵		41927	48560	38000	1681	3236
延遲時間		20-40 毫秒	70 毫秒	尚未啟用	尚未啟用	尚未啟用
傳輸率	上傳	5-10Mbit/s	20Mbit/s			
	下載	50-200Mbit/s	150 Mbit/s			
優點		便宜、快速	兼容性			
缺點		維護成本高	速度慢			

表二：全球四大低軌道衛星佈署比較表
資料來源: 作者自行綜整製作

(檢索日期：2024 年 8 月 14 日)。

³⁴李中旺，〈創辦人談衛星 5/跑馬圈地何時了 往事知多少〉，《臺北、經濟日報》，2024 年 3 月 1 日，<https://money.udn.com.tw>，(檢索日期：2024 年 8 月 15 日)。

³⁵同註 17，(檢索日期：2024 年 4 月 12 日)。



圖五：麻省理工學院模擬四大低軌道衛星佈署完成後全球覆蓋率示意圖

資料來源: <https://technews.tw/2021/06/25/starlink-spacex-telesat-oneweb-satellite-constellation-network-throughput/> 科技新報，³⁶ (檢索日期：112 年 12 月 27 日)

伍、我國低軌道衛星軍事應用與限制

一、低軌道衛星軍事應用

低軌道衛星軍事應用最主要在兩個部分，目標定位與通信構聯，³⁷衛星可執行情報、監視及偵察等軍事任務。以步兵為例，狙擊部隊結合無人機偵察目標，可精準摧毀敵人有效達成任務；城鎮作戰更少不了無人機的偵察，台灣城鎮大樓林立，難以確認目標所在位置，雖有多重遮蔽物可掩護戰術行動作為，但要準確打擊敵人就必須仰賴無人機的戰場資訊回饋；而戰場資訊的回饋需仰賴低軌道衛星，因此，低軌道衛星在軍事領域上的應用就顯得格外重要，以下將針對現階段可加強本軍協同作戰能力，提高通信品質為方向進行探討。

(一)靈活中繼線路、有效隔絕干擾：台灣建築物密集度高、電信業者基地台林立，通信中繼點為通信構聯的關鍵，但往往部隊選定的中繼點容易遷就建築物密集區，或是容易受民間基地台干擾，導致中繼點選擇不多；若能以低軌道衛星作為中繼，各式交通工具(船、飛機、戰車、甲車、偵搜車及運輸車等)都可以搭載衛星接收器作為終端台，一來可以減少通信中繼台的架設數量，並不受地形、區域限制而靈活通信線路，二來可避免民間電信訊號干擾，影響通信品質。

³⁶同註 29，(檢索日期：2024 年 4 月 12 日)。

³⁷舒孝煌，〈第六章 制電磁權〉，《臺北、2020 國防科技趨勢評估報告》，2020 年，頁 89。

(二)提高傳輸數據、即時影像回饋：國防部因應科技化發展，近年來推動各項新式系統以強化協同作戰能力，以陸軍為例，新型專案系統屬二維地面訊號傳輸，傳輸容量與品質易受地形影響；若以低軌道衛星作為三維立體空間傳輸方式，將可大大提升傳輸品質及傳輸容量，再者，傳輸容量一旦變大，即時影像回傳效果自然更好，指揮中心所接收的各項數據將更精確。

(三)延伸通信距離、綿密通信效能：陸軍各式通信系統有效通信距離為50公里(含)以下，加上地對空通信方式多為視距通信；若能以低軌道衛星作為通信媒介，串聯陸、海、空三軍各式通信系統，則三軍協同作戰能力將可從旅級層級全面向下延伸至營級，甚至是連級通信；此外，衛星電話也是國軍應善加利用的構連手段，低軌道衛星發展的初心就是6G通訊，若國軍能與產學合作，軍、民、學共同發展直接通聯的衛星電話，對於國軍延伸通信距離的想法將注入一劑有效的強心針。

