

■文：徐俊毅

2019年，隨著“星鏈”計畫的實施，在科技人員的努力下，商業公司開始以更低成本，批量將衛星送上近地軌道空間，短短2,3年時間，已經有數千顆衛星出現在了近地軌道中。而這次批量造星的目的不是向外探索，而是構築數字世界的“天網”，將互聯網的“網線”拉到空中，將地球“包裹”起來。無死角地為地面的各種應用提

供高速的資料傳輸服務，這種大規模天地間傳輸資料的方式，隨著應用的普及得到越來越多消費者和公司的人可，帶動又一次太空經濟熱潮。

數字經濟的成長，正在讓互聯網變得無所不在，地球表面已經密佈了有線、無線通訊基礎設施，哪怕是海底也有通信光纜在傳遞海量資料，但是儘管如此，全球未

能接入互聯網的人口仍有數十億之多，最新最新統計，全球現有46.6億線民，而全球人口在2022年11月15日達到了80億這個數字，也就是說仍有4成多的人口缺乏接入互聯網的有效手段。在基礎設施條件欠佳的偏遠地區，在受到重大自然災害的地區，還有占地表面積最大的海洋表面，互聯網的“盲區”依然很大。

#### ChatGPT 對於 LEO 的解讀：

低地球軌道 (LEO) 衛星是在不到 2,000 公里的高度繞地球運行的衛星。這些衛星通常用於各種應用，包括地球觀測、通信、導航和科學研究。低軌道衛星技術正在迅速發展，公司和組織在開發和部署新衛星和地面系統方面投入了大量資金。材料科學、小型化和電池技術的進步使得建造更小、更有能力的衛星成為可能，這些衛星可以更快、更便宜地發射和部署。此外，通信和跟蹤技術的進步使衛星通信和定位更加高效和可靠。

低地球軌道 (LEO) 衛星用於各種應用，包括電信、導航、遙感和地球觀測。它們是這些應用的首選，因為它們靠近地球，這使他們能夠提供高頻覆蓋和低延遲。低地球軌道衛星也可用於天基互聯網服務，因為它們甚至可以為世界上最偏遠的地區提供寬頻連接。LEO 衛星為設備製造商提供了大量機會，可以提供有助於滿足廣泛行業需求的創新解決方案。



圖片來源：SpaceX 官方網站

擴展傳統地面接入，增加非地面 (NT: non terrestrial) 接入，是實現真正的網路連接全球覆蓋的有效途徑。這些補充性 NT 接入手段可以通過多種不同途徑提供，例如無人機 (drones)、高空平臺 (HAPS) 和 / 或近地軌道 (LEO) 衛星。這些移動 NT 節點應該是總體無線接入解決方案的一個有機組成部分，作為對地面網路的擴展，提供真正無縫的全球覆蓋。目前，正在大規模部署的 NT 網路，非低軌衛星莫屬。

SpaceX 的獵鷹系列可回收火箭的成功，讓衛星發射成本最高下降了 100 倍!!! 發射成本大幅度降低和可重複使用火箭的發展推動當今的衛星行業掀起新的變革。成百上千顆 LEO 衛星 (近地軌道

衛星，也稱低軌衛星) 進入太空。5G、互聯汽車、物聯網 (IoT)、智慧家居以及智慧城市等地面技術的創新，同樣造成了頻寬需求的激增，越來越多的高輸送量衛星為這些不斷擴展的應用傳輸海量資料。

