

編輯報告

2022年2月24日俄國發動對烏克蘭的入侵行動。戰爭影響所及，不僅震動了世界格局，更對甫從新冠疫情（COVID-19）衝擊下逐漸復甦的全球供應鏈（supply chain）造成新一波的打擊。俄烏戰爭是近年來國際地緣政治衝突劇烈化的結果；它亦加劇了美中貿易戰與科技戰形成的國際對抗。連鎖反應下，世界各國紛紛尋求建立多元化的、可替代的以及信賴的供應鏈來源，以維護自身利益。本次特刊的重點，即關注俄烏戰爭背景下特定產業的現況以及部分國家在相關議題上的因應措施。

本次特刊對「供應鏈」的定義，係根據ISO28000國際標準所稱的「資源與過程相連結的組合，起始於原物料開採，並延伸透過產品或服務之提供，跨越輸送模式至最終使用者」。而供應鏈安全則指「防止因故意、未經許可之行為，導致該供應鏈或經該供應鏈所造成之傷害或損壞。」在上述概念下，各篇作者依各自主題開展討論。

本期特刊首篇為舒孝煌的〈美國關鍵科技與國防供應鏈安全〉。雖然全文以美國為題，但該文分析美國為強化整體國家供應鏈安全乃至國家安全所涉及之項目、範圍廣泛，幾乎涵蓋其他作者的主題。此外，美國的作為，也是影響全球供應鏈安全的重要因素。本篇對於讀者閱讀後續各章有提綱挈領的作用。

在首篇之後，本特刊接續討論俄烏戰爭爆發後國際討論最為熱烈的幾個焦點，包括半導體、資安以及太空產業等議題。首先是林佳宜的〈全球半導體供應鏈現況與俄烏戰爭下的挑戰〉，探討主題為近年來造就台灣矽盾的半導體晶片。該文重點在於俄烏戰爭下全球半導體的供應鏈現況，亦指出其安全危機之所在與歐美大國因應的政策方向。第三章吳宗翰的〈俄烏戰爭下的軟體供應鏈安全〉一文則從資訊安全的角度討論供應鏈。作者指出，軟體不同於一般產品，其上下游

界線模糊不明；一旦軟體開發周期任一環節遭到入侵，整體「鏈」都存在安全風險。本文分析各國政府在俄烏戰爭背景下對相關議題做出的因應措施與趨勢研判。接著，第四章是許智翔與周若敏合著的〈新太空產業供應鏈安全〉。該文聚焦近年由私部門領軍的「新太空」(New Space) 技術發展，以及太空科技高度軍民兩用 (dual-use) 特性下各國競相投入相關技術發展導致的契機與挑戰。

特刊接下來分別討論能源以及無人機等個別產業的議題。各篇作者亦有各自關注的案例。在第五章，王彥麟的〈烏克蘭危機下的東北亞傳統能源供應鏈〉分析戰爭爆發後遭受西方制裁的俄國與中日韓三國個別在石油與天然氣議題上的立場與作為。作者指出，各國的行動差異反映出自身在整體能源供應鏈上的位置。此外，由劉翎端撰寫的第六章〈四方安全對話之乾淨能源供應鏈安全〉關注四方會談 (QUAD) 國家在打造綠氫和綠氨等「乾淨能源供應鏈」上的合作與展望。

本特刊最後一章是陳柏宏的〈台灣無人機供應鏈現況與安全盤點〉。該文不僅鉅細靡遺的拆解無人機構造，勾勒出我國廠商清單，更是切中要領的點出我國的優勢與面對的挑戰。作者肯定台灣所具備的潛力，並期待適當時機配合，迎接我國無人機的蓬勃生機。

美國關鍵科技與國防供應鏈安全

舒孝煌

中共政軍及作戰概念研究所

壹、前言

美國國防供應鏈近年來遭受一系列強大挑戰，除美中競爭外，新冠肺炎疫情全球大流行，及俄烏戰爭爆發，不但打擊全球經濟、糧食及能源供應，也影響美國維持軍事能力所必需的武器裝備研發與採購。為強化美國國防供應鏈安全，拜登政府已要求美國政府各部門對供應鏈進行全面審查，並提出具體措施，白宮更列出一系列清單，以因應由於環境與情勢變遷，對國防關鍵技術及相關供應鏈所帶來的挑戰。

貳、美國國防部強化供應鏈安全

2018 年川普政府時期公布一份《評估和加強製造和國防工業基礎和供應鏈彈性》(*Assessing And-Strengthening The Manufacturing And Defense Industrial Base And Supply Chain Resiliency*) 報告，指出「健康的國防工業基礎是美國實力和國家安全創新基地的關鍵要素，軍隊應對緊急情況的能力取決於美國生產零件及系統的能力、健康及安全的供應鏈，以及熟練的美國勞動力。」

ISO 28000 供應鏈安全管理系統，將供應鏈定義為「一組相互聯繫的資源和過程，以原材料的採購為起點，經各種運輸方式將產品或服務交付最終用戶。」¹蘭德公司 (RAND) 的定義是從確定物資需求開始，到將物資送到最終使用客戶的所有活動。²由於全球化及國家間相互依賴度增加，以及工業化與資訊化普及，一項工業產品從設計、

¹ 〈 ISO 28000 - 供應鏈安全管理系統 〉，〈 台灣檢驗科技 〉，
<https://twap.sgs.com/Trainsys/iso28000/iso28000.html>.

² “Integrating the Department of Defense Supply Chain,” RAND, 2012,
https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR1274.html.

零附件製造、組裝、完工到發貨，有可能分散各地，而由於不同國家可能享有生產製造成本或是技術上的競爭優勢，供應鏈因而分散到其他國家。

即使是國防裝備亦然。美國國防工業基地包括全球數十萬家技術、製造與服務廠商組成，負責設計、發展與生產國防部保護國家安全所需的關鍵系統、平台與技術。以飛機為例，機上零組件中，發動機雖為美國公司生產，但其機匣、渦輪葉片等金屬部件可能來自亞洲或歐洲；機體複材由設在國外的分公司製造；航電系統的晶片來自韓國或台灣；其他次系統如變速箱、機體艙門、連接器等等上萬個組件，則由不同分包商產製，因此國防供應鏈十分多樣化。若在平時，全球供應鏈可依市場機制正常運作，然而當全球秩序遭到重大疫情、戰爭，乃至強權競爭，則市場機制將受到嚴厲考驗。

目前供應鏈安全已成拜登政府及國防部日益關注的問題，2021年2月，拜登下令對美國供應鏈進行全面審查，並要求國防部在2022年提出初步調查結果，2022年國防預算也提到美國供應鏈安全，特別是「微電子製造業極為脆弱及受到威脅」，並要求25億美元資金解決武器系統及商用現貨技術晶片的能力及容量，包括從伺服器到智慧手機。這項命令涵蓋半導體、先進（高容量）電池、關鍵礦物和材料、藥物和原料等四個有短期短缺問題之優先部門，以及資通訊、能源、運輸及國防等其他6個供應鏈。

目前全球70%的晶片在亞洲製造，2021年1月，國防部宣布微軟及高通透過「國家安全技術加速器」（National Security Technology Accelerator, NSTXL）執行的「快速先進微電子商用原型」（Rapid Advanced Microelectronics Prototypes-Commercial, RAMP-C）已被選中，使國防應用的晶片設計多樣化，並在美國設立的代工廠生產。RAMP-C的目標是使國防部能藉設在美國的供應來源，以及兩用積體

電路，以確保獲得領先的半導體技術，這將能支持美國國防部的人工智慧、電子戰、雷達、自主運用等提供複雜的演算法，促進在國防部硬體設備中使用整合的網路安全、加密及身分驗證，及利用 5G 技術連結網路所需的複雜計算能力。

