

新太空產業供應鏈安全

許智翔、周若敏

中共政軍與作戰概念研究所

壹、前言

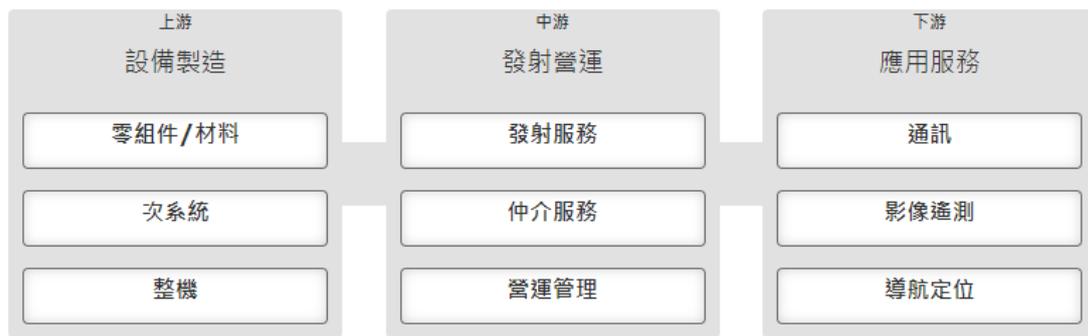
在當前大國競爭的國際環境下，不論美國、中國、還是歐盟等主要強權，都將關鍵產業供應鏈安全之重要性，置於國家安全層級。各國對供應鏈安全的重視，更在 COVID-19 全球疫情及 2022 年爆發的烏俄戰爭影響下只增不減。其中，因近年「新太空」（New Space）時代的技術發展，加上太空科技高度軍民兩用（dual-use）特性影響下，各國競相投入相關技術發展、儼然成為新的太空競賽，使太空產業供應鏈的安全，成為不可迴避之關鍵國安項目。

貳、太空供應鏈因「新太空」發展得到高度重視

近年由「新太空」商業領域的蓬勃發展，與包含美中在內的大國競爭領域延續至太空等因素，使太空產業創造巨大產值。根據摩根史坦利（Morgan Stanley）2020 年報告顯示，全球太空產業在 2040 年的規模預估將突破 1 兆美元，其中短中期最大營收來自衛星寬頻網路服務，預期在全球太空經濟成長規模中佔 50% 至 70% 比重，而發射提供寬頻網路服務的低軌衛星，將成為太空產業中最大的商業項目。¹

由此龐大經濟利益，不難想像各國對其供應鏈的重視程度。整體而言，當前「新太空」產業主要分為：「衛星製造」、「發射服務」、「地面設備」、「衛星服務」等四領域。而其供應鏈分工，則由製造端開始、牽扯層面甚廣，可進一步拆解為上 / 中 / 下游三個層次：分別為「設備製造」、「發射營運」、「應用服務」等。而前述各項，可再分三種次項目（如附圖）。

¹ “Space: Investing in the Final Frontier,” *Morgan Stanley*, July 24, 2020, <https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>.



附圖：太空供應鏈簡要分類。

資料來源：〈太空衛星科技產業鏈簡介〉，《產業價值鏈資訊平台》，
<https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=4100>

目前全球衛星產業以衛星服務及地面設備為主，其供應鏈包含衛星製造、衛星服務、衛星發射與地面設備等四大次產業領域。依照美國 Satellite Industry Association 統計，單是 2020 年，全球衛星產業產值就已達約 2,710 億美元，其中以地面設備占整體產值的 50%、其次為衛星服務為 44%、衛星製造 4%、衛星發射 2%。²

值得注意的是，太空供應鏈之議題、並非近年出現之全新領域，而是隨產業與科技變化、及地緣政治環境變動，使其內涵有所不同。

一、「新太空」發展使太空供應鏈呈現不同面貌

如回顧太空領域近年的發展，在美國太空總署 (NASA) 2010 年結束「星座計畫」(Constellation program)、2011 年結束太空梭 (Space Shuttle) 計畫後，³美國注意到不論載人或無人太空飛行的次數，並不足以維持工業基礎生存，加上經濟危機的爆發，因而需要新的管理方式以增加太空工業韌性，強化創新、競爭力與安全性等各方面能力。

4

² “SIA’s State of the Satellite Industry — Global Data from 2020”, *SATNEWS*, July 20, 2021, <https://news.satnews.com/2021/07/20/sias-state-of-the-satellite-industry-global-data-from-2020/>

³ 其計畫正式名稱為「太空運輸系統」(Space Transportation System)。

⁴ “NASA Supply Chain Challenge: Maintaining the Vitality of its Space Industrial Base,” *U.S. Resilience Project*, 2012, https://usresilienceproject.org/wp-content/uploads/2014/09/pdf-USRP_NASA_CS_030512.pdf.