(四)精準戰場定位、提升攻擊效能：國軍近期著重無人機發展，然，無人機的訊號傳遞、戰場指揮與即時定位是國軍目前的一大考驗，若能將低軌道衛星訊號與無人機的感測系統連接，在無人機的應用上將可有效提高戰場視野與目標的精準打擊。

(五)擴張戰場視野、制於人而不受制於人：衛星的基本功能就是觀測，雖然低軌道衛星的觀測面積不如中、高軌道衛星來的廣，但對於我國沿海鄰近區域防守範圍，甚至於北至日本，南抵東南亞沿岸，東與中國大陸相鄰各省的軍事部屬面積都可以利用低軌道衛星作為觀測與監視的重點。

二、低軌道衛星限制

(一)資源配置有限

低軌道衛星因衛星頻譜與軌道配置資源有限，故各大公司爭相至國際通信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)實施申請建置規劃，我國雖與OneWeb公司簽訂代理合約，但礙於申請計畫有先後順序，若不能提早規劃佈局，導致關鍵軌道遭中國大陸取得先機，將不利於我國低軌道衛星發展；另外，我國非ITU會員國，為爭取衛星通訊的營運機會，必須透過ITU與他國進行頻率協調交涉並完成使用登記，始可擁有衛星通訊服務。³⁸

(二)建置成本過高

台灣受制於低軌道衛星製造技術不純熟及無自主發射衛星的能力，因此，建置低軌道衛星的成本將大大提高，目前除與國外大廠簽約之外，尚待需要加速自主佈署衛星與火箭發射的能力；另外，地面接收站、接收天線、管控軟體等相關軟、硬體組件的經費也是一大考量。

(三)資通安全薄弱

³⁸吳采薇，〈低軌通訊衛星發展及應用之法治觀察〉，《新竹、資訊工業策進會科技法律研究所》，2022年4月25日，<https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=55&tp=1&d=8817>，(檢索日期：2024年5月7日)。

國際間僅有美國針對軍事應用之衛星通訊訂定網路安全要求，我國目前對衛星的資通安全無相關強制性的規範，³⁹換句話說，任何人只要擁有相對應的衛星訊號接收器及管控軟體，即可恣意攔截、下載、竊取傳輸內容，將對我軍事安全構成嚴重威脅。

(四) 抗干擾能力待評估

有心人士可能利用壓制和欺騙式射頻干擾，進而破壞為國家關鍵基礎設施提供定位、導航和定時資訊的重要同步系統，導致飛行器、船舶、車輛、通信機定位失效、航道偏離，甚至引導至錯誤的地點。⁴⁰在世界各國競相布局低軌道衛星的同時，俄羅斯偏偏反其道而行，於2024年5月16日發射一顆低軌道衛星加入俄羅斯偵察衛星群(COSMOS 2576)裡，美國情報顯示：俄羅斯偵察衛星群為太空反制武器，⁴¹極有可能攻擊各國低軌道衛星。

陸、結語

低軌道衛星的通訊應用範疇主在傳統衛星電話窄頻數據傳輸服務、衛星物聯網服務及衛星寬頻連網服務，這些服務取決於低軌道衛星不受地形限制的優點，能有效解決網路、通信覆蓋率的問題，因此，低軌道衛星通訊應用在軍、公、民營通訊系統開設，可發揮有效的結合，而這個結合能夠全面解決現階段軍事通訊系統無法與民間通訊系統相互構聯的困擾。

透過建置大量的低軌道通訊衛星，搭載感知系統，能夠更嚴密軍事太空能力。無論是利用低軌道衛星的觀測能力全天候監控國境全域或作戰目標；提升敵情判斷和預先防處，抑或運用於飛彈攻擊預警、定位，藉由多種功能類型的衛星互補，在軌處理、識別飛彈威脅，並對目標進行觀測、示警、追蹤，亦能提升飛彈攔截等防禦能力。