新冠疫情大流行危機，也暴露全球供應鏈的風險及脆弱性，隔離、旅遊禁令、工廠關閉，顯示透過地理集中實現規模經濟的風險。對供應鏈的擔憂並非新鮮事，半導體、稀土元素等對國防及國家安全有直接影響的領域已備受關注，然而持續危機暴露傳統國家安全以外領域的脆弱程度，新冠疫情大流行，使供應鏈多元化變得更加緊迫。華府政策制定者認為，供應鏈重組對保護美國國家及經濟安全至關重要，立法者也將製造業回流視為引入必要彈性的關鍵，但與中國脫鉤及製造業回流將面臨極大障礙。³

2021 年 7 月時，一個國會兩黨工作小組發布一份《國防關鍵供應鏈》報告，⁴指出半導體等微電子產品，以及對製造電子產品和工業零件至關重要的稀土元素、醫療用品和其他重要產品所面臨的風險。該報告提出了六項支持國防供應鏈的立法行動，國防部的新工作組將直接解決其中一些問題，包括圍繞風險評估和提高可見性的行動。⁵

為強化供應鏈安全，美國國防部在 2021 年 8 月成立一個新工作組，致力應付供應鏈彈性及持續存在的挑戰，包括降低風險，以利在關鍵供應鏈建立更大彈性，並提供一項機制以制定框架與戰略，改變國防部推動業務方式，對國防供應鏈提供更佳保護。該工作組由副助

³ “Securing America’s Critical Supply Chains,” *CNAS*, <https://www.cnas.org/securing-americas-critical-supply-chains>.

⁴ “REPORT OF THE DEFENSE CRITICAL SUPPLY CHAIN TASK FORCE,” *US House Armed Services Committee*, July 22, 2021, https://armedservices.house.gov/_cache/files/e/5/e5b9a98f-9923-47f6-a5b5-ccf77ebbb441/7E26814EA08F7F701B16D4C5FA37F043.defense-critical-supply-chain-task-force-report.pdf.

⁵ “Congressional Report Could Be Major Step To Strengthen US Defense Supply Chain,” *Breaking Defense*, August 4, https://breakingdefense.com/2021/08/reports-propose-fixes-to-us-defense-supply-chain-vulnerabilities/?__hstc=43953530.8961558e649cf4311ca6cb7327bdd95a.1656837852938.1656837852938.1656850558158.2&__hssc=43953530.1.1656850558158&__hsfp=1561426975.

理部長領導。⁶

國防部也在今年（2022）2月公布一分報告《保護關鍵國防供應鏈》（*Securing Defense-Critical Supply Chains*），呼籲對美國國防工業基地在內的關鍵部門供應鏈進行全面審查。這項報告對多項重點及戰略領域提出一系列具體建議，該報告討論目前航太及國防產業日益複雜與全球化所面臨的風險，一家美國國防航太廠商平均約依賴200家一線供應商，以及12,000家二線及三線供應商，新冠疫情大流行揭示此種結構所面臨的巨大脆弱性，因供應鏈短缺及延誤，使許多產業面臨滿足企業及政府需要的巨大壓力。⁷

這項報告提出最緊迫威脅，包括：⁸

致命能力：現有及發展中飛彈系統能力，包括極音速武器及定向能武器。

儲能及電池：大容量電池，特別是鋰電池。

鑄造及鍛造：包括金屬與複合材料透過高強度工藝，成為關鍵零附件與製造工具。

微電子：包括傳統及先進的微電子技術。

支持這些關鍵重點領域的戰略推動力包括高水準勞動力、網路態勢、製造、小型企業。這些因素的脆弱性或差距，會在作戰及戰略層面產生風險，解決其所面臨的挑戰至關重要。該報告的建議包括：建設國內生產能力；與合作夥伴及盟國合作；減少國外所有權、控制權及影響力，並保護市場；進行數據分析；確定總需求；制定通用標準；更新採購政策。

⁶ “DoD Forms New Task Force To Shore Up Supply Chain,” *Breaking Defense*, September 7, 2021, <https://breakingdefense.com/2021/09/dod-forms-new-task-force-to-shore-up-supply-chain/>.

⁷ “The Department of Defense’s report on Securing Defense-Critical Supply Chains,” *Hogan Lovells*, April 12, 2022, <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=7fcfe0f6-efad-4416-a675-1a876ffcd67c>.

⁸ “New Report on Strengthening Defense Critical Supply Chains,” *Defense Acquisition University*, February 24, 2022, <https://www.dau.edu/training/career-development/logistics/blog/New-Report%20on%20Strengthening-Defense-Critical-Supply-Chains>.

參、白宮列舉國家安全關鍵及新興技術清單

除國防部外，為達成 2021 年《國家安全戰略暫定指導方針》（*Interim National Security Strategic Guidance*）定義的三個國家安全目標，包括：保護美國人民的安全，擴大經濟繁榮和機會，以及實現和捍衛民主價值觀，白宮在 2022 年 2 月也公布與美國國家安全相關的關鍵與新興技術（Critical and Emerging Technologies, CET），這將用於推動美國未來技術競爭力與美國國家安全戰略。該報告認為，以下關鍵和新興技術領域對美國的國家安全特別重要，而在關鍵及新興技術子領域，又包括一組更詳細描述其涵蓋範圍的子領域：⁹

先進計算：包括超級計算、邊緣計算、雲計算、數據存儲、計算架構、數據處理及分析技術。

先進工程材料：包括材料設計和材料基因組學、具有新特性的材料、對現有特性進行重大改進的材料、材料特性表徵和生命週期評估。

先進的燃氣渦輪發動機技術：包括航空、航海和工業開發和生產技術、全權數位發動機控制、熱段製造和相關技術。

先進製造：包括積層製造、清潔、可持續製造、智慧製造、奈米製造。

先進網路化感測器和特徵管理：有效載荷、感測器和儀器、感測器處理和數據融合、自適應光學、地球遙感、特徵管理、核材料檢測和分類、化學武器檢測和分類、生物武器檢測和分類、新興病原體檢測和分類、交通部門感測、安全部門感測、衛生部門感測、能源部門感測、建築部門感測、環境部門感測。

先進核能技術：包括核能系統、核聚變、太空核動力及推進系統。

人工智慧：機器學習、深度學習、強化學習、感官感知和識別、

⁹ “Critical and Emerging Technologies List Update,” *Executive Office of the President of the U.S.*, February 2022, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf>.

下一代人工智慧、規劃、推理和決策、安全的人工智慧。

自主系統和機器人：包括地面、空中、海洋、太空。

生物技術：包括核酸和蛋白質合成、基因組和蛋白質工程，包括設計工具、多組學和其他生物計量學、生物信息學、預測建模和功能表型分析工具、多細胞系統工程、病毒和病毒遞送系統工程、生物製造和生物加工技術。

通信和網路技術：射頻（RF）和混合訊號電路、天線、濾波器和組件、頻譜管理技術、下一代無線網路，包括 5G 和 6G、光鏈路和光纖技術、陸地及海底電纜、基於衛星的通訊、硬體、韌體和軟體、通訊和網路安全、網狀網路 / 基礎設施獨立通訊技術。

定向能：包括雷射、高功率微波、粒子束。

金融科技：分散式賬務技術、數位資產、數位支付技術、數位身份基礎設施。

人機界面：增強實境、虛擬實境、腦機界面、人機協作。

極超音速：包括推進、空氣動力學和控制、材料、偵測、追蹤和分類、防禦。

量子資訊技術：量子計算、量子儀器的材料、同位素和製造技術、後量子密碼學、量子感測、量子網路。

可再生能源產生和儲存：可再生能源發電、可再生和可持續燃料、儲能、電動和混合動力發動機、電池、電網整合技術、能效技術。

半導體和微電子：設計和電子設計自動化工具、製造工藝技術和製造設備、超越互補金屬氧化物半導體（CMOS）技術、異構整合和先進封裝、用於人工智慧、自然和惡劣輻射環境、射頻和光學元件、大功率儀器和其他關鍵應用、用於先進微電子的新型材料、用於電源管理、分配和傳輸的寬能隙和超寬能隙技術。