而近年，太空產業鏈安全的關注焦點，則因「新太空」產業的蓬勃發展而有所不同。「新太空」一詞目前並無公認的定義，然多指目前太空領域的發展，已由過往政府與軍方主導的模式、逐漸轉移到私部門（private sector）的創新技術發展，後者隨技術進步與成本降低，能自行研發生產衛星及火箭，並提供發射服務。

民間新創公司藉其靈活度與效率，快速發展太空技術，並可能進一步朝深太空（deep space）探索推進，而新創帶來的機會，也將機會帶往開發中國家。⁵其中馬斯克（Elon Musk）的新創企業「Space X」就是一例：「Space X」不僅提供衛星發射服務、也推出「星鏈」（Starlink）計畫，透過大量小型低軌（low Earth orbit, LEO）衛星群形成龐大星系、提供能覆蓋全球的高速網路服務。

「新太空」時代產業有下列特性值得注意：（一）需持續提供大量、廉價的零組件，供其快速生產衛星；（二）LEO 軌道較低、運作環境不若高軌嚴苛，因此製造商傾向避免使用抗輻射電子設備等系統，⁶零組件也偏好使用商規、甚至汽車等級，非傳統高價、複雜、費時的「太空規」產品，以降低成本；（三）新科技如積層製造（additive manufacturing，俗稱 3D 列印）及數位技術，可進一步加快零組件設計與生產。⁷儘管「新太空」LEO 衛星可能壽命較短，然廉價、可快速大量製造的系統可彌補此類問題，更使「新太空」時代的供應鏈，與傳統軍用、商用大型衛星「間歇式」訂單下的樣態截然不同。

值得注意的是，當前的太空能力與技術發展，事實上也可以在其他產業的供應鏈服務中發揮關鍵作用，如衛星定位、導航與定時

⁵ Ally J. Levine, "New Space," *Reuters Graphics*, June 27, 2019, <https://graphics.reuters.com/SPACE-EXPLORATION-NEW-SPACE/0100B03R062/index.html>.

⁶ Jeff Foust, "Space Industry Feels Varying Effects of Supply Chain Disruptions," *Space News*, November 14, 2021, <https://spacenews.com/space-industry-feels-varying-effects-of-supply-chain-disruptions/>.

⁷ Jeff Foust, "Supply Chain Challenges Also Present Opportunities for the Space Industry," *Space News*, May 25, 2022, <https://spacenews.com/supply-chain-challenges-also-present-opportunities-for-the-space-industry/>.

(PNT) 服務，可協助將交通及物流管理之最佳化，地球觀測影像可提供圖資，用以評估地面狀況、氣象資訊，並用於監測空污與二氧化碳排放等，更可在緊急狀況下發揮關鍵作用、如提供通訊手段等。⁸可說太空產業供應鏈的安全，在未來是確保其他供應鏈安全的要素之一。

二、公私部門合作使「新太空」產業鏈與國安高度連結

「新太空」的高速發展，讓國家機構如美國太空總署與私部門的合作越來越密切，不僅多年來委託「Space X」協助發射衛星、運送物資及太空人到國際太空站(ISS)上，更在 2021 年選定該公司研發「阿緹米絲」計畫 (Artemis program) 的登月小艇後，⁹進一步在 2022 年 3 月 24 日、宣布將為其他太空商業公司提供機會參與研發登月小艇。

10

事實上，對「新太空」能力抱持高度興趣的，也包含軍方。數量龐大的小型 LEO 衛星，因技術發展具高感測能力、較低的傳輸延遲、低成本、能快速補充以及其星系可覆蓋全球各地等特性，因而得到美軍關注。不僅美國國防高等研究計畫署 (DARPA) 在 2018 年時，就已啟動計畫研究 LEO 衛星軍事運用，未來可能用於偵測極音速武器與彈道飛彈的系統，也可能包含小型 LEO 衛星，美軍甚至考慮在不影響安全情況下、租用商用服務。¹¹

整體而言，「新太空」在軍事運用上有下列優點：(一) 研發時間短，(二) 可快速更新替代與升級，(三) 增加訓練機會與藉此改

⁸ “Smart Supply Chain,” *ESA Space Solutions*, April 15, 2020, <https://business.esa.int/funding/invitation-to-tender/smart-supply-chain>.

