



前瞻科技與管理 13 卷 2 期，1-17 頁（2025 年 5 月）
Journal of Advanced Technology and Management Vol. 13, No. 2, pp. 1-17 (May, 2025)
DOI:10.6193/JATM.202505_13(2).0001

低軌通訊衛星技術發展與應用

楊麗菁^{1,*} 林唐煌²

¹ 國立中央大學太空及遙測研究中心秘書

² 國立中央大學太空及遙測研究中心教授兼主任

摘要

低軌（Low Earth Orbit, LEO）通訊衛星技術在行動通訊、災害應變、環境監測及智慧經濟等領域發揮關鍵作用。其低延遲、高頻寬與廣覆蓋特性，使其成為解決偏遠地區網路不足的重要技術。隨著科技進步與發射成本下降，LEO 衛星應用快速擴展，並透過衛星間雷射通訊（Laser Inter-Satellite Links, LISLs）提升系統效率。其應用涵蓋 5G/6G 骨幹網、智慧農業、遠程醫療及教育等，市場潛力巨大。然而，頻譜管理、太空碎片及衛星碰撞等挑戰需國際合作解決。本文將分析國際先驅星鏈（Starlink）計畫，探討 LEO 衛星技術發展、通訊技術演進及其對產業鏈的影響，為臺灣提供發展參考，促進自主研發與國際合作，以提升衛星技術能力，銜接全球趨勢，加速數位化與智慧國家發展。

關鍵詞：光通訊技術、低軌通訊衛星、星鏈計畫、國際發展趨勢、臺灣的機會

* 通訊作者：楊麗菁

電子郵件：liching@csr.nctu.edu.tw

（收件日期：2025 年 1 月 8 日；修正日期：2025 年 2 月 14 日；接受日期：2025 年 2 月 18 日）



The Development and Application of Low Earth Orbit Satellite in Communication Technology

Li-Ching Yang^{1,*}, Tang-Huang Lin²

¹Secretary, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

²Professor, Director, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

Abstract

Low Earth Orbit (LEO) communication satellite technology plays a crucial role in mobile communications, disaster response, environmental monitoring, and the smart economy. Its low latency, high bandwidth, and wide coverage make it an essential solution for addressing network shortages in remote areas. As technology advances and launch costs decrease, LEO satellite applications are rapidly expanding, with Laser Inter-Satellite Links (LISLs) improving system efficiency. These applications include 5G/6G backbone networks, smart agriculture, telemedicine, and education, presenting significant market potential. However, challenges such as spectrum management, space debris, and satellite collision risks require international cooperation. This paper analyzes the Starlink project, a global pioneer, exploring the development of LEO satellite technology, advancements in communication technology, and their impact on the industrial supply chain. It aims to provide Taiwan with insights for development, promote independent research and international collaboration, enhance satellite technology capabilities, align with global trends, and accelerate the progress of a digital and intelligent nation.

Keywords: optical communication technology, LEO communication, Starlink, international development, opportunity of Taiwan

* Corresponding Author: Li-Ching Yang
E-mail: liching@csrr.ncu.edu.tw

壹、研究動機

綜觀電子計算機發展演進史，自 1946 年通用型電子計算機問世後，一路發展到個人電腦（Personal Computer, PC），從單機作業到數據通訊網路，演進至目前以智慧型手機取代 PC 或筆記型電腦（Notebook）上網，更帶動了與日俱增的行動上網需求。

為滿足全球行動上網的需求，行動通訊和相關公司於 1995 年成立全球行動通訊系統協會（Groupe Speciale Mobile Association, GSMA），主要建置行動電話系統的共通標準及推動行動通訊產業的發展，與統計行動網路連接狀況並提出報告。日前公布 2023 年度行動網路連接報告（Hatt et al., 2023），數據顯示全球總人口的 55%，約 43 億人擁有智慧型手機，其中使用行動上網的用戶數目為 46 億，當中有 40 億的用戶是以智慧型手機上網。臺灣數位發展部指出，臺灣從 2002 年開始應用科學方法評估數位轉型的成效，在 2023 年的評估結果為國民的上網率約 87%，家戶的連網率甚至已經達到 90%（林家嫻，2024）。伴隨著行動網路需求的激增，傳統地面基站已無法滿足所有用戶的需求，尤其是在偏遠地區及災害頻發的區域。低軌（Low Earth Orbit, LEO）通訊衛星技術因其低延遲、高頻寬及廣泛覆蓋的特性，成為未來通訊技術的重要發展方向。

本文旨在深入探討 LEO 衛星技術的發展背景、核心技術優勢及其在行動通訊與災害應對中的應用。隨著智慧型手機的普及及行動網路需求的持續增長，LEO 衛星技術不僅顯著提升了通訊效率，還對未來通訊網路架構產生了深遠的影響。以下將科普 LEO 衛星演進、應用現狀及未來發展趨勢，並探討其對社會經濟及科技進步的影響，以及臺灣在 LEO 衛星發展趨勢下的機會。

貳、LEO 衛星發展沿革與探討

一、人造衛星類型

根據聯合國外太空事務廳（United Nations Office for Outer Space Affairs, UNOOSA）的統計（莊承穎，2023），在 1957 年發射第一顆人造衛星後迄今，已經有 15,946 個物體被發射到太空中。截至 2023 年 6 月止，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約有 6,718 顆，分類如下：通訊衛星 4,823 顆（72%）、地球觀測（Earth Observation, EO）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%）。然因這些衛星各自的任務以及再訪週期的需求，而被分配在不同高度的地球軌道上（如圖 1）。