太空技術和系統：在軌服務、組裝和製造、商業化衛星運輸、低

成本運載火箭、用於局部和廣區域成像的感測器、太空推進、彈性定位、導航和定時（PNT）、低溫流體管理、重返、下降和著陸。

這份報告是對美國國家安全具潛在意義的先進技術列表，雖然不是一項「戰略」，也不能被解釋為是政策制定或資助的優先清單，但可對即將出爐的美國技術競爭力，以及國家安全戰略提供相關訊息，並與盟友及夥伴合作、推進及保持共享技術優勢、開發、設計、運用能為社會帶來確實利益，以及提出一項符合民主價值觀的清單、協助政府部門制定應對美國安全威脅的政府施政措施。

肆、美國國防供應鏈挑戰

目前美國國防供應鏈面臨的主要挑戰，包括新冠疫情全球大流行對供應鏈的影響、俄烏戰爭打亂武器供應、以及美中間的貿易及科技競爭：

一、COVID19 影響

由於新冠疫情肆虐，使美國國防生產線受到嚴重影響。由於工廠缺少零件以及工人生病而關閉。貝宜系統公司（BAE Systems）指出，新冠疫情使各行業密切關注供應鏈深度問題，包括運輸及半導體組件等，提供私部門對風險因素的瞭解，並採取緩解措施應對「可靠電子產品」等的挑戰。另外，雖然大型企業面臨關閉風險，中小企業則成為關鍵推動者，可以縮小此一差距，但智慧財產權卻成為挑戰，例如製造商在政府合約中主張智慧財產權，例如生產線已關閉，但仍在操作中的雷達、未來系統及平台等。國防部經常會保留老舊但仍在使用的武器裝備，在其壽期中常常無法保留足夠零附件，製造商要保留智財權，但國防部需要維持武器系統運作。¹⁰

疫情也衝擊長期以來將合約授予最低出價者的慣例，現在「最低

¹⁰ “Panel: Pandemic Shortages Forced Pentagon to Focus on Supply Chain,” *USNI News*, April 7, 2022, <https://news.usni.org/2022/04/07/panel-pandemic-shortages-forced-pentagon-to-focus-on-supply-chain>.

出價者」政策受到挑戰，因為沒有考慮合約的其他因素。疫情對供應鏈的衝擊，從 2021 年下半年來更加明顯，一方面中國勞工問題進一步暴露，而疫情也大大增加貨運成本，由於中國實行嚴格清零政策，導致許多貨物無法離開中國碼頭，而烏俄衝突導致油價上升，許多公司也開始審視中國供應鏈是否為最佳選項。這項趨勢並非自現在才開始，由於油價波動、運輸成本上升，許多公司嘗試縮短供應鏈，將生產線本地化。¹¹

二、烏克蘭戰爭的挑戰

由於美國大量供應烏克蘭武器，以在戰場對抗俄國人，使得萬一在其他區域發生衝突，例如北韓、伊朗等地，美國能否維持安全武器庫存問題引發關注。美國已提供約 7,000 枚標槍飛彈，佔美國庫存量的 1/3，另外也承諾提供肩射式刺針防空飛彈，約佔美國 1/4 的庫存量，但雷神公司表示，由於零件短缺，要到 2023 年才能提升產量。標槍飛彈及刺針飛彈近年產量一直受到限制。雖然俄羅斯入侵烏克蘭為國防產業增加收益提供大好機會，因為從華府到華沙的各國政府都準備增加國防開支，以應對俄羅斯挑戰。但國防產業也面臨挑戰，包括供應鏈及勞動力，以及其他國防產業所特有的挑戰。

目前國防部正與廠商合作，評估武器系統生產線狀況，並檢查每個生產流程及組件所面臨瓶頸。國防部也在進行一系列考量，以增加產量。5 月拜登政府提供烏克蘭的武器中沒有標槍及刺針飛彈，顯示國防部對維持庫存持審慎態度。另外美國也提供其他武器，從 2022 年 2 月至 5 月，美國空軍執行約 70 次任務，運送標槍、刺針飛彈、155 公厘砲彈、頭盔與其他必需品。由於武器需求持續提升，生產刺針飛彈的洛馬公司也正研究提升產能的方法。國防部正與雷神、洛馬、諾格、貝宜、波音及通用動力等廠商研究提升產能，但這仍有限制，

¹¹ 「揮別中國！供應鏈危機下『美國製造』越來越有吸引力」，《美國之音中文網》，2021 年 5 月 30 日，<https://www.voacantonese.com/a/6595203.html>。

例如近 20 年來，美國國防部並未採購任何新飛彈。制裁也使供應鏈面臨新困難，例如鈦是由俄國進口，使國防產業必需尋找新來源。¹²

三、美中科技戰影響

白宮在 2021 年 7 月公布之檢討報告《建立供應鏈韌性、振興美國製造業及促進廣泛成長》(*Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-Based Growth*)，認為美國在先進電池、關鍵礦物及材料、藥物及原料藥等三個關鍵供應鏈，存在過度依賴中國問題，預計今年公布的報告應也有類似結論，因此美中之間盤根錯結的供應鏈問題將進入盤整。

2021 年美國國會公布的報告，也建議美國應減少對對手的依賴。報告強調的問題包括稀土元素，是美國國防裝備關鍵零組件的重要組成部分，從電子元件、磁性材料、玻璃到雷射，也運用在許多工業過程中。報告認為，稀土是美國面臨最嚴重問題。稀土雖然並非稀缺，但中國在稀土元素的採購及加工有其優勢，美國並非沒有稀土元素礦藏，但其加工過程需使用有毒化學品加以分離，美國國內環境法規使此一過程更加繁瑣及昂貴，中國則將稀土元素視為戰略產業，因此願意承擔環境風險。若美國與澳洲、印度或一些歐洲國家合作開發，將能提供中國以外的替代品。

在微電子領域，國防部僅直接採購少量半導體，軍用半導體規格多與民用產品不同，且透過美國國內廠商，但半導體用於廣泛的國防及軍備技術，從商業現貨到武器平台與系統，過於集中也威脅美國微電子供應。關鍵零組件集中在少數領先國家手中，例如美國在晶片設計與銷售居於領先地位，台灣與韓國在製造處於領先地位，日、韓、台灣及馬來西亞在封裝上則處於領先地位，中國雖非微電子供應鏈的

¹² “Push to Arm Ukraine Putting Strain on US Weapons Stockpile,” *Defense News*, May 3, <https://www.defensenews.com/news/your-military/2022/05/03/push-to-arm-ukraine-putting-strain-on-us-weapons-stockpile/>.