⁹ Chrisitan Davenort, “NASA Looks to Private Sector for Successor to the International Space Station,” *Wilson Center*, January 21, 2022, <https://www.wilsoncenter.org/article/nasa-looks-private-sector-successor-international-space-station>.

¹⁰ “NASA Provides Update to Astronaut Moon Lander Plans Under Artemis,” *NASA*, March 24, 2022, <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-provides-update-to-astronaut-moon-lander-plans-under-artemis>.

¹¹ Elizabeth Howell, “US Military May Start Moving towards Launching Fleets of Tiny Satellites,” *Space.com*, April 1, 2020, <https://www.space.com/us-military-small-satellite-cubesat-constellations.html>.

善設計、研發與營運流程，（四）價廉，（五）規模化生產，（六）可編隊飛行並整合不同衛星與多種感測器運用，（七）星系可強化重訪率，（八）整合部隊戰術運用，（九）大型星系具備高韌性，（十）可迅速應急反應不同狀況，（十一）難以偵測，（十二）可威脅或近距檢測敵太空資產，13.可直接運用商業系統。¹²

2022年2月24日爆發的烏俄戰爭，就展現了「新太空」能力在未來戰場的重要角色，如「Starlink」成為烏克蘭在作戰通聯、無人機運用，以及宣傳戰上的重要工具。¹³

三、「新太空」供應鏈的挑戰

目前在太空產業供應鏈上，可注意到國際上對其安全的關注趨勢集中在網路、資通與服務供應鏈安全，以及去除「紅色供應鏈」等項目上，美國、歐盟、北約等不同國家與組織均陸續推出各種國際規範；其中更是陸續公布了各種垂直領域資安規範，以評估並要求相關網通產品的安全等級，以及對供應商產品開發生命週期進行安全稽核。¹⁴

此外，近年國際地緣政治環境變化，則是當前另一重要挑戰因素。首先，2020年爆發的COVID-19大流行，同樣對太空產業產生影響；全球原物料、零組件及晶片短缺的上游問題，導致了中下游活動停滯。供應鏈中斷造成的影響，將可能需數年時間解決。

疫情期間，電子產品需求激增加劇晶片短缺問題，亦對太空產業造成衝擊。此種情況下，美國波音(Boeing)、洛克希德馬丁(Lockheed Martin)和其他擁有衛星業務的公司，傾向以專門半導體代工廠，與小型工廠合作確保貨源、應對衝擊。而拜登政府亦在對中緊張貿易局

¹² Mariel Borowitz, "The Military Use of Small Satellites in Orbit," *Institut français des relations internationales*, March 4, 2022, https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/m._borowitz_military_use_small_satellites_in_orbit_03.2022.pdf.

¹³ 許智翔，〈商業太空能力在烏俄戰爭的戰場應用〉，《國防安全即時評析》，2022年5月11日，<https://indsr.org.tw/focus?uid=11&pid=321&typeid=>。

¹⁴ 呂宜諠，〈專家傳真—台灣衛星產業的國際布局〉，《工商時報》，2021年9月24日，<https://wantrich.chinatimes.com/news/20210924900054-420101>。

勢中，建議國會投資至少 500 億美元，推進半導體製造與研發以增加供應，藉多樣化與強大的供應源頭，作為生產和部署數百顆小型衛星星座計劃的根本支持。

美國太空軍太空發展局（The Space Development Agency, SDA）局長 Derek Tournear 認為，軍事衛星依靠供應鏈製造時，需嚴格限制關鍵零組件，都要由美國廠商在本土生產。SDA 與洛克希德馬丁、約克太空系統（York Space Systems）以及雷神（Raytheon）等大型國防公司皆已簽約生產，以防衛星在上游遭滲透，將可能使其無法運作或成為反間工具。此外，所有供應商衛星必須具備互通性、可交換資料，避免陷入只能依賴特定廠商之「供應商鎖定」（vendor lock-in）窘況。

15

相較於國防公司，「新太空」的新創公司則因商業考量仍需重視成本控制，不盡然如國防產業般，考量在美國本土生產以確保安全性，然因為太空能力的高度軍民兩用特性，使得紅色供應鏈仍然可能是未來的重要考量因素。這些議題烏俄戰爭爆發後，則因地緣政治環境變化，變得更為急迫。

參、地緣政治環境變化對太空供應鏈安全之影響

一、相關政策的評估與規劃

目前就生產製造層面而言，將需改善供應鏈管理、使物流及管理者能應對環境變化，並需平衡供應，重新將冗餘庫存納入系統，以避免供應中斷；而就太空中的系統，如國際太空站（International Space Station, ISS）等而言，則不僅在製造時必須確保產品按時交付，更須確保運用載具的可用性及維護工作。¹⁶

¹⁵ Rachel S. Cohen, “Pentagon Looks to Stabilize Space Supply Chain,” *Air Force Magazine*, April 17, 2020, <https://www.airforcemag.com/pentagon-looks-to-stabilize-space-supply-chain/>.