衛星依其軌道飛行高度可分為高橢圓軌道（Highly Elliptical Orbit, HEO）、地球同步軌道（Geostationary Orbit, GSO）、中地球軌道（Medium-Earth Orbit, MEO）及低地球軌道（LEO）（如圖 2）。LEO 衛星的運行高度介於 500~2,000 公里，主要應用於通訊、遙測及科學探索。這些衛星的運行高度使其能夠以較低的延遲提供通訊服務，並具備更高的數據傳輸能力（徐建峰，2024）。

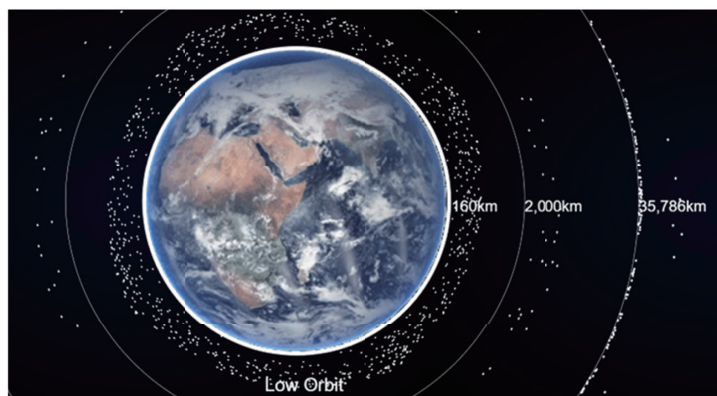


圖 1 人造衛星軌道示意圖

資料來源：莊承穎（2023）。

軌道衛星分類				
	高橢圓軌道衛星 (HEO)	地球同步軌道衛星 (GEO)	中地球軌道衛星 (MEO)	低地球軌道衛星 (LEO)
高度（距離地球）	3.6萬公里以上	約3.6萬公里	2,000至1.5萬公里	500至2,000公里
用途	技術開發與觀測	衛星電視轉播、廣播	GPS 導航、定位	通訊、遙測、導航、氣象、科學探索和國防
成本	高	←————→		
年限	高			
	低	低	低	低
資料來源：工研院 徐建峰 / 製表 林庭毅 / 製圖 經濟日報				

圖 2 依軌道區分之人造衛星及其任務與功能

資料來源：徐建峰（2024）。

二、技術演進

隨著衛星小型化及火箭運載成本的顯著降低，LEO 衛星的數量及覆蓋範圍已大幅提升。此技術的進步促使多家企業，如 SpaceX、OneWeb 等，積極投入 LEO 衛星的研發與部署，形成全球衛星網路的競爭格局。這些企業不僅在技術上持續創新，亦在商業模式上探索新的可能性，以應對日益增長的市場需求。

三、主要技術

LEO 衛星系統的核心技術涵蓋衛星通信技術、衛星導航技術以及衛星遙測技術，這些技術的持續發展對於提升衛星的運作效能與擴展其應用領域具有關鍵性影響。

首先，衛星通信技術在 LEO 衛星系統中扮演著至關重要的角色。由於 LEO 衛星相較於 GSO 衛星具有更低的傳輸延遲，因此在數據傳輸的即時性和穩定性上有明顯優勢。此外，LEO 衛星組成的星座系統可以透過多顆衛星的協同運作，實現全球範圍內的無縫覆蓋，進而提升遠程通信、網際網路服務以及物聯網 (Internet of Things, IoT) 應用的可靠性與普及率。

其次，衛星導航技術對於全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 及其他導航應用至關重要。LEO 衛星由於離地球較近，其訊號傳輸的延遲較小，且訊號衰減程度相對較低，因此可以提高定位精度，特別是在城市高樓林立的區域或地形複雜的環境中，能夠有效改善傳統衛星導航系統所面臨的訊號遮蔽問題。此外，隨著雙頻與多頻導航技術的發展，LEO 衛星可以提供更精確的同步服務，這對於金融交易、電力網路穩定性管理及科學研究等領域至關重要。

最後，衛星遙測技術在環境監測、資源管理以及氣象預測等方面發揮著重要作用。透過搭載高解析度光學感測器、雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 以及多光譜與超光譜成像技術，LEO 衛星能夠提供更細緻且高頻率的 EO 數據，進而提升對自然災害預警、農業監測、海洋監控及森林資源管理的能力。例如，在氣候變遷監測方面，衛星可以即時追蹤溫度變化、極端天氣現象及二氧化碳排放狀況，為環境保護與永續發展提供科學依據。

綜合而言，LEO 衛星系統的核心技術不僅推動了衛星通訊、導航與遙測領域的發展，還進一步促進了例如智慧城市、無人機導航、車聯網 (Vehicle-to-Everything, V2X) 及偏遠地區的網路覆蓋。隨著技術的持續進步，LEO 衛星系統在未來將發揮更廣泛的影響，成為全球數位化與智能化發展的重要基礎設施。

四、LEO 衛星的發展歷史

LEO 衛星的發展可以追溯到 20 世紀 60 年代，當時的衛星主要用於軍事和科學研究。隨著技術的進步，商業應用逐漸興起，並在 21 世紀進入了快速發展的時期。雖然需要更多數量的衛星（星鏈）來擴增覆蓋的面積，LEO 衛星與地球連接速度更快，尤其是隨著 SpaceX 等公司的開發與應用（〈SpaceX〉，n.d.），大幅降低小型衛星製作與發射成本，有效地提升全球衛星網路的建立（如圖 3）。