問題，但若有任何影響台灣的重大事件，如天候、經濟、軍事等，都可能關閉世界上大部分的晶片製造能力。報告建議縮小晶片尺寸以獲得更佳性能，以及創建新晶片架構來增加資訊流量，透過國防先進研究計畫署，美國國防部其實走在科技發展最前端，只是缺乏量產規模，例如先進晶片雖可在武器中大量運用，但通常武器平台的服役時間比智慧手機更久。¹³

另外，兩黨小組也發現，中國也利用新冠疫情流行，針對美國國防及醫療保健供應鏈的漏洞，作為對付美國的武器。在民生物資方面，國會議員希望禁止中國製產品進入政府部門的販賣部，這項提議被納入 2023 年國防授權法案修正案中，不過該禁令只限於在軍事部門的商店，據估計，其中至少有一半是中國製造。但有議員警告，這將對軍眷產生不利影響，將使他們不得不在民間商場獲得其所依賴的商品，而且中國製產品尚無可接受的替代品，這不僅是單一品牌，而是整個類別的商品。¹⁴

伍、如何保護美國供應鏈安全

美國智庫「新美國安全中心」(Center for a New American Security, CNAS) 認為，優先事項是重新思考與重組關鍵供應鏈，目標包括：確定已知漏洞對國家福祉構成過度風險的供應鏈；與相關產業合作審查及重繪這些供應鏈；制定明確戰略並加以執行，解開這些供應鏈並使其多樣化。¹⁵

美國國防部擔心國防工業競爭基礎被削弱，由於數十年來國防產

¹³ “Congressional Report Could Be Major Step To Strengthen US Defense Supply Chain,” *Breaking Defense*, August 4, https://breakingdefense.com/2021/08/reports-propose-fixes-to-us-defense-supply-chain-vulnerabilities/?__hstc=43953530.8961558e649cf4311ca6cb7327bdd95a.1656837852938.165683785.

¹⁴ “Made in China? More than Half the Products in Military Exchanges Could be Banned,” *Defense News*, June 25, 2022, <https://www.defensenews.com/pay-benefits/mil-money/2022/06/24/made-in-china-more-than-half-the-products-in-military-exchanges-could-be-banned/>.

¹⁵ “Securing America’s Critical Supply Chains,” *CNAS*, <https://www.cnas.org/securing-americas-critical-supply-chains>.

業整合，使得具能力的競爭者減少，武器及裝備供應風險增加，1990年代共有 51 家航空、太空及國防產業承包商，現在僅剩 5 家：洛克希德馬丁、雷神、通用動力、諾斯洛普格魯門、波音公司。1990 年時有 13 家公司生產飛彈，目前僅有 3 家；戰車製造商則從 1990 年的 3 家減為 1 家；建造水面艦的船廠由 8 家減至 2 家，即通用動力及杭廷頓英高斯。近期的整合案例是洛馬及 Aerojet Rocketdyne 的整併，遭到聯邦貿易委員會阻止。

今年 2 月，國防部發布《國防工業基地的競爭狀況》(*State of Competition in the Defense Industrial Base*) 報告，警告國防產業過度整合，使國防部愈來愈依賴少數廠商，不僅失去創新能力，也傷害公平競爭。小型企業仍在努力贏得國防合約，但過去 10 年內，小型公司已減少 40%。報告建議加強併購監督、解決知識產權限制、增加新進入者、增加小型企業機會、實施特定行業的供應鏈彈性計劃。另外，也要確保 5 項優先工業基礎部門的供應鏈彈性：即前述的鑄造和鍛造、飛彈和彈藥、儲能和電池、戰略和關鍵材料，以及微電子領域。

前已提及，美國國防工業基地包括全球數十萬家廠商，以設計、發展與生產美國國防關鍵的裝備與技術。而網路安全也成為維繫國防工業基地與供應鏈安全的重要元素，但國防工業基地面臨網路攻擊威脅，敵對國家竊取知識財產權，破壞商業活動，威脅供應鏈運作，而美國國防供應鏈約 30 萬家廠商，其中約 29 萬家沒有任何網路安全措施。¹⁶最近惡意網路活動案例包括 Colonial Pipeline 勒索軟體攻擊，以及 Solar Winds 供應鏈遭駭客入侵事件，¹⁷表明對手繼續發展其對網

¹⁶〈國防部推出網路安全新規範 CMMC，請廠商務必遵守〉，《Formosan Enterprise Institute》，2022 年 2 月 12 日，<https://www.formosanenterprise.org/single-post/2020/02/12/%E5%9C%8B%E9%98%B2%E9%83%A8%E6%8E%A8%E5%87%BA%E7%B6%B2%E8%B7%AF%E5%AE%89%E5%85%A8%E6%96%B0%E8%A6%8F%E7%AF%84-cmmc%E5%BC%8C%E8%AB%8B%E5%BB%A0%E5%95%86%E5%8B%99%E5%BF%85%E9%81%B5%E5%AE%88>。

¹⁷ 羅正漢，〈台灣研究人員解析 SolarWinds 供應鏈攻擊事件，攻擊者善於規避偵測、偽裝並融入環境〉，《iThome》，2021 年 3 月 16 日，<https://www.ithome.com.tw/news/143240>。

路空間的利用，以竊取敏感訊息並破壞系統。¹⁸

負責網絡安全的副首席信息官戴維·麥基翁 (David McKeown) 表示，國防部已將保護國防工業基地免受這些威脅列為優先事項。為確保國防工業基地網路安全，美國國防部在 2020 年 2 月時要求，部分國防承包廠商需具備網路安全驗證，這項驗證植基於國防部在該年 1 月 31 日發表的「網路安全成熟度模型驗證 1.0」(Cybersecurity Maturity Model Certification, CMMC)，¹⁹提供一項簡單機制，使用 5 個級別認證大型承包商至小型承包商的網路安全情況，這 5 個級別分別是基本(Basic)、中等(Intermediate)、良好(Good)、主動(Proactive)，以及進階(Advanced)，承包商在競標國防部計畫時，都要依計畫需求，提出不同等級的 CMMC 驗證，由第三方進行驗證，至 2026 年，所有國防部合約都要包含 CMMC 的驗證要求。

陸、結語

關鍵國防供應鏈已成為美國從白宮、國防部到國會最為關切的問題，重振並確保國防供應鏈安全，對確保美國國家安全至關重要。原本由於美中大國競爭，貿易戰及科技戰持續升溫，中國科技及對美國供應鏈的影響，已是美國朝野關切的重要課題，但新冠疫情大爆發，以及俄烏戰爭僵持，美國及西方國家持續供應武器，使武器庫儲及供應問題突然成為焦點。美國國防部認為，確保供應鏈安全，需要增加產業供應鏈，保護供應鏈安全，確保及掌握關鍵技術、零組件與材料供應彈性，以及保護供應鏈與國防工業基地網路安全，確保美國軍事力量的優勢。這將是艱巨的工程。

¹⁸ “DOD Focused on Protecting the Defense Industrial Base From Cyber Threats,” *US DoD News*, February 7, 2022, <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2926539/dod-focused-on-protecting-the-defense-industrial-base-from-cyber-threats/>.

¹⁹ “DoD to Require Cybersecurity Certification From Defense Contractors,” *Bleeping Computer*, February 3, 2020, <https://www.bleepingcomputer.com/news/security/dod-to-require-cybersecurity-certification-from-defense-contractors/>.

本文作者舒孝煌為淡江大學戰略所博士，現為國防安全研究院中共政軍及作戰概念研究所副研究員。他的研究領域為美國國防科技、軍事科技、先進作戰概念。

The U.S. Critical Technology and Defense Supply Chain Security

Hsiao-Huang, Shu

Division of Chinese Politics, Military and Warfighting Concepts

Abstract

The US defense supply chain has faced huge challenges recently. Apart from COVID-19 and the Russia-Ukraine War's impact on the world economy, US-China competition also highlights the weakness in the US supply chain and affects US ability to develop and procure the weapons and equipment needed to maintain its warfighting capability. The US defense industrial base includes tens of thousands of technology, manufacturing and service suppliers around the world that produce defense equipment and technology. To enhance the defense supply chain security of the US, the Biden government has requested each department to carry out comprehensive review of the supply chain and put forward concrete measures. The White House has also made a list of critical technology and new technology to provide information to increase US competitiveness and set national security strategy. The State of Competition within the Defense Industrial Base report warned that the defense industry is overly integrated, leading to the Department of Defense relying on an increasingly small number of suppliers, losing innovation ability and the meaning of fair competition. Cyber security has also become an important factor for maintaining defense industrial base and supply chain security; the US

Department of Defense has demanded that defense contractors enhance their cyber security validation to protect supply chain and defense industrial base security and ensure the superiority of US military power.