低軌道衛星應用於戰爭衝突下的陸、海、空三維空間武器裝備，可不受一般通訊系統在山地、海洋、極地等嚴峻地形與氣候的限制。在複雜電磁環境下亦能提升抗干擾、反劫持能力，有利於確保目標搜尋和圖像偵察、監測任務遂行。無論是「全域機動」或是「跨域協同」之定位導航和資訊通聯能力，皆和低軌道衛星軍事應用關係密切。⁴²

今年7月18日中國大陸與寮國聯合軍演，使用多型無人化裝備融入戰場，空中突擊隊利用偵察無人機進行偵察和精準狙殺；地面部隊利用機器狗實施火力支援，掩護特戰部隊實施救援行動；無人機反制設備對敵方無人機進行驅逐和迫降，相關演習

³⁹謝宜庭，〈美國白宮頒布有關於太空系統的網路安全原則《太空政策地5號指令》〉，《新竹、資訊工業策進會科技法律研究所》，2021年4月，<https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=645&tp=1&d=8629>，(檢索日期2024年5月7日)。

⁴⁰張人偉，〈低軌衛星帶來諸多應用創新 新太空時代正式道來〉，《臺北、MIC專欄》，2023年4月19日，https://yawan-startup.tw/News_Card_Content.aspx?n=1494&s=5127，(檢索日期：2024年5月7日)。

⁴¹鄭詩韻、徐睿承，〈俄發射低軌衛星，美評估為偵察和攻擊性太空武器〉，《北京、中央社》，2024年5月22日，<https://cna.com.tw>，(檢索日期：2024年8月14日)。

⁴²史書華、林綺薇，〈台灣如何應對低軌道衛星中美角力戰？〉，《臺北、天下雜誌》，<http://www.cw.com.tw>，(檢索日期：2024年4月10日)。

課目引發國際關注。然而 2023 年 9 月起，中國大陸派遣擁有超音速及隱身性佳的「無偵-8(WZ-8)」無人機偵察台海周邊，無偵-8 因使用火箭發動機推進，自備燃料和氧化劑，不需要空氣助燃，故其飛行高度可高達 30000 公尺以上，目前世界各國無任何防空武器射程足以威脅到無偵-8，這也代表我國將在中國大陸的眼皮子下無所遁形。⁴³

我國於 2022 年 8 月 13 日成立亞洲無人機 AI 創新應用研發中心，並於 2023 年接連發射自製低軌道衛星，⁴⁴賴總統更於今年就職演說中宣示「要讓台灣成為無人機民主供應鏈的亞洲中心，也要發展下一個世代通訊的中低軌道衛星，進軍全球太空產業。」⁴⁵然而，我們不僅僅要發展自主低軌道衛星系統，更要與世界大國合作。

面對中共可能採取的軍事武力行動，各種新興安全威脅和風險已成為維護國家安全的主要課題。包括低軌道衛星系統在內，不僅僅是強固我國資通建設和產業鏈的新選擇，亦應前瞻安全防護思維和作法，公私協力發揮最高效益，降低危安風險。⁴⁶期待國軍能夠拋開國際束縛，有道是「以迂為直，以患為利」，我國應利用產、經、學、研等方式發展自主低軌道衛星，並擁有自行發射火箭的場域，提供單兵直接構聯衛星的智慧型裝置，讓國軍在未來的軍事發展有「知天知地，勝乃可全」之預期目標，在未來以無人感知系統的作戰模式，佔得一大先機。

⁴³ 記者江昱蓁、蔡佩容，〈無人機戰爭，無人武器的未來戰場-台海衝突風險升溫美中台建構無人機戰力〉《聯合報》（台北市，聯合報社）民國 113 年 8 月 12 日 A9 版全球瞭望。

⁴⁴ 同註 18，（檢索日期：2024 年 1 月 30 日）。

⁴⁵ 賴清德、蕭美琴，〈第 16 任總統暨副總統就職專輯〉，《臺北、總統府》，2024 年 5 月 20 日，<https://president.gov.tw>，（檢索日期：2024 年 8 月 14 日）。