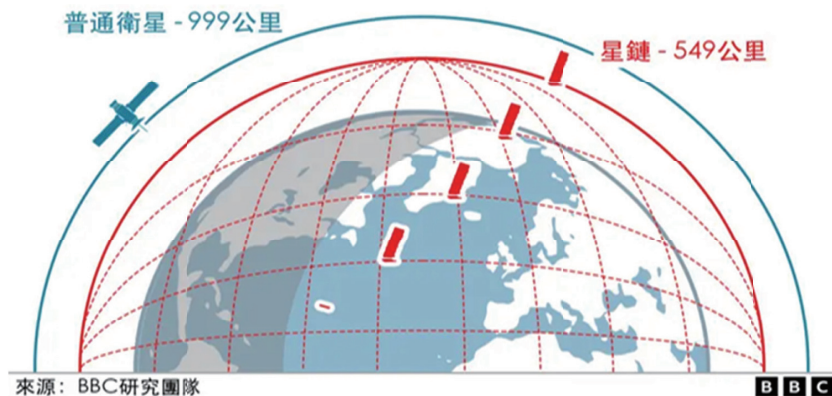


圖 3 低軌通信衛星星鏈區域作業示意圖

資料來源：BBC（2022）。

五、全球市場需求分析

隨著數位化進程的加速，全球對高速網路的需求持續上升。根據市場研究機構的報告，預計未來五年內，LEO 衛星市場的年增長率將達到 20% 以上。這一增長主要來自偏遠地區的通訊需求及 IoT 應用的普及。目前已知有四個企業相繼投入，包括特斯拉創辦人馬斯克領導的 SpaceX、歐洲通信衛星集團（Eutelsat）旗下 OneWeb、亞馬遜旗下的 Kuiper，以及加拿大老牌衛星業者 Telesat（如圖 4）（徐建峰，2024）。

低軌衛星四巨頭				
	馬斯克 SpaceX	亞馬遜 Project Kuiper	英國衛星 供應商 OneWeb	加拿大 Telesat
預計商轉 年分	2022	2025	2021	2023
客群	全球	衛星、通 訊服務	北歐、五 眼聯盟 （政府）	企業用戶
目標衛星 數量	30,000顆	3,226顆	648顆	198顆
進度	近5,000 顆低軌衛 星營運， 全球超過 100萬名 用戶	10月6日 發射第一 波衛星拚 2023年 底提供服 務	2023年9 月與歐洲 通信衛星 公司Eu- telsat合 併	2025年 第三季發 射第一顆 衛星，拚 2026年 提供服務
資料來源：採訪整理 徐建峰 / 製表 林庭毅 / 製圖 經濟日報				

圖 4 目前國際上規劃執行中的低軌通信衛星星鏈企業

資料來源：徐建峰（2024）。

星鏈（Starlink）是由 SpaceX 所推動的計畫，目標透過數千顆衛星構建高速、低延遲的互聯網網路，為偏遠地區提供服務。OneWeb 原由英國政府和印度電信集團 Bharti 聯合營運，2024 年 9 月成為歐洲通信衛星集團子公司，目前訊號主要涵蓋北緯 50 度以北。Kuiper 則專注在中低緯度地區，鎖定家用寬頻及行動網路領域，並整合亞馬遜無人機配送及物流服務，大幅擴張其商業版圖。加拿大衛星公司 Telesat 專注向各國政府及企業客戶提供高頻寬通信服務，規劃利用 LEO 衛星技術建構衛星星座，提供高速通信（徐建峰，2024）。

LEO 衛星因與地面通訊具互補優勢，且因衛星發展對應的是民生科技，現在 3C（Computer, Communication, Consumer Electronics）科技普及率高且市場變化快速，在手機與電動車普及率非常高的情況下，低軌通訊衛星的訊號便作為這些 3C 載具、平臺的通訊使用而成為太空業界中的明日之星。

參、LEO 衛星的優勢

一、低延遲

LEO 衛星的軌道距離可使其傳輸速度優於其他類型衛星，適用於實時通訊。此特性對於需要即時反應的應用場景，如遠程醫療、線上教育及緊急應變等，具有重要意義。隨著高速通訊（5G）技術的推廣，對低延遲時效的需求將愈加迫切。

二、廣泛覆蓋

LEO 衛星不受地形限制，能有效覆蓋偏遠地區及海洋，解決傳統基地臺無法覆蓋或屏障的問題。這一特性使得 LEO 衛星在災害救援及人道主義援助中發揮了關鍵性的效能，在災後的黃金時間內提供通訊支持，協助救援隊伍進行有效的救援行動。

三、高通量特性

在 SpaceX 的星鏈計畫中，其資料傳輸率可達 10 Gbps，未來可能達到 20 Gbps。此高通量特性使得 LEO 衛星能夠支持多種高頻寬的應用，如超高畫質（4K 像素）影像流、虛擬實境及增強實境等影片，滿足不斷增長的數據傳輸需求。

四、成本效益

隨著發射技術的進步，LEO 衛星的建造及發射成本顯著降低，這使得更多企業能夠進入該市場，甚至是大專院校等學研單位。相較於傳統地面基站，LEO 衛星的維護成本亦較低，提供了一個更具成本效益的解決方案。