Keywords: Defense Industry, Supply Chain, Cyber Security Maturity

全球半導體供應鏈現況與 俄烏戰爭下的挑戰

林佳宜

國家安全研究所

壹、前言

近年來全球半導體產業的戰略重要性已成為全球關注焦點，新冠疫情後時代晶片供需失衡已非新聞，今年初又加上俄烏戰爭等變數，半導體供應鏈的動態重整備受關注，根據 ISO28000 對供應鏈的定義，係指「資源與過程相連結的組合，起始於原物料開採，並延伸透過產品或服務之提供，跨越輸送模式至最終使用者」，¹所謂的供應鏈安全則為「防止因故意、未經許可之行為，導致該供應鏈或經該供應鏈所造成之傷害或損壞」，²而半導體供應鏈係指從上游之 IC 設計，至中游之晶圓製造、生產製程、設備檢測、光罩及化學品，以及下游之封裝測試與 IC 通路流通等過程。³

本文重點置於全球半導體供應鏈現況，指出目前半導體供應鏈安全之危機所在，亦提及半導體業在俄烏戰爭下所遭遇的挑戰及歐美大國政策方向。

貳、近年來全球半導體產業現況

俄烏戰爭爆發前，國際社會已因持續數年的美中貿易戰以及疫情等因素而使半導體供應鏈呈現訂單壅塞甚至供應斷鏈危機。美中競爭影響帶動的「脫鉤」，更使全球半導體供應鏈出現分流重組的趨勢。俄烏戰爭前的半導體供應鏈受到新冠疫情影響，晶片需求大增，導致

¹ 經濟部標準檢驗局，〈ISO 28000 供應鏈安全管理系統標準簡介〉，<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Data/fl388125037366.pdf>，頁 7。

² 同前註，頁 8。

³ 〈半導體產業鏈簡介〉，產業鏈價值資訊平台，<https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=D000>。

供需失衡，俄烏戰爭爆發後，半導體製造原料供應又受影響，本章節段落係針對半導體產業發展鏈現況概述及美歐國家政策方向說明。

一、疫後晶片需求增加凸顯供應鏈危機

在新冠疫情之前，晶片需求即已持續增加，疫情發生後，近兩年持續改變人類生活型態及行為模式，促使遠距應用等科技相關電子設備產品需求急速攀升，根據全球半導體貿易統計組織（World Semiconductor Trade Statistics, WSTS）於 2022 年 6 月 7 日發表之統計報告《2022 年春季半導體市場預測》（WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2022）預測，2022 年全球半導體市場較前一年度增長 16.3% 至 6,460 億美元，以地理區域區分，2022 年亞太地區將增 13.9%、美洲將增 22.6%，歐洲將增 20.8%，日本將增 12.6%，⁴並預判全球半導體產業市場將於 2023 年續增，較 2022 年度增長 5.1% 至 6,800 億美元。

從 2021 年度全球半導體晶圓代工廠營收市占率分布來看，台灣半導體產業發展成熟，台積電生產之晶片營收在全球晶片總營收中的比重達 53%、聯華電子占 7%、力積電及世界先進各占 1%；前述台灣半導體大廠在全球市占率總計近 64%。⁵

表 1、2021 年全球半導體公司晶片市占率

排名	公司名稱	市占率	國家
1	台積電	53%	台灣
2	三星	18%	韓國
3	聯華電子	7%	台灣
4	格羅方德（GlobalFoundries）	6%	美國
5	中芯國際	5%	中國

⁴ “WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2022,” WSTS, June 5, 2022, <https://www.wsts.org/76/Recent-News-Release>.

⁵ “TSMC, Taiwan to Increase Foundry Market Share in 2022,” EE News, April 25, 2022, <https://www.eenewsanalog.com/en/tsmc-taiwan-to-increase-foundry-market-share-in-2022/>.

排名	公司名稱	市占率	國家
6	華虹宏力	2%	中國
7	力積電	2%	台灣
8	世界先進	1%	台灣
9	DB HiTek	1%	韓國
10	高塔半導體有限公司 (Tower Semiconductor)	1%	以色列
11	其他公司	4%	其他國家
合計		100%	

資料來源：“TSMC, Taiwan to Increase Foundry Market Share in 2022,” *EE News*, April 25, 2022, <https://www.eenewsanalog.com/en/tsmc-taiwan-to-increase-foundry-market-share-in-2022/>.

現階段全球最先進的晶片為 10 奈米以下的先進製程，台積電及三星目前已研發出 3 奈米晶片，⁶是否能順利量產雖需觀望，然早在 2020 年，台積電供應 10 奈米以下先進製程晶片在全球的市占率已高達 62.8%，位居第二的三星市占率僅 37.2%。⁷

美國「半導體工業協會」(Semiconductor Industry Association, SIA) 指出，全球現階段半導體業供應鏈的風險主要可分成下列兩點：

- (一) 晶片密集製造地區若發生事故，將導致大規模供應中斷；
- (二) 國際情勢惡化將對半導體上下游廠商直接造成損害。⁸

此外，半導體上游原料集中度亦增加其供應鏈脆弱性，例如，美國有九成以上的半導體用氖氣是從烏克蘭進口，⁹俄國於 2022 年 2 月底入侵烏克蘭，各國震驚；因俄烏兩國皆出產半導體關鍵金屬、氣體

⁶ 簡永祥，〈三星 3 奈米搶先量產 台積沒在怕〉，《聯合報》，2022 年 7 月 1 日，<https://udn.com/news/story/7240/6427914>。

⁷ “IC Industry at Heart of Possible China Takeover of Taiwan,” *IC Insights*, October 13, 2021, 2021, <https://www.icinsights.com/news/bulletins/IC-Industry-At-Heart-Of-Possible-China-Takeover-Of-Taiwan>.

⁸ “Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era,” *Semiconductor Industry Association*, April 2021, p.5, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

⁹ “More Chip Shortage Fears as Ukraine Halts Neon Output,” *Tech.co*, March 14, 2022, <https://tech.co/news/ukraine-chip-shortage>.

等資源，各國憂心俄烏戰爭持續將影響半導體供應鏈。¹⁰

國際半導體產業協會 (SEMI) 指出，俄烏戰爭對於半導體關鍵特殊氣體等原料供給已發生實際影響，晶片製造商雖積極尋找替代氣體，但並非短期內可以完全取代，半導體設備商平均交貨期亦從 3 至 4 個月增至 10 至 12 個月，全球面臨晶片短缺危機將持續至 2024 年，並示警數年內將大量擴產的晶圓廠存有潛在風險。未來幾年內，全球將有 92 座晶圓廠上線，但大量擴產後可能令未來兩年供需狀況大幅緩解，變得「更加平衡」，¹¹亦可能出現部分產品線的晶片供過於求的情形。

同年 5 月，上海封城，加劇供應鏈危機，聯電、力成及日月光等半導體企業皆表示，俄烏戰爭及通膨加劇促總體經濟惡化，中國大陸封控時程延長亦讓半導體製造及後段封裝將業務移轉非中國區，中國封控對半導體供應鏈之影響恐長達 3 個月始能恢復。¹²

二、歐盟推出品片法案期能降低進口依賴度

各國為了因應近年晶片供應不足的情況，積極投入資本增建晶圓廠，因此增加半導體設備需求，然受疫情及區域衝突等因素影響人流及物流，影響晶圓廠擴產進度，因此，能否順利取得生產設備，成為半導體廠能否擴大市占率的關鍵之一。¹³