¹⁶ “Supply Chain Management in the Aerospace Industry,” *WhatIsSixSigma*, last Retrieved: July 5, 2022, Supply Chain Management in the Aerospace Industry.

而就宏觀層面而言，太空供應鏈安全反映了軍事與國安層面韌性。美國國防部認為強化太空韌性方法有三：擴散衛星星系、快速重建補充星系及報復性手段。其中，就快速建造衛星、補充星系而言，美軍認為目前的國家航太產業與供應鏈仍不符需求；由於生產規範的嚴格與精密，導致太空用的精密電子產品需要長時間生產、並導致庫存備品不足。由於面臨類似的問題，因此前述「新太空」企業採取之降低成本，及加速研發生產之作為，未來或許也可得到軍方部門採用。

而前述問題除需先進製造與自動化技術輔助外，美國國防部亦可採取措施，以激勵航太產業與國防工業，包含研發前瞻性技術，或認證美國及盟國的其他太空港，以擴增現有發射能力等方式協助。此外，美國國防部更在行政程序上，透過進一步創造程序，以鼓勵加速採購、增加靈活性，以及激勵措施，協助私部門加強相關能力。¹⁷

在美國之外，其他加入太空發展競合的國家，也正強化太空供應鏈，其中澳洲即為一例。長年以來，澳洲在太空供應鏈中佔有相當地位，如早已具備整合太空數據到通訊、地球觀測與導航服務（GNSS）的能力，及微／奈米衛星、衛星次系統製造能力，更具部分運載火箭設計能力。¹⁸而由莫里森（Scott Morrison）領導的前政府，更將太空產業列為六大國家製造業優先項目（Six National Manufacturing Priorities）之一，並提出如「月球到火星倡議」（Moon to Mars initiative）等規劃，強化本地以及全球太空供應鏈之參與。其中，後者以協助美國的月球與火星計畫為主要目的，¹⁹放眼進一步美國太空計畫，以扶植、提升澳洲本身的太空產業規模。

¹⁷ Chris Bassler and Tate Nurkin, “Op-ed | A Comprehensive Triad for Space Resilience – More than just Numbers,” *Space News*, May 9, 2022, . <https://spacenews.com/op-ed-a-comprehensive-triad-for-space-resilience-more-than-just-numbers/>

¹⁸ “Australian Space Industry Capability,” *ACIL ALLEN Consulting*, 2017, https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-03/australian_space_industry_capability_-_a_review.pdf.

¹⁹ “New Frontier for Space Supply Chains,” *Department of Industry, Science and Resources of Australian Government*, August 27, 2020, <https://www.industry.gov.au/news-media/new-frontier-for-space-supply-chains>.

二、烏俄戰爭進一步凸顯太空產業供應鏈安全的重要

烏俄戰爭的爆發，進一步凸顯供應鏈安全重要性。就太空層面而言，長期以來呈現全球高度互賴，因而受到戰事的嚴重影響。其中，西方對俄國進行的制裁，導致英國商業太空公司「OneWeb」無法再使用「聯盟號」(Soyuz)火箭發射服務，而需委由最大競爭對手「SpaceX」代為發射衛星，²⁰成為商業上的不利因素。此外，俄國也揚言退出ISS，也可能使西方無法再使用「聯盟號」火箭運送人力物資前往ISS。²¹此外，由於發射服務在太空產業中，是供應鏈的關鍵一環，因此儘管能透過「新太空」商業公司進行，仍有國家嘗試建立自身能力，如英國預計在2022年7月發射「普羅米修斯-2」(Prometheus-2)立方衛星，是其首次進行本土衛星發射。²²

整體而言，烏俄戰爭迫使航太產業必須限縮其供應鏈，在嘗試避開中國零組件的同時，更需進一步釐清供應鏈與俄羅斯的連結；而網路安全需求，也更進一步上升。²³

三、台灣在國際太空供應鏈中的機會與挑戰

目前我國衛星產業，仍以零組件的生產與供應為主，並在主要的地面設備領域中以製造組裝、零組件供應的業者較多（如附表）。近年來，衛星業者在全球展開大規模商業開發，如「Starlink」目標就設定為三年內用戶數達百萬，因此需要大量用戶終端支援服務，因此相關的地面設備採購數量也將成正比成長，各種零組件如相位陣列天線等需求大增，須尋求供應鏈協助壓低成本。

²⁰ Akash Sriram and Steve Gorman, "OneWeb to Launch Satellites with Rival SpaceX after Suspending Ties with Russian Agency," *Reuters*, March 22, 2022, <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/oneweb-launch-satellites-with-rival-spacex-after-suspending-ties-with-russian-2022-03-21/>.