五、靈活性與可擴展性

LEO 衛星系統的設計使其具備高度靈活性，配合較低成本，能迅速適應市場需求的變化。當需求增加時，企業可以快速部署更多衛星，擴大服務範圍。此外，這些衛星的作業時效通常較長，能夠持續提供穩定的服務。

六、安全性

LEO 衛星技術的發展也考量到數據安全的問題。透過加密技術及安全協議，LEO 衛星能夠有效保護用戶傳送的數據，降低資訊安全的風險。這對於金融、醫療等行業尤為重要，因為這些行業對資訊安全的要求極高。

七、環境影響的減少

LEO 衛星系統的運行可以減少對環境的影響。相較於地面基站的建設，衛星系統不需要大量的土地資源，自然能夠減少對自然環境的破壞。

八、數據傳輸的可靠性

LEO 衛星系統通常由多顆衛星組成，形成一個網狀結構，這使得數據傳輸的可靠性大大提高。即使某顆衛星發生故障，其他衛星仍能接管其工作，確保用戶的通訊不受影響。

肆、LEO 衛星的應用

一、行動通訊

目前智慧型手機無法直接接收衛星資料，但透過專用設備，使用者可以實現無延遲上網。此技術的開發，配合 LEO 衛星星系，將使行動通訊的覆蓋範圍大幅擴展，特別是在偏遠地區，讓更多使用者能夠享受到高品質的網路服務。

二、災害監控

LEO 衛星能在災害發生時提供即時通訊，提升救災效率。透過衛星觀測影像與即時訊息的傳輸，救援人員能夠更快速地評估災情並制定應對措施，從而降低生命及財產損失。此外，衛星的觀測亦可用於災後重建，協助當地政府及機構進行有效的資源配置。

三、建構 5G 及 6G 高速傳輸網路架構

LEO 衛星作為 5G 的骨幹網路，能有效解決基地臺數量不足的問題，提升全球網路的覆蓋率。隨著通訊技術的發展，6G 全方位通訊與智慧化克服了偏鄉通訊不佳的問題，以及遠洋漁船作業的無線通訊與連網，配合 LEO 衛星的應用，次世代的通訊領域將在全球通訊網路中扮演重要的角色，支持更多新興應用，如智能城市、IoT 及遠距智慧醫療照護等。

四、環境監測與災害預警

LEO 衛星在環境監測方面的應用也日益受到重視。透過衛星搭載的多元感測酬載及遙測技術，能夠近即時監測氣候變化、土地利用及水質污染等，為環保決策提供數據支持。

例如藉由蒐集 Sentinel-2 衛星 1~8 月每月 1 張共 8 張的影像，來瞭解 2023 年曾文水庫的蓄水量。在春天雨水逐月減少的情況下，上游處逐漸露出大量的水庫底泥，直至 6 月的梅雨及 8 月的颱風接連侵襲後，蓄水量於 8 月底接近滿庫，這些時間序列的資料對於年度水情分析和水資源調控規劃等相關研究提供了重要的資訊。另一方面，藉由衛星所建構的三維空

間訊息，配合氣象預報之降雨量則可提供都會地區或山區的潛勢易淹或坍方地區的預警（如圖 5），有效地減少居民的災損（莊承穎，2023）。

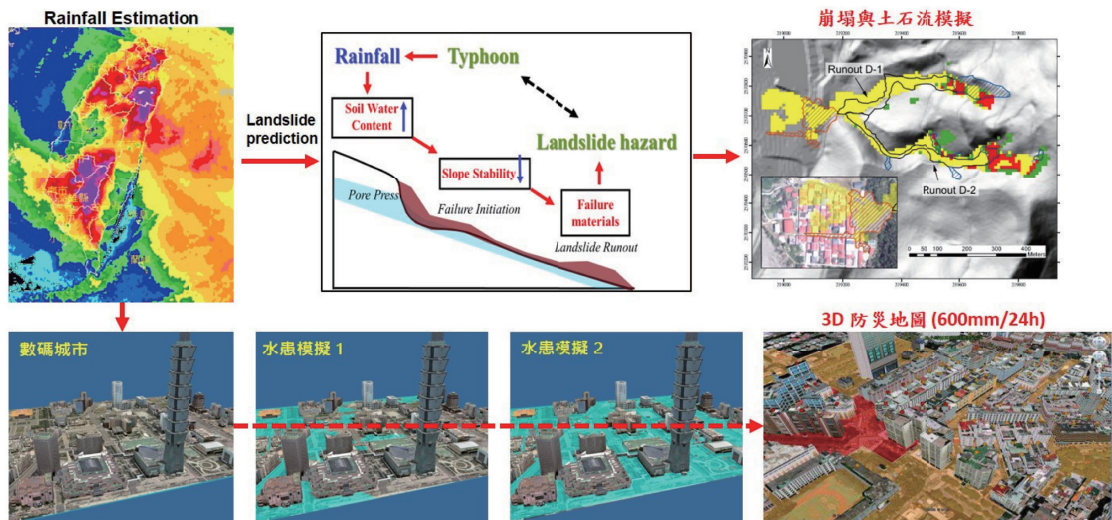


圖 5 應用衛星資料所建構三維空間訊息於災防預警的示意

資料來源：國立中央大學太空及遙測研究中心提供。

另農業部農村發展及水土保持署在卡努颱風事件中，以不同 EO 衛星的接力拍攝，分析了南投縣仁愛鄉崩塌地的分布情況（如圖 6），顯示塔羅灣溪土砂下移對廬山溫泉區的災後堆積情況等。通常災後無法迅速獲得相關資訊，這些衛星可在短時間內提供高解析度的影像，迅速向相關單位和民眾提供災情的信息，為防災和救援行動提供了寶貴的參考資料（莊承穎，2023）。