歐盟半數以上晶片需求來自台灣，¹⁴供應鏈風險過度集中於我國，歐盟執行委員布勒東 (Thierry Breton) 曾表示若台灣無法再出口半導

¹⁰ 〈俄烏戰爭 半導體憂「斷氣」〉，《經濟日報》，2022 年 3 月 5 日，<https://udn.com/news/story/6811/6141502>。

¹¹ 〈SEMI：俄烏戰爭威脅半導體原料供給 晶片短缺將延續至 2024 年〉，《鉅亨網》，2022 年 6 月 21 日，<https://news.cnyes.com/news/id/4898545>。

¹² 簡永祥，〈戰爭、封控...半導體斷鏈 恐需一季回復〉，《聯合報》，2022 年 5 月 3 日，<https://udn.com/news/story/7240/6283179>。

¹³ 林蕙茹，〈半導體設備荒敲響警鐘 供應鏈上下游同搶設備〉，《鉅亨網》，2022 年 3 月 27 日，<https://news.cnyes.com/news/id/4842158>。

¹⁴ 〈歐盟：少了台灣晶片 全球工廠撐不過 3 周〉，《工商時報》，2022 年 2 月 10 日，<https://ctee.com.tw/news/global/592757.html>。

體，全球大部分工廠會在 3 週內停止運作。¹⁵本次新冠疫情深化供應鏈的不穩定性，促使歐盟加快腳步布局晶片製造的在地化。

歐盟執行委員會（European Commission）於 2022 年 2 月 8 日提出《歐洲晶片法案》（*European Chips Act*），將投入 430 億歐元於公共和民間投資用途，另再投入 110 億歐元補助半導體尖端研究，為半導體產業化鋪路。¹⁶

為保障晶片供應鏈安全、供應鏈彈性及維護產業生態穩定性，歐盟認為投資新的先進生產設備不可或缺，同時可刺激歐盟經濟體成長，希望藉由該法案於 2030 年時提升其晶片市占率至 20%，¹⁷該法案五大重點如下：

- （一）增強歐洲各國晶片研發及創新能力；
- （二）維持歐洲晶片設計及製造領導地位；
- （三）修訂國家補助半導體業政策；
- （四）對晶片供需問題加速回應及處理；
- （五）補助有創新能力的小型半導體公司。¹⁸

歐盟表示目前全球只有台積電與三星可生產最先進製程之晶片，建議與美國、日本、南韓、新加坡、台灣等合作，以確保半導體供應鏈安全。¹⁹目前該法案仍需數月左右的議事程序，以獲歐洲議會與成員國通過。²⁰

¹⁵ 同前註。

¹⁶ 中華民國外交部，〈有關歐盟執委會提出歐洲晶片法案（European Chips Act）並公開肯定台灣地位重要事，外交部回應如下〉，《外交部最新消息》，2022 年 2 月 9 日，https://www.mofa.gov.tw/News_Content.aspx?n=95&sms=73&s=97313。

¹⁷ 顏嘉南，〈歐盟提新法案 拚晶片市占翻倍〉，《工商時報》，2022 年 1 月 22 日，<https://ctee.com.tw/news/global/585657.html>。

¹⁸ 同前註。

¹⁹ 宇妍，〈歐盟公布「歐洲晶片法案」計劃打造半導體自主供應鏈 台經院：台灣仍有競爭優勢〉，《台灣英文新聞》，2022 年 2 月 10 日，<https://www.taiwannews.com.tw/ch/news/4438257>。

²⁰ 經濟部，〈歐盟設定目標於 2030 年前將歐洲晶片之全球產值提高至 20%〉，《經濟部國際合作處 國際商情》，2022 年 3 月 22 日，https://www.moea.gov.tw/MNS/ietc/bulletin/Bulletin.aspx?kind=29&html=1&menu_id=17129&bullet_id=9731。

該法案旨在協調歐盟各成員國間在半導體業供應鏈中的角色，雖然現階段晶片短缺問題是系統性問題，尚無法快速解決，該法案短期目標是促成歐盟成員國和歐盟委員會之間的協調合作。²¹

該法案草擬相關條例設置「開放式歐盟晶圓廠」²²（Open EU foundries）及「綜合生產設備」（Integrated Production Facilities）。²³此兩種設備皆必須是歐盟半導體業界中「首見」（“first of a kind” in Europe），且業主必須承諾將持續投資歐盟半導體研發。

此兩種設施在未違反歐盟各國境內法規下皆可獲得「快速通道許可證」（fast-track permit）並受歐盟成員國政策補貼。該法案的中期目標是加強半導體製造，擴大和創新全歐洲的半導體價值鏈，長期目標是達成歐洲晶片技術領先地位，將核心技術從實驗室轉移到晶圓廠，成為下游市場的技術領導者。^{24,25}

三、美國與歐盟宣布設立半導體供應鏈的「早期預警系統」

「美國－歐盟貿易與科技委員會」（U.S.-EU Trade and Technology Council, TTC）於 2022 年 5 月中旬在法國巴黎召開第二次部長級會議。

因應全球經貿受俄烏戰爭影響，本次會議走向多圍繞俄烏戰爭衍生之議題而生。該委員會為強化美歐合作，其中一個重點係致力於保護半導體產業等關鍵供應鏈。該委員會工作小組亦就出口管制、投資審查、安全風險及全球貿易挑戰進行協調。²⁶為改善供應鏈韌性、提

²¹ “European Chips Act - Questions and Answers,” *European Commission*, February 8, 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_730.

²² 「開放式歐盟晶圓廠」定義係「為了其他各產業界的需求，而設計及製造零組件的工廠」。

²³ 「綜合生產設備」定義則係「為了自身市場的需求，而設計及製造零組件的工廠」。

²⁴ “European Chips Act - Questions and Answers,” *European Commission*, February 8, 2022, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_730.

²⁵ 林佳宜，〈《歐洲晶片法案》對我半導體產業之影響〉，《國防安全雙週報》，第 52 期，2022 年 4 月 22 日，頁 27-31，<https://indsr.org.tw/uploads/indsr/files/202206/f0365c05-10b8-4447-a362-cc535fc17515.pdf>。

²⁶ “FACT SHEET: U.S.-EU Trade and Technology Council Establishes Economic and Technology Policies & Initiatives,” *The White House*, May 16, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/16/fact-sheet-u-s-eu-trade-and-technology-council-establishes-economic-and-technology-policies-initiatives/>.

高貿易的可預測性和多元性，美國與歐盟於該次會議決議宣布將設立半導體供應鏈的「早期預警系統」(Early Warning system for Semiconductors Supply Disruptions)，期能藉此系統於晶片即將發生短缺之際，提早發出警示互相知會，並整合評估對晶片製造商做出適當的政策補助，希望能避免美歐各國在爭取半導體業者設廠時陷入政策補助競賽。²⁷

半導體供應鏈「早期預警系統」將制定價值鏈的共同預警及監測機制，其具體作法為：²⁸

- (一) 定期於雙週召開會議發掘供應鏈潛在危機。
- (二) 對偶發事件召開臨時會。
- (三) 以保護商業機密及機敏資訊的方式獨立蒐集業界最新消息。
- (四) 主席於每次會議結尾須提出一套可經常具體執行之方式。

另有鑑於超額訂單會對整個供應鏈造成負面影響，美歐企圖透過提高價值鏈(value chain)的透明度及監控來建立警報系統、共享斷鏈情報、避免政策補貼競賽，同時鼓勵晶片廠增產，其中的具體作法之一是號召業界共同合作、交換資訊、提高供應鏈透明度。²⁹

參、半導體業未來的挑戰與趨勢

一、「早期預警系統」能否及時調整晶片供需有待觀察

過去半導體業多採取「低庫存」策略，庫存水位僅1至2個月，且晶片製造業者多在接單後始製作，而半導體產品從客戶下單到交付

²⁷ 〈美歐設半導體預警系統〉，《經濟日報》，2022年5月17日，<https://money.udn.com/money/story/12926/6318193>。

²⁸ “U.S.-EU Joint Statement of the Trade and Technology Council,” *The White House*, May 16, 2022, pp.19-21, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/05/TTC-US-text-Final-May-14.pdf>.