⁴⁶ 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〉，《臺北、戰略安全研析》，第 175 期，2022 年 8 月 1 日，頁 67。

參考文獻

- 一、許智翔，〈太空兩用科技發展現況〉《2023 國防科技趨勢評估報告 —國防產業新動力》(臺北、財團法人國防安全研究院)，2024年1月3日。
- 二、鍾元，〈台灣布建低軌道衛星 專家：抵禦中共軍事威脅〉《大紀元日訊》(臺北、大紀元日訊社)，2023年6月19日。
- 三、林于令，〈國軍通資電要綱〉，(台北、國防部)，民國112年11月27日，頁例言-1。
- 四、施玟仔，〈軍事活動無所遁形-軍用偵察衛星效能之研析〉，《步兵季刊》，第265期，106年8月1日。
- 五、James Black et. al., Future Uses of Space Out to 2050: Emerging Threats and Opportunities for the UK National Space Strategy, RAND, <https://www.rand.org>，(檢索日期：113年3月20日)。
- 六、Sandra Erwin, U.S. General: Starlink in Ukraine Showing what Megaconstellations Can Do, Space News, <https://spacenews.com>，(檢索日期：113年3月20日)。
- 七、Rachel Lerman and Cat Zakrzewski, Elon Musk' s Starlink is Keeping Ukrainians Online when Traditional Internet Fails, The Washington Post, Mar 19, 2022, <https://www.washingtonpost.com/>，(檢索日期：2024年3月20日)。
- 八、交通部中央氣象署，大氣概述全書下載，<https://www.cwa.gov.tw>，(檢索日期：112年12月28日)。
- 九、BBC NEWS，中國大陸氣球被擊落墜海 北京稱美方「反應過度違反國際慣例」，<https://www.bbc.com>，(檢索日期：2023年12月28日)。
- 十、Dr. S. Sanz Fernandez de Cordoba, Presentation of the Karman separation line, Used as the boundary separating Aeronautics and Astronautics, FAI World Air Games, June 21, 2004, <https://www.fai.org/astronanaautics/100km.asp>，(檢索日期：2024年6月10日)。
- 十一、莊承穎，〈EO衛星是如何環繞地球-淺談衛星軌道〉，《臺北、農村發展及水土保持署技術研究發展平台》，第88期，2023年10月5日。
- 十二、呂佩如，〈台廠從地面設備挺進本體組件、低軌道衛星系搶組網引爆需求〉《臺北、新通訊元件雜誌》，<https://2cm.com.tw>，2021年1月25日，(檢索日期：2024年4月12日)。
- 十三、徐建峰，〈國家太空隊動起來！低軌道衛星商機大爆發、各廠布局、概念股一次看〉《臺北、經濟日報》，<https://www.money.udn.com>，(檢索日期：2024年1月30日)。
- 十四、黃進芳，〈衛星通信系統實務〉，國立台灣科技大學電子工程系射頻無線通訊實驗室，98年8月25日。
- 十五、王中和、鄒曜駿、洪三育，〈快速布建提升數位韌性 淺談衛星通信服務發展現況〉，《NCC NEWS》，第17卷第3期，2023年9月。
- 十六、O. Kodheli et al., <Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future