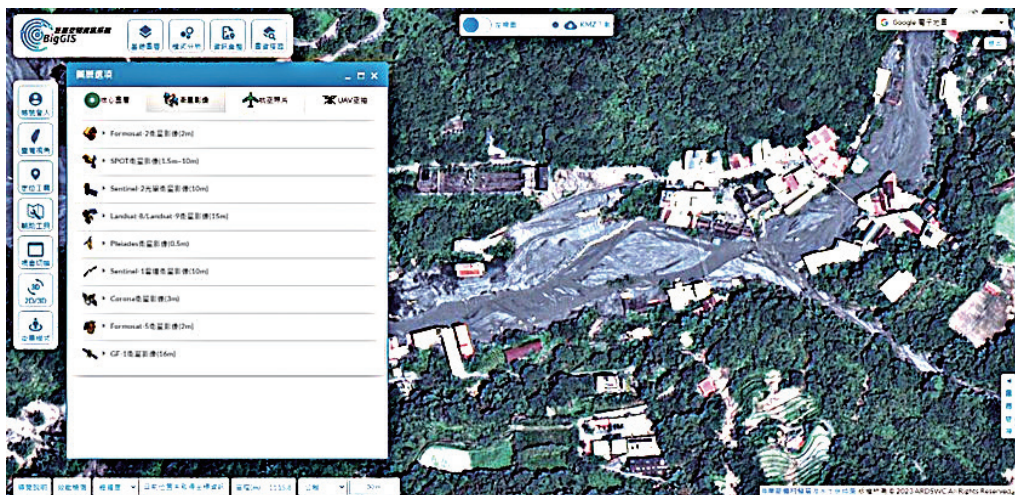


圖 6 卡努颱風所造成南投縣仁愛鄉崩塌地的分布情況

資料來源：莊承穎（2023）。

五、商業應用

隨著 LEO 衛星技術的成熟，越來越多的商業應用出現。企業可利用多元衛星所反演的環境資訊進行市場分析、供應鏈管理及風險評估等，從而提高運營效率及競爭力，也就是知識經濟。此外，LEO 衛星還可用於支持農業、漁業及林業等行業的可持續發展。

六、教育與研究

LEO 衛星技術的發展為教育和研究提供了新的機會。學校和研究機構可以利用衛星數據進行地理信息系統（Geographic Information System, GIS）、環境科學及氣候研究等領域的研究，從而提高學術研究的質量和效率。

七、醫療應用

在醫療領域，LEO 衛星技術可用於遠程醫療服務。醫生可以通過衛星連接獲取患者的健康數據，並進行即時診斷。此外，衛星技術還可用於緊急醫療救援，提供必要的通訊支持。

八、政府與公共服務

政府機構可以利用 LEO 衛星技術來提升公共服務的效率。例如，在公共安全、交通管理及城市規劃等方面，衛星數據能夠提供重要的決策支持，幫助政府更好地服務於市民。

九、文化與娛樂

隨著 LEO 衛星技術的發展，文化和娛樂產業也開始利用衛星服務來擴展其覆蓋範圍。無論是遠程直播音樂會還是提供全球影視內容，LEO 衛星都能為這些活動提供穩定的網路支持。

十、農業智能化

LEO 衛星技術在農業中的應用越來越廣泛，農民可以利用衛星數據進行土壤監測、作物健康評估及灌溉管理等，從而提高農業生產效率。

伍、Starlink 的發展及應用

大多數人所熟悉的大多是在地球的同步軌道運行的 GSO（〈地球同步軌道〉，n.d.），其高度距離地面約 36,000 公里，且都是大型通訊衛星，具有較為寬廣的通訊範圍。而 SpaceX 的「星鏈衛星座」（Starlink Constellation）計畫將由四萬顆 LEO 小型通訊衛星組成。第一期計畫是要在高度 540~570 公里間，建立五個不同傾角軌道面的通信「殼層」（Shell），而如上所述 GSO 高度是星鏈軌道高度的 60 倍（如圖 7），使用 GSO 通訊衛星其「訊號延遲」