²⁹ 林佳宜，〈美歐貿易與科技委員會聚焦對俄制裁及半導體供應鏈〉，《國防安全雙週報》，第58期，2022年7月15日，頁57-58，<https://inders.org.tw/uploads/inders/files/202207/4d0dfa8e-21e7-4cae-8132-a3f8b280d3e4.pdf>。

至少需 12 周，³⁰然因市場需求變動過快，且各大廠接獲之訂單資訊亦不透明，製造端及需求端之時間無法配合，導致晶片供需失衡。舉例而言，疫情期間帶動 3C 產品需求大漲，間接導致晶片荒，現又因全球景氣急轉直下，電視、手機與筆電等眾多消費性電子產品需求急速下滑，此前全球晶片業下游客戶為了囤貨，出現重複下單的狀況，成熟製程如 28 奈米之前看似供不應求，但實際上全球產能現已是供大於求，³¹跌價與砍單潮擴散，促半導體供應鏈中部份成熟製程之晶片庫存攀升，³²惟台積電的先進製程晶片需求仍強勁。

簡言之，半導體業上中下游供需因各種外在變數的影響，無法及時反應在製造晶片上，此種時間上的落差乃晶片業者須克服的另一道難題，美歐推出的早期預警系統是否能有效交換訂單資訊，做出相對應調整策略並防止此一時間上落差，有待實務驗證。

二、美國晶片法案延宕恐影響其產業競爭力

美國國會認識到半導體業在未來必然發揮關鍵作用，故於《2021 年度國防授權法案》(*National Defense Authorization Act*) 中頒布《晶片法案》(*CHIPS for America*)。該法案目的是提升美國未來幾年在晶片技術上的領導地位、提供半導體製造及研究的全額資金並優惠投資半導體之企業之稅收減免。

美國參議院於 2021 年 6 月通過《美國創新與競爭法》(*the U.S. Innovation and Competition Act*)，內容包含提供 520 億美元用於聯邦投資《晶片法案》下半導體研究、設計和及製造，其後，眾議院於 2022 年 2 月通過《美國競爭法案》(*the America COMPETES Act*)，其中亦

³⁰ 〈「零庫存」錯了嗎？車用晶片大缺貨，給管理者的啟示〉，《財經新報》，2021 年 3 月 28 日，<https://finance.technews.tw/2021/03/28/car-chips-are-out-of-stock-lessons-for-managers/>。

³¹ 〈晶片荒估下半年緩解 成熟製程將供過於求〉，《工商時報》，2022 年 6 月 1 日，<https://ctee.com.tw/news/tech/653092.html>。

³² 〈台積電傳 3 大客戶齊調訂單 半導體市況雪上加霜〉，《DIGITIMES》，2022 年 7 月 1 日，https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?cnlid=1&id=0000638859_23P7Q8BU6YQGP N8X7TLNT。

包含該 520 億美元的《晶片法案》投資。美國希望以該《晶片法案》迎來美國晶片製造業的歷史性復甦、強化晶片研發及設計，並且確保美國保有未來幾十年的晶片關鍵技術實力。³³

美國《晶片法案》須由參眾兩議院通過，方可由美國總統拜登（Joe Biden）簽署成為法律，然參眾兩議院內部意見分歧，遲未通過該法案，至今美國國會尚未撥出半導體業分文補助，同時間的歐洲及亞洲國家則已提供等值數十億美元的激勵措施，美國的補助落後歐亞洲甚多。³⁴矽晶圓製造大廠環球晶於同年 6 月表示，原預計在美國德州建造新的 12 吋晶圓廠，若《晶片法案》遲遲未能通過，設廠恐有變數。³⁵晶圓代工大廠英特爾（Intel）亦指出美國《晶片法案》進展緩慢，因此無限期推遲英特爾預定於同年 7 月的俄亥俄州新晶圓廠動土儀式，³⁶而台積電早已投資、現正建廠中的亞利桑那州建廠速度，與該法案通過速度有關。³⁷

若該法案遲未通過，對美國本土大廠之影響恐大於對台半導體廠影響，主係因台灣半導體大廠供應鏈上下游原本就相對健全，產能亦相對充足穩定，且製造成本較美國本土低廉許多，而台積電原已預計於 2022 至 2023 年在台增建 11 座廠房，加上原有產能後，若美國《晶片法案》最終未能通過，台積電仍能將美國廠短缺部分之產能轉移回台生產，但美國本土廠商如英特爾、格芯等，其產能備案本就不如東

³³ “SIA Joins 120+ Business Leaders’ Call for Swift Enactment of Competitiveness Legislation,” *Semiconductor Industry Association*, June 15, 2022, <https://www.semiconductors.org/sia-joins-120-business-leaders-call-for-swift-enactment-of-competitiveness-legislation/>.

³⁴ 〈Pat Gelsinger：美國再不通過晶片法案，英特爾將優先蓋歐洲晶圓廠〉，《科技新報》，2022 年 6 月 30 日，<https://technews.tw/2022/06/30/if-the-us-does-not-pass-the-chip-bill-intel-will-give-priority-to-building-fabs-in-europe/>。

³⁵ 〈台積電、英特爾都呼籲儘速通過！一文看懂美國《晶片法案》為何重要〉，《數位時代》，2022 年 6 月 29 日，<https://www.bnext.com.tw/article/70288/chip-act-stuck>。

³⁶ 〈Pat Gelsinger：美國再不通過晶片法案，英特爾將優先蓋歐洲晶圓廠〉，《科技新報》，2022 年 6 月 30 日，<https://technews.tw/2022/06/30/if-the-us-does-not-pass-the-chip-bill-intel-will-give-priority-to-building-fabs-in-europe/>。

³⁷ 〈晶片法案遭共和黨大老揚言阻擋 台積電、環球晶美國建廠再添變數〉，《鉅亨網》，2022 年 7 月 3 日，<https://news.cnyes.com/news/id/4906168>。

亞各國大廠如台積電及三星等，且英特爾未來最新製程的重大投資多在美國本土，若未能獲得補助，將延宕美國半導體產業之技術進程。

38

美國半導體工業協會中的 120 多位商界領袖亦呼籲迅速通過《晶片法案》，避免晶片產業落後他國太多，此舉對美國經濟、國家安全及供應鏈彈性至關重要。³⁹

肆、結語

過去兩年因新冠疫情產生晶片荒，然因市場變幻莫測，現在部分成熟製程之晶片市場已出現供過於求之態勢（先進製程晶片需求仍旺），晶片廠供需調節能力跟不上市場的脚步，會增加半導體供應鏈的不穩定性；另一方面，強國間角力、俄烏戰爭及新冠變種病毒等變數所牽動的國際政經局勢，影響大國及重要經濟體政策方向，則是未來半導體供應鏈重整及決定建廠地點的關鍵因素，綜言之，半導體供應鏈的重組與晶片供需來回震盪仍將持續數年。

本文作者林佳宜為政治大學智慧財產研究所碩士，曾任本國及英國銀行行員，現為國防安全研究院國家安全研究所政策分析員。研究領域為國際經貿安全、供應鏈及供應鏈安全。

³⁸ 林宏文，〈美國晶片法案表決倒數計時 過不過關都是難題！台積電、三星和英特爾，誰是贏家？〉，《今周刊》，2022年7月18日，<https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183025/post/202207180017/>。

³⁹ “SIA Joins 120+ Business Leaders’ Call for Swift Enactment of Competitiveness Legislation,” *Semiconductor Industry Association*, June 15, 2022, <https://www.semiconductors.org/sia-joins-120-business-leaders-call-for-swift-enactment-of-competitiveness-legislation/>.