預計到 2029 年，地球近地軌道將部署總計約 57,000 顆低軌衛星。低軌衛星產業已成為全球競爭的新藍海。

### 更多 LEO 衛星上天

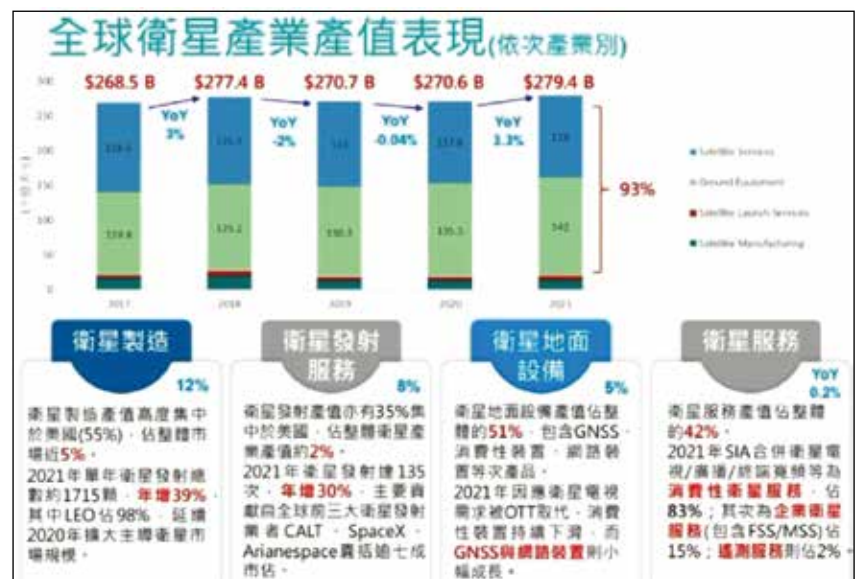
工研院國際所產業分析師呂珮如表示，在過往的 5 年中，全球衛星產業產值從 2680 億美元成長到 2800 億美元左右，其中地面設備和服務部分的占比在 9 成以上。這裡面，衛星地面設備產值占比高達到 51%，主要包含各種接收裝置，在數位經濟的推動下 GNSS 與網路裝置有小幅成長。衛星服務產值占比 42%，其中的 83% 服

務于衛星電視、廣播、終端寬頻等消費市場，而 15% 則為企業提供服務。

從 2019 年，SpaceX 與 OneWeb 開始大量發射 LEO (近地軌道衛星，也稱低軌衛星) 衛星開始，衛星製造和發射的占比成長快速。截至 2022 年 4 月的統計，全球共計發射 5465 顆衛星，其中 86% 為 LEO 衛星。2021 年全年發射 1715 顆衛星，產值占比 5%，同比增長 39%！其中 LEO 占比更是高達 98%。

衛星發射服務方面，主要參與業者包括 SpaceX (馬斯克創辦)、Onweb (軟銀投資，英國政府持股，2022 年 7 月與法國衛星公司 Eutelsat 合併成為歐洲最大衛星公司) 還有歐洲航天局的 Arianespace 系列火箭，以及 2021 年成立的中國衛星網路集團公司 (主要為中國自用衛星提供發射服務)。2021 年全球衛星發射同比

圖說：全球衛星產業產值表現



圖片來源：工研院產科國際所

年增 30%，其中 35% 的衛星發射集中在美國，SpaceX 和 OneWeb 公司的發射量佔據 7 成，其中 OneWeb 一度使用俄羅斯提供的衛星發射服務，但隨著俄羅斯的入侵烏克蘭的軍事行動，OneWeb 暫停了所有在俄羅斯發射衛星的服務。

未來幾年，LEO 衛星發射還將繼續提速，SpaceX 的星鏈計畫，從 2022 年到 2024 年間發射 2020 顆衛星的項目正在穩步實施，從 2025 年開始，到 2027 年，計畫發射 7518 顆衛星，該公司曾經於 2019 年 10 月申請追加 3 萬顆衛星的星鏈計畫並未全部得到許可，2022 年 12 月 1 日，美國 FCC(聯邦通訊委員會)裁定只允許部署其中約 7500 顆，其餘的發射計畫暫緩決定，這也可能是出於反壟斷的因素。

因為根據目前國際電聯 (ITU) 的相關規定，衛星的軌道、頻率資源配置採用的是先到先得的規則，只要某國申報了衛星軌道頻率資源，在規定時間內，其他國家或公司就不能再佔用，除非申報國在規定期限內未能完成申報的發射計畫。因此，在未來幾年，具備條件的國家和公司都會增加在 LEO 衛星發射方面的投入，以便“先到先得”。