要比運行在近地軌道上的衛星嚴重，而且以往這些大型衛星提供給一般用戶的服務，只限於下載影音，並不能上傳或上網（黃國華、王志強，2022）。

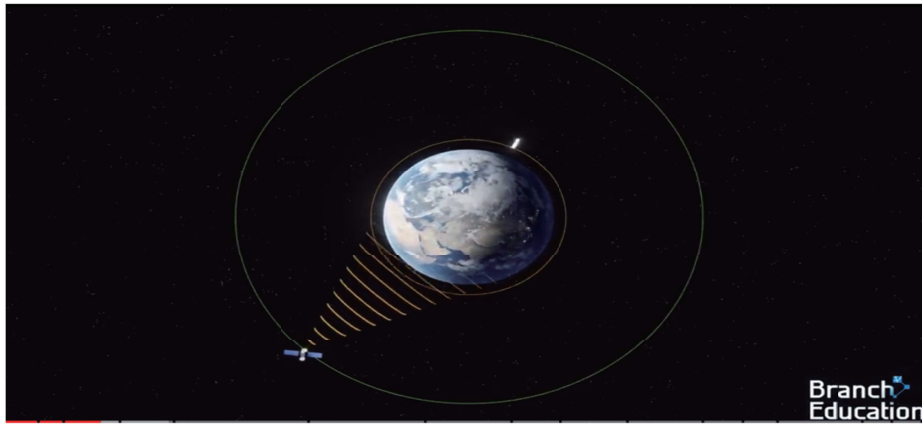


圖 7 GSO 衛星與 LEO 衛星通訊範圍示意圖

資料來源：黃國華與王志強（2022）。

Starlink 衛星通訊的特點是因為衛星軌道離地面較近，所以信號延遲可以降至 20 毫秒。但也因為離地面近，每顆衛星的覆蓋範圍較小，因此需要大量的衛星分布在不同軌道及不同平面上，才能將偏遠地區、海洋及航空範圍都納入全球網路的覆蓋。

Starlink 衛星服務對象起初設定為沒有基地臺的偏遠地區，或是海洋中的船艦及空中飛行的飛機；但由於早先的 Starlink 衛星並沒有互相傳訊溝通的功能，當時的解決方法是在陸地上建立地面站（如圖 8），以及既有的地面光纖網路才能連線，所以一開始在海洋上是無法有星鏈網路的（黃國華、王志強，2022）。



圖 8 地面陣列 SAR 天線輔助星鏈互相傳訊之設置圖例

資料來源：黃國華與王志強（2022）。

2021 年中，SpaceX 開始發射 Starlink 1.5 版本的衛星，此衛星可在真空中以光速直接傳輸，比起經由地面站、透過光纖網路，信號延遲可降低 50%。2022 年又再精進出現第二代 Starlink 衛星 4（如圖 9），而新的星艦號（Starship）發射系統剛好可以把衛星躺平疊放像提款卡一樣一片一片的推入軌道（如圖 10）。

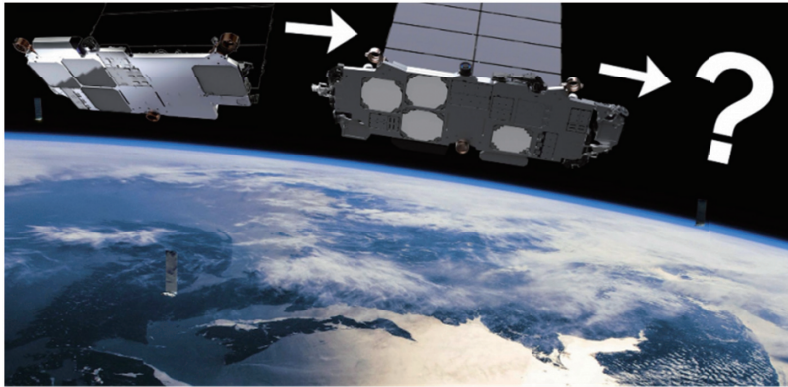


圖 9 應用雷射通訊傳輸功能增加 Starlink 衛星間之通訊頻寬示意圖

資料來源：黃國華與王志強（2022）。

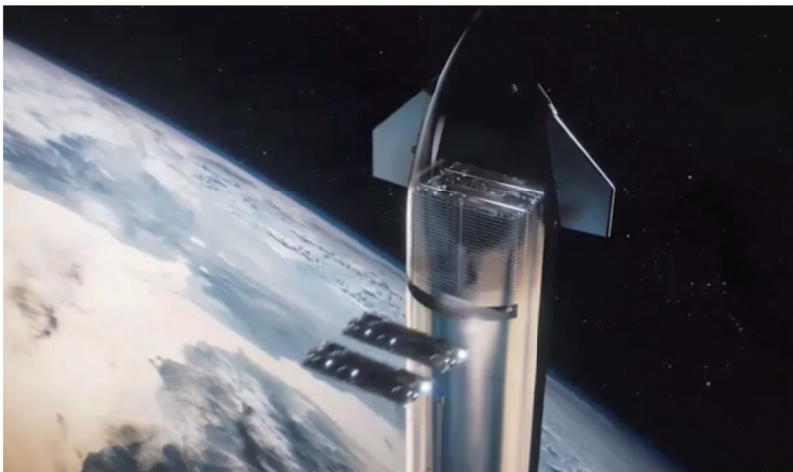


圖 10 SpaceX 新的星艦號發射系統在前端依序擺設衛星的窗口

資料來源：黃國華與王志強（2022）。

星鏈系統中除了 Starlink 衛星、地面接收站之外，另一個重要元件就是用戶的天線。SpaceX 為了成本效益及提高產量，2021 年底將天線外形從原來的圓形，改成方形（如圖 11）。最近 Starlink 還推出「海上星鏈」（Starlink Maritime），其客戶群是針對大型船隻、豪華遊艇等。在浩瀚的大海上可以享受 350 Mbps 速度在網際網路上遨遊，當然可想而知會所費不貲。未來俟「星鏈星座」建構完成後，不管是身處地球陸海空的何處，我們都可以不受限的上網及和親友聯繫了（黃國華、王志強，2022）。



圖 11 Starlink 衛星用戶接收的圓形及方形天線

資料來源：黃國華與王志強（2022）。

陸、低軌通訊衛星的發展與衝擊

一、全球網路覆蓋

星鏈計畫旨在建立一個全球性的衛星網路，特別針對偏遠地區的需求。此計畫不僅能改善全球的網路連接性，還能促進經濟發展及社會進步。透過提供穩定的網路服務，將有助於教育、醫療及商業活動的發展。