²¹ Mike Wall, "Will Russia Leave the International Space Station? Take Roscosmos Chief's Words with a Grain of Salt," *Space.com*, May 6, 2022, <https://www.space.com/russia-leave-space-station-rogozin-threats>.

²² "First UK Satellite Launch with Prometheus-2 set for Summer 2022," *UK Defence News*, May 10, 2022, <https://www.ukdefencenews.co.uk/2022/05/first-uk-satellite-launch-with-prometheus-2-set-for-summer-2022/>.

²³ Jason Rainbow, "Satellite Supply Chains Coming under Increasing Scrutiny," *Space News*, March 22, 2022, <https://spacenews.com/satellite-supply-chains-coming-under-increasing-scrutiny/>

台灣目前雖已有多家科技廠商投入衛星產業、成為供應鏈一環，惟仍以提供零附件為主，不僅處於供應鏈的較末端，難以形成規模經濟，也仍缺乏系統整合、甚至量產製造衛星的能力。

附表：台灣地面設備製造商

地面設備造製造(零組件)	地面設備造製造(零組件)
印刷電路：台光電、華通、騰輝、昇貿、欣復興 碟型天線：中衛、也翔、鍵吉 陣列天線：台陽、芳興 射頻元件：昇達科、穩懋 低訊降頻器：啟碁、百一、台揚、芳興	數位視訊轉換器：泰金寶、和碩、百一、兆赫 路由器、數據機：建漢、啟碁

資料來源：周若敏整理自公開資料。

此外，隨著未來大量低軌衛星將搭載衛星間鏈路（Intersatellite Link）能力，台灣若希望取得進入全球衛星通訊零組件供應鏈中的機會，則必須先通過國際特殊製程認證，例如「國際航太和國防工業供應商認證體系」（National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program, NADCAP），²⁴目前我國取得認證的廠商為數不多，可能仍需由台灣政府強化輔導、協助民間業者，以加速認證申請。

值得注意的是，由於「新太空」廠商不再偏好傳統的精密高價「太空規」組件與子系統，未來需高度注意美國為首的西方國家，如何評估商業現貨、甚至商規組件的太空運用，如規格標準化，採用商用現貨（COTS）的奈米衛星 / 立方衛星（NanoSat/CubeSats）即為一例；²⁵而未來觀察美軍是否會在進一步強化衛星研發及生產速度時，逐漸

²⁴ 〈航空 NADCAP 特殊製程認證介紹〉，《金屬工業研究發展中心》，2017 年 8 月 18 日，<https://www.mirdc.org.tw/FileDownload/Proseminar/201782291319838.pdf>。

²⁵ David Vergun, “Nanosatellites Could Play Pivotal Role in Defense Against Enemy Missiles,” *U.S. Department of Defense*, July 12, 2021, <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2685840/nanosatellites-could-play-pivotal-role-in-defense-against-enemy-missiles/>.

放寬、採用「安全供應鏈」的盟國產品，也是台灣進一步參與國際太空供應鏈所需高度注意的關鍵項目。

肆、結語

新太空時代的私部門參與，為太空科技與產業在未來人類生活上的運用、乃至於國家安全層面上帶來更多可能性，尤其在後者的層面上，更是攸關國家生存，及戰爭勝敗的重要影響因素之一。太空產業的供應鏈安全因此受到重視，而由於地緣政治環境的急遽變化，使得友盟國家如美國等，在未來進一步發展太空計畫時，其安全產業鏈的需求，將必然成為台灣在此方面進一步能推動技術與產業發展的重大利基。然而相關民間技術能力如系統整合、甚至較高階的衛星製造代工等能力培養，以及對相關產業與市場趨勢分析的投注，仍需及早投入，才能真正將台灣長久以來的太空夢加以實現。

本文作者許智翔為德國杜賓根大學哲學學院博士，現為國防安全研究院中共政軍及作戰概念研究所助理研究員。他的研究領域為德國與歐美軍事、解放軍研究、戰史等。

本文作者周若敏為淡江大學戰略所碩士，現為國防安全研究院中共政軍及作戰概念研究所政策分析員。她的研究領域為太空發展、氣候變遷與國防。