如 OneWeb 計畫在到 2030 年前發射總計超過 7000 顆衛星，加拿大衛星公司 Telesat 計畫到 2030 年前部署 1700 顆衛星。韓國南華系統計畫 2030 年前 2000 顆衛星發射，為使用者提供衛星寬頻網路服務，等等。

## 臺灣業者參加試水 LEO 市場

臺灣也有業者開始申請 LEO 衛星頻率資源，根據數位發展部公佈的資料，目前已有 2 家業者提出國內低軌衛星頻率申請，將於 2023 年第一季完成審查。

2022 年底開放低軌衛星頻率申請已截止，目前已有 2 家業者提出申請，分別為隴華電子及愛爾康資料處理。數位發展部透露已成衛星固定通信用無線電頻率審查會，1 月將對 2 家業者，就其申請資格、網路設置、營運計畫等，和 NCC 共同審查，確保符合消費者權益保護、資通安全等，最快於今年第一季完成審查。

根據申請的文件，提出申請的 2 家業者中，隴華電子計畫與 Hughes 合作，採用歐洲的衛星通訊服務商 Eutelsat，提供衛星服務陸地固定地點及船舶；另一業者愛爾康則和歐洲衛星業者 SES 合作，使用 O3b 衛星，提供衛星通信服

務給陸地固定地點、船舶及航空器。數位部指出，衛星通訊具有涵蓋範圍廣的優勢，可加強海上、離島、山區等地訊號涵蓋，也能作為公眾電信網路的備援，確保通訊網路在各種緊急狀況發生時，仍可通過同步、非同步軌道衛星，強化我國通傳網路的韌性。另外，也能作為降低普及通訊服務成本，提升民眾使用通傳服務的機會，同時提供航空器、船舶寬頻網路服務。

## LEO 的商業佈局不斷擴展中

在衛星製造部分，處於資訊安全角度的考量，各國衛星平均自造占比超過 80%。地面設備部分，2021 年度，全球市場總額達到 219.9 億美元，其中北美市場占比 43%，歐亞占比 27%，亞太占比 18%，年複合增長率達到 20%，是目前最主要的三大市場。