二、市場潛力

俄乌戰爭開打後烏克蘭多個地區一度呈斷訊斷網狀態，但特斯拉、SpaceX 執行長馬斯克出手，藉由衛星通訊提供烏克蘭「星鏈服務」，維持基本網路服務。不僅如此，華為先前推出的 Mate 60 智慧手機，以及蘋果的 Apple Watch、iPhone，兩者的共通點在於都投入衛星通訊功能，讓 LEO 衛星受到關注，也再再顯示其背後商機無限。

隨著技術的進步，LEO 衛星將開拓更多應用市場，帶來經濟效益。許多新興企業已開始探索 LEO 衛星的商業模式，未來將出現更多創新應用。這些應用不僅限於通訊，還包括環境監測及農業管理等多個領域。

根據美國衛星產業協會（Satellite Industry Association）統計，全球太空經濟在 2020 年達到 3,713 億美元，到了 2040 年更有望突破 1 兆美元，其中，衛星產業占比將超過八成，規模達 9,252 億美元。工業技術研究院則預估，在 2030 年全球將有 1.7 萬枚衛星發射部署，10 年內成長 450%，至少可以創造 4,000 億美元規模的產值（徐建峰，2024）。

三、產業鏈發展

LEO 衛星的发展亦促进了相关产业链的形成，包括卫星制造、发射服务、地面接收设备及数据处理等。这些产业的发展不仅创造了大量就业机会，还推动了科技进步。

四、国际合作

LEO 卫星技术的发展促进了国际间的合作。各国政府和企业在卫星技术、数据共享及应用开发等方面展开合作，推动全球数字化进程。此合作不仅有助于技术的交流与进步，还能促进全球经济的可持续发展。

五、社会责任

随著 LEO 卫星技术的普及，企业需承担相应的社会责任。除了提供高品质的服务外，企业还应关注数据隐私及安全問題，并确保其技术的应用不会对社造成负面影响。

六、競爭環境

随著越来越多的企业进入 LEO 卫星市场，竞争环境变得愈加激烈。企业不仅需要在技术上持续创新，还需在商业模式及市场策略上寻求突破，以维持其市场地位。

七、監管挑戰

随著 LEO 卫星技术的快速发展，相关的监管框架也需随之调整。各国政府需要建立相应的法律和政策，以确保卫星运行的安全性及合规性。

八、技術標準化

为了促进 LEO 卫星的广泛应用，国际间需要建立统一的技术标准，这将有助于不同卫星系统之间的互操作性，并提高整体效率。

九、環境影響評估

随著 LEO 卫星的部署增加，对太空环境的影响也需进行评估，相关机构应对太空垃圾及其对地球环境的潜在影响进行深入研究。

柒、LEO 卫星未来的挑战与台湾的机会

LEO 卫星技术具备高速数据传输、低延迟与全球覆盖等优势，在各國積極发展太空計畫、发射新系的同时，亦将面临多重挑战，包括卫星运行稳定性、频谱资源管理及卫星碰

撞風險。此外，LEO 衛星的大規模部署可能導致太空碎片增加，進一步影響太空環境與天文觀測，需透過技術創新與國際合作來尋求解決之道，例如多功能衛星之建構可有效地控制星系之衛星數量，將可降低成本及碰撞風險，其中衛星在的輕量化變為關鍵技術之所在。

在法規與政策層面，LEO 衛星的發展涉及空間資源分配、數據隱私及國際監管等議題。各國政府需共同制定合理的法規，以確保產業有序發展，同時兼顧國家安全與個人數據保護。

針對這些技術與法規挑戰，臺灣在半導體、積體電路設計（Integrated Circuit Design, IC Design）及通訊技術領域擁有全球競爭優勢，政府若能針對國際 LEO 衛星產業進行整體規劃，例如開發輕量化、高精度的微衛星與立方衛星（CubeSat），將有助於提升國際影響力。透過整合人工智慧（Artificial Intelligence, AI）、機器學習及區塊鏈技術，提高衛星運行效率及數據處理能力，並研發可回收或再利用的衛星材料，以降低太空垃圾問題。此外，透過建立國際標準的衛星測試與驗證機制，確保臺灣研發的 LEO 衛星符合全球市場需求，提升競爭力（唐豪駿，2022）。

LEO 衛星在全球通訊、國防、氣象監測、災害應變及智慧城市建設等領域均有廣泛應用。臺灣目前通訊網路主要依賴地面基礎設施與部分同步軌道衛星如中新二號（〈中新二號〉，n.d.），但面臨如遠端地區訊號不穩定、國安風險及災害期間通訊中斷等問題（丁奕，2023）。因此，加強 LEO 衛星技術的投入，發展自有衛星接收站與移動通訊技術，將是臺灣未來的重要發展方向。

目前，臺灣政府正積極推動「太空國家隊」，並加碼投資 LEO 衛星研發，提升國內產業的自主技術能力，繼福衛7號氣象衛星後，2023年再度成功讓獵風者號（如圖12）上太空，過程中，參與的臺灣廠商超過20家，部分元件如衛星電腦、電力控制單元、GPS 導航接收機、光纖陀螺儀、推進實驗模組皆出自於臺灣，自製率可達到三成五，為我國氣象史及太空史上一大里程碑。