- Challenges>, 《IEEE Communications Surveys & Tutorials》, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, 2021。
- 十七、Inigo del Portillo, Bruce G. Cameron, Edward F. Crawley, <A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband>, 《Acta Astronautica》, vol. 159, pp. 123-135, June 2019。
- 十八、A. U. Chaudhry and H. Yanikomeroglu, <Free Space Optics for Next-Generation Satellite Networks>, 《IEEE Consumer Electronics Magazine》, Oct. 2020。
- 十九、林坤毅, 〈衛星間通訊技術與應用介紹〉, 《新竹、電腦與通訊》
<https://jictcms.itri.org.tw/>, (檢索日期: 2024年4月12日)。
- 二十、Emma stein, 〈麻省理工學院團隊模型運算, 四大低軌通訊衛星計畫流通量比一比〉, 《臺北、科技新報》, <https://technews.tw/2021/06/25/starlink-spacex-Telesat-oneweb-satellite-constellation-netwo rk-throughput>, (檢索日期: 113年4月12日)。
- 二十一、黃晶琳, 〈台灣低軌衛星通訊時代來了 中華電與全球二哥OneWeb簽代理合約〉, 《臺北、經濟日報》<https://www.money.udn.com/money/story>, (檢索日期: 2024年1月30日)。
- 二十二、錢玉紘, 〈花蓮強震 台灣第一次OneWeb低軌道衛星前進太魯閣災區, 要怎麼救災?〉, 《臺北、25數位時代》, 2024年4月8日, <https://www.bnext.com.tw/article/78791/hualien-earthquake-oneweb?>, (檢索日期: 2024年5月1日)。
- 二十三、楊昇儒, 〈中國大陸版「星鏈」首批衛星發射升空, 試圖追上美國〉, 《北京、中央社》, 2024年8月7日, <https://cna.com.tw>, (檢索日期: 2024年8月14日)。
- 二十四、連書華, 〈中共發18衛星挑戰星鏈 專家: 存技術障礙〉, 《臺北、大紀元日報社》, 2024年8月13日, <https://epochtimes.com.tw>, (檢索日期: 2024年8月14日)。
- 二十五、李中旺, 〈創辦人談衛星5/跑馬圈地何時了 往事知多少〉, 《臺北、經濟日報》, 2024年3月1日, <https://money.udn.com.tw>, (檢索日期: 2024年8月15日)。
- 二十六、舒孝煌, 〈第六章 制電磁權〉, 《2020 國防科技趨勢評估報告》, 2020年。
- 二十七、吳采薇, 〈低軌通訊衛星發展及應用之法治觀察〉, 《資訊工業策進會科技法律研究所》, 2022年4月25日, <https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=55&tp=1&d=8817>, (檢索日期: 2024年5月7日)。
- 二十八、謝宜庭, 〈美國白宮頒布有關於太空系統的網路安全原則《太空政策地5號指令》〉, 《資訊工業策進會科技法律研究所》, 2021年4月, <https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=645&tp=1&d=8629>, (檢索日期: 2024年5月7日)。
- 二十九、張人偉, 〈低軌衛星帶來諸多應用創新 新太空時代正式道來〉, 《MIC專欄》, 2023年4月19日, https://yawan-startup.tw/News_Card_Content.aspx?n=1494&s=5127, (檢索日期: 2024年5月7日)。

- 三十、鄭詩韻、徐睿承，〈俄發射低軌衛星，美評估為偵查和攻擊性太空武器〉，《北京、中央社》，2024年5月22日，<https://cna.com.tw>，(檢索日期：2024年8月14日)
- 三十一、史書華、林綺薇，天下雜誌：台灣如何應對低軌道衛星中美角力戰？，<http://www.cw.com.tw>，(檢索日期：2024年4月10日)。
- 三十二、賴清德、蕭美琴，〈第16任總統暨副總統就職專輯〉，《臺北、總統府》，2024年5月20日，<https://president.gov.tw>，(檢索日期：2024年8月14日)
- 三十三、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》，第175期，2022年8月1日。
- 三十四、記者江昱蓁、蔡佩容，〈無人機戰爭，無人武器的未來戰場-台海衝突風險升溫 美中台建構無人機戰力〉《聯合報》(台北市，聯合報社)民國113年8月12日A9版全球瞭望。
- 三十五、王綉雯，〈中共北斗衛星產業鏈之分析〉《國家安全研究院雙周刊第50期》2022年03月25日<https://dsr.org.tw> (檢索時間：2024年8月23日)。