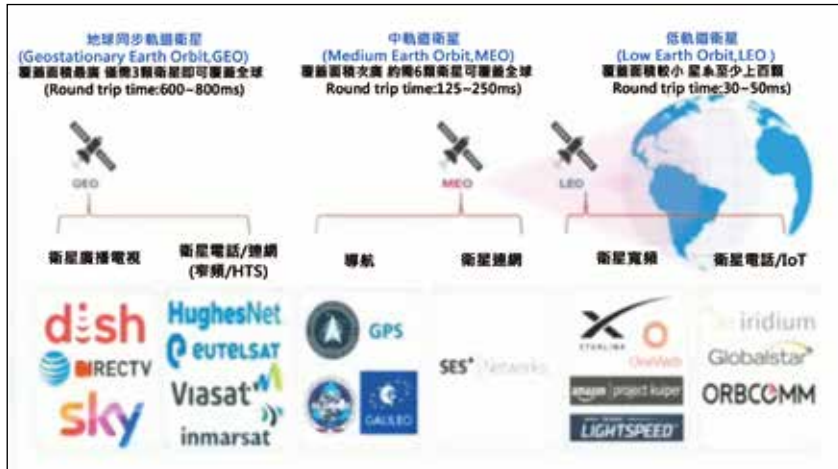
“北美的美國，歐洲的英國、俄羅斯，亞太區的中國、印度、

圖說：全球通訊衛星地面設備市場



圖片來源：工研院產科國際所

圖說：低軌衛星運營商聚焦寬頻與 IoT 服務



圖片來源：MIC/2022年6月

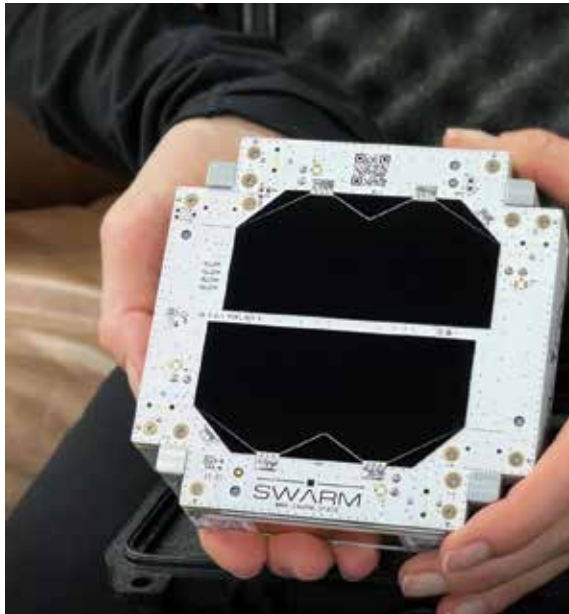
日本、韓國，都是未來幾年具有20%以上發展潛力的市場。”工研院國際所產業分析師呂珮如表示。

MIC資深產業分析師曾巧靈表示，相較於GEO（地球同步軌道衛星）和MEO（中軌道衛星），LEO（低軌道衛星）衛星信號延遲在30~50ms，接近4G網路傳輸水準，大多數LEO供應商均提供

衛星寬頻網路連接服務，同時在缺乏基礎設施的地區，LEO通信可以很好地提供較高速率的資料傳輸，這使得IoT設備可以部署到地球表面的任何地方，且成本可控。

全球通訊衛星地面設備市場以陸地應用為大宗，整體占比48%，包括車載，家庭使用者和企業的衛星通訊需求，預計到2030

圖說：Swarm是目前太空中最小的可操作商用衛星，只有11x11x2.8釐米，重量僅為400克

圖片來源：<https://swarm.space/>

年全球約有1.2億輛汽車會搭載衛星通信設備，加上另一個具有成長潛力的市場——IoT，很多廠商都將躍躍欲試；除地面應用之外，航空航太應用占比31%，預計到2040年全球約有4.7萬架飛機使用衛星通信設備傳輸資料；剩餘的21%為海事應用，除了傳統的定位服務，越來越多客輪、貨輪使用衛星通信設備傳遞更多資料，

2022年的統計顯示約有165.4萬艘船隻裝備了衛星通信設備。

在衛星的寬頻商業應用中，自2020年10月SpaceX旗下的Starlink的寬頻服務開展以來，已經收穫數百萬用戶的信任（2022年9月的資料為70萬，且有數倍的潛在用戶），2022年第二季，該公司推出了面向企業使用者的Premium版服務，月租費用消費版99美元，企業用戶Premium版500美元。

此外，2021年9月，Starlink與日本電信運營商KDDI合作，為山區或災害地區提供通信網路回傳業務，2022年與夏威夷航空簽訂合約，為該航空公司的乘客提供空中上網服務。

另一家LEO供應商OneWeb與BT、Telefonica合作，在歐洲拉丁美洲偏遠地區提供行動網路服務，增加這些地區運營商的覆蓋範圍和網路容量；此外OneWeb還與系統整合商Navarino合作，計畫於2023年起為船舶提供寬頻服務。

Swarm是目前太空中最小的可操作商用衛星，只有11x11x2.8釐米，重量僅為400克。由於體積小，它們的發射成本比大多數衛星低得多，為客戶節約大量成本。Swarm的衛星在450-550公里的高度運行，提供全面的全球覆蓋。衛星像珍珠串一樣散佈成一系列分佈在太陽同步軌道平面上。這種配置使衛星能夠保持可靠的全球網路覆蓋。

## LEO 改變了戰爭

回顧整個 2022 年，真正讓 LEO 大放異彩的地方既不是寬頻、也不是車載、飛機等交通工具上使用衛星網路，而是戰爭。

2022 年 2 月俄羅斯悍然入侵烏克蘭之後，作為現代戰爭的基本戰術，俄軍第一時間對烏克蘭的通信設施和配套電力設備展開大規模的攻擊，以便達成快速破壞烏克蘭指揮系統，進而瓦解烏軍抵抗的軍事目標。