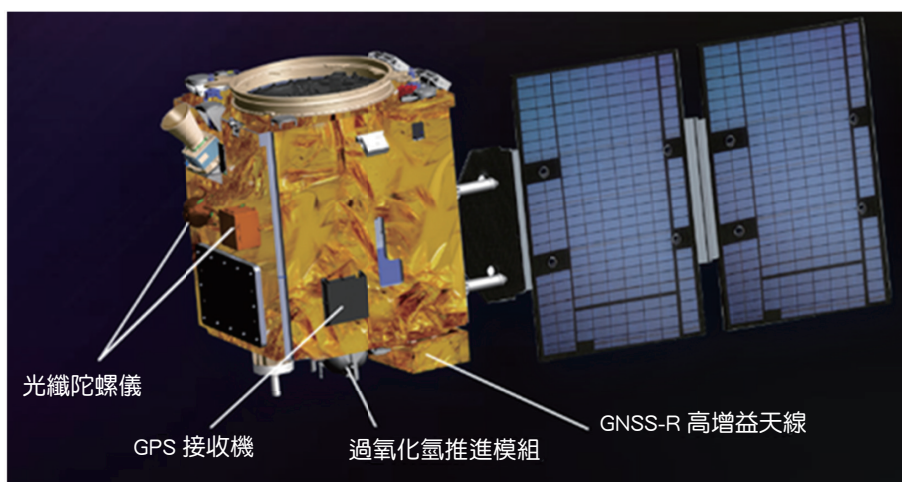


圖 12 氣象衛星獵風者號衛星構型示意圖

資料來源：國家太空中心（n.d.）。

在應用層面，LEO 衛星可與 AI 及高效算力平臺結合，建立即時訊息獲取與知識經濟平臺。例如，透過 LEO 衛星提供農業監測、氣象預測及病蟲害防治資訊，讓農民獲取即時數據，提高農業生產效率（李楓蕙，2023）；或應用於空污偵測，提供即時的環境資訊，協助政府與企業採取適當應對措施。此外，臺灣可進一步發展移動通訊取代定點接收站技術，使 LEO 衛星與 5G/6G 網路整合（Jack H.，2024），提供更廣泛且穩定的全球通訊服務。

總體而言，臺灣應充分發揮在半導體、資通訊產業的優勢，從 LEO 衛星的製造、發射到應用場景的落地推廣，特別是在智慧城市建設和 IoT 部署方面（李楓蕙，2023），形成完整的產業鏈，並積極參與國際合作，以在太空產業中占有一席之地。

參考文獻

- BBC，2022 年 8 月 2 日，〈什麼是星鏈 Starlink？成千上萬顆低軌衛星布局的背後〉，《BBC News 中文》，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/science-62377847>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- Jack H.，2024 年 10 月 1 日，〈【觀點】6G 時代要來了！低軌衛星為何是關鍵技術？誰占先機？臺灣還能插旗？〉，《數位時代》，<https://www.bnext.com.tw/article/80654/leo-starlink-6g>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 〈SpaceX〉，n.d.，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/SpaceX>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 丁奕，2023 年 8 月 17 日，〈太平島官兵連中國移動通訊上網 NCC：中新二號衛星頻寬不足〉，《自由時報》，<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/4399061>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 〈中新二號〉，n.d.，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%AD%E6%96%B0%E4%BA%8C%E8%99%9F>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 〈地球同步軌道〉，n.d.，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%9C%B0%E7%90%83%E5%90%8C%E6%AD%A5%E8%BD%A8%E9%81%93>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 李楓蕙，2023，〈淺談低軌衛星物聯網於農業之應用〉，《臺灣經濟研究月刊》，46（10），頁 112-118。doi:10.29656/TERM.202310_46(10).0015
- 林家嫻，2024 年 8 月 28 日，〈行動上網逐年普及 2023 年國民上網率達 87%〉，《中央通訊社》，<https://www.cna.com.tw/news/afe/202408280194.aspx.html>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 徐建峰，2024 年 1 月 9 日，〈整理包／國家太空隊動起來！低軌衛星商機大爆發 各廠布局、概念股一次看〉，《經濟日報》，<https://money.udn.com/money/story/5612/7542077>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。

- 唐豪駿，2022，〈我國推動低軌衛星產業之發展策略〉，《臺灣經濟研究月刊》，45（11），頁 52-58。doi:10.29656/TERM.202211_45(11).0008
- 莊承穎，2023 年 10 月 5 日，〈EO 衛星是如何環繞地球——淺談衛星軌道〉，《農業部農村發展及水土保持署技術研究發展平臺》，<https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=8433ebbc-0016-44aa-beeb-cc4c1e763721>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 國家太空中心，n.d.，〈獵風者衛星〉，<https://www.tasa.org.tw/zh-TW/missions/detail/TRITON>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- 黃國華、王志強，2022 年 3 月 22 日，〈馬斯克的「星鏈計畫」（Starlink）〉，《CASE 報科學》，<http://case.ntu.edu.tw/blog/?p=39420>（瀏覽日期：2024 年 12 月 20 日）。
- Hatt T., Jarich P., Goel A., Patsioura C., Iacopino P., Iji M., and Bahia K., 2023, “Global Mobile Trends 2023,” *GSMA Intelligence*, <https://data.gsmainelligence.com/research/research/research-2023/global-mobile-trends-2023> (accessed December 20, 2024).