開戰 2 天后，馬斯克立即宣佈星鏈系統烏克蘭地區啟動，並提供一批星鏈終端給烏克蘭政府和軍方，保證通信的暢通。在接下來近一年的戰鬥中，依託完整的通信指揮系統，還有各國盟友源源不斷地軍事援助和軍事情報援助，烏克蘭不僅成功阻止了俄軍的入侵，還在一些局部實施了反擊，奪回了部分失地。

“星鏈”系統在戰場上主要為烏克蘭提供了民用和軍用的資料傳遞服務。

首先，星鏈為烏克蘭政府、國防和關鍵基礎設施部門提供連接互聯網的冗餘網路支援。在傳統互聯網基礎設施被大規模破壞的情況下，政府和民衆可透過“星鏈”連接到互聯網，保證通信及時有效。

其次是直接在戰場起作用，透過簡單的攝像技術，借助星鏈，烏軍可為無人機攻擊提供目標指示，特別是在互聯網和電力中斷的野外，無人機通過使用“星鏈”衛

星保持通信鏈路並提供情報，在戰爭爆發的前幾箇月中，俄羅斯的坦克就這樣不斷被點名清除掉。以至於，俄軍一度動用了蘇聯時代庫存的“坦克”前往前線填補空白，但是在烏軍精確打擊下，仍然無法維持防線，不斷後撤，這其中包括俄軍黑海艦隊旗艦在內的主力軍艦也被擊沉。

對身處戰場外的全球其他地區民衆來說，這場戰爭相比以往最大的不同之處，就是幾乎是借助星鏈全程被直播。根據 Starlink (SpaceX 旗下負責寬頻網路運營的子公司) 統計，在烏克蘭，已有數萬名星鏈網路使用者，每天用掉 7000G 的流量，從而形成了這種戰場大規模直播的奇觀。這一方面提高了烏克蘭民衆反擊侵略的鬥志，也在很大程度上摧毀了侵略者的士氣。

為了改變被“直播”的不利局面，俄軍也想盡各種方法，破壞星鏈的傳輸，動用了駭客、大規模電子干擾等手段。

但是 SpaceX 的反應相當迅速，透過快速的固件升級調整，星鏈抵抗住了所有的駭客和干擾影響。俄軍甚至驚恐的發現，即便是他們實施大規模電子干擾的區域，仍然在被“直播”。在瑪律烏波里鋼鐵廠的戰鬥中，俄軍大量使用頻率干擾和 DDOS (網路飽和流量) 攻擊下，處於地下工事的烏軍通過星鏈依然和基輔進行高品質通信交流，甚至還有被困地下的女兵在社交平臺發佈自己彈吉他的短視頻。

在實現網路快速恢復和冗餘備份 (redundant back-up) 方面，LEO 展現出了巨大的價值。根據外媒報導，2022 年 3 月底，烏克蘭軍隊收復俄軍撤退後基輔北部的一個小城 --- 伊爾平，該城 24 個移動基站大部被毀，手機通訊完全中斷。2 天后，在確認安全之後，烏克蘭通信公司的工程師來到伊爾平。他們在城市邊緣借助光纖和一個電源線完好的基站，將星鏈天線和接收盒安裝了上去並接上了一個發電機。幾個小時之後，小城的通信就得到恢復。

很多情景下，由於電纜 / 光纜損壞，一條十公里的路上一連串村莊通信中斷，但是只需一台星鏈終端，通信就全部恢復。星鏈的網速雖然無法達到光纖水準，但已經可以保證基本語音和資料傳輸。

對人類來說，戰爭是異常殘酷的災難，同時也是科技發展的催化劑和科技應用最耀眼的舞臺之一，這場戰爭看起來仍會持續一段時間，但是 LEO 衛星通信卻和戰場上的其他一些裝備一樣收穫到了巨大的成功，其在軍事上的作用可能會引起近地軌道新一輪的軍備競賽。在民用領域，LEO 星鏈系統的便捷部署，抗干擾和可靠性，可以將數位世界的觸手延伸到災區，偏遠地區，為解決救助災民，解決貧困，以及科學考察等各種應用提供幫助。 