The Global Semiconductor Supply Chain: Current Situation and Challenges Faced Amidst the Russian-Ukrainian War

Chia-Yi, Lin

Division of National Security Research

Abstract

The semi-conductor supply chain problem has become a global geo-political and national security crisis. In recent years, as well as being affected by the US-China trade war and coronavirus, the Russia-Ukraine War that broke out in early 2022 added to the variables of the supply chain.

The industry predicts that there will be a chip shortage for another two years, however, market reversal is extremely fast and, with supply chain information lacking transparency, information time differences have caused supply of some mature manufacturing process chips to exceed demand and inventories to rise, while demand still exceeds supply for advanced manufacturing process chips. The countries of European and North America realize that semiconductor technology development will dictate future increase or decline in national power and have successively introduced chip acts, attempting to use subsidies to attract semiconductor companies to establish a presence to increase domestic semiconductor industry competitiveness. However, due to variables such as geo-politics and regional tension, the restructuring of the semi-conductor industry supply chain will probably continue for a few years.

Keywords: Russia-Ukraine War, Semiconductors, TSMC, Geopolitics, US Chip Act, European Chip Act, Coronavirus

俄烏戰爭下的軟體供應鏈安全

吳宗翰

網路安全與決策推演所

壹、前言

2022 年的俄羅斯—烏克蘭戰爭是一混合戰爭 (hybrid warfare)。除了實體戰事對抗外，外界最為關注的焦點無疑是雙方的網路攻防。據報導，戰爭爆發前後，烏克蘭多個政府部門與關鍵基礎設施遭到大規模的分散式阻斷服務 (Distributed Denial-of-Service, DDoS) 攻擊，並傳出遭到惡意軟體 Wiper 刪除政府機構與基礎設施的資料；烏國政府亦號召國內外「資訊科技 (Information Technology, IT) 大軍」，在網路空間展開反擊。¹在戰事的脈絡下，軟體供應鏈 (software supply chain) 的安全受到重視。實際上，相關議題近年來在資安領域已廣被討論，著名案例如 2020 年牽連美國政府與科技公司甚廣的太陽風 (SolarWinds) 事件、2021 年中旬的殖民油管 (Colonial Pipeline) 事件、軟體測試服務業者 Codecov 被駭、託管軟體業者 Kaseya 遭襲與同年底的 Log4j 漏洞事件。然而，隨著俄烏戰爭的爆發，議題本質從資安的角度被轉置於更為嚴峻而複雜的國家安全與戰略的視角。各國政府與產業界擔心對手利用軟體開發特性入侵供應鏈並從事惡意行為，反思傳統軟體供應鏈流程中的「信任」(trust) 以及開源軟體 (open source) 安全議題。本文回顧美國、歐盟以及產業界近年來對相關議題的應對措施；在未能擺脫安全不確定性的情況下，總體趨勢呈現供應鏈重組集團化、安全手段複雜化，以及軟體開發封閉化。

¹ Lauren Feiner, "Cyberattack Hits Ukrainian Banks and Government Websites," *CNBC*, February 23, 2022, <https://www.cnbc.com/2022/02/23/cyberattack-hits-ukrainian-banks-and-government-websites.html>; Joe Tidy, "Ukraine Crisis: 'Wiper' Discovered in Latest Cyber-attacks," *BBC NEWS*, February 24, 2022, <https://www.bbc.com/news/technology-60500618>; Ukraine War: Ukrainians Announce the Launch of an 'IT Army' to Fight off Russian Cyberattacks," *euronews*, February 27, 2022, <https://www.euronews.com/next/2022/02/26/ukraine-war-ukrainians-announce-the-launch-of-an-it-army-to-fight-off-russian-cyberattacks>.

貳、軟體供應鏈定義與威脅來源

根據 ISO28000 系列條文的定義，供應鏈指涉產品從生產到最終消費者之間的相關活動過程，其中包括最上游的原料供應來源，到中下游的製造、運輸物流、商店銷售與服務。²作為一個整體來看，供應鏈宛如一個生態系（ecosystem）。基於產品的差異，供應鏈可粗分成硬體與軟體的供應鏈。在硬體供應鏈的環節中，內部上下游呈現出接力賽或階段式的單向過程。然而，與前者不同，軟體供應鏈的上下游關係較為複雜。由於軟體開發生命週期（Software Development Life Cycle）的特性，軟體開發過程間，概念架構與程式碼往往會彼此參照與引用，這使得產品的生產上下游界線變得模糊。

就此而言，軟體供應鏈的攻擊存在大量管道。攻擊者藉由入侵產品的生產環節後，經由複雜的網絡，橫向或縱向朝目標單位的相關軟體廠商、委外廠商或合作夥伴展開攻擊。此外，由於軟體是由受信任的廠商建置與發行，一旦使用者安裝或執行受到感染的程式，惡意程式碼也會再進一步擴散。³研究顯示，由於比起攻擊高價值目標的成本相對低，效果佳，近年來網路犯罪者逐漸偏好這類型的攻擊行動。根據以色列資安公司 Argon Security 的報告，2021 年的軟體供應鏈攻擊比起 2020 年增加了 3 倍。⁴

不論硬體或軟體供應鏈，「信任」都是推動整體環節順利運作的重要關鍵。但供應鏈的攻擊也是藉由「信任圈」途徑發動。與此同時，為縮短產品的開發週期，現代的程式開發人員時常運用開源軟體和既有的元件和組件（components and packages），然此一現象從資安的

² “ISO 28000:2022(en) Security and Resilience — Security Management Systems — Requirements,” ISO, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:28000:ed-2:v1:en>; “ISO 28001:2007(en) Security Management Systems for the Supply Chain — Best Practices for Implementing Supply Chain Security, Assessments and Plans — Requirements and Guidance,” ISO, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:28001:ed-1:v1:en>.

³ “Supply Chain Attacks,” Microsoft, June 4, 2022, <https://docs.microsoft.com/en-us/microsoft-365/security/intelligence/supply-chain-malware?view=o365-worldwide>.

⁴ Eran Orzel, “Software Supply Chain Attacks: 2021 in Review,” Aqua, January 25, 2022, <https://blog.aquasec.com/software-supply-chain-attacks-2021>.

角度言並非沒有疑慮。開源軟體的原旨核心概念在「自由、開放、公開」，目的在於透過大眾的集體知識不斷促進系統的完善，創造良性循環。新思科技 (Synopsys) 2022 年的《開源軟體安全與風險分析報告》(Open Source Security and Risk Analysis) 指出，在其調查的 2,409 個代碼庫中，使用開源軟體的佔有高達 9 成以上。⁵換言之，在多數情況下應用程式少有百分之百獨立開發，而是在現成的軟體包基礎上再設計與編輯，軟體之間因此往往呈現高度的相依性 (dependence)。然而，這種相依性亦可能成為惡意行為者的施力點。

如同前述，設若攻擊者利用開源軟體開放的特性植入惡意程式或後門，即能網絡擴散造成大範圍影響；此外，攻擊者也可以藉由公開漏洞與暴露 (Common Vulnerabilities and Exposures, CVE)⁶或尚未存在修補方式的零日漏洞 (Zero-day Vulnerability) 達到此一效果。新思科技的《開源軟體安全與風險分析報告》指出，在其調查的對象中，有 85% 的代碼庫含有超過 4 年未更新的元件；有 88% 的代碼庫中的元件並非最新版本。這些都隱藏極大的安全疑慮。美國軟體分析業者 Sonatype 發布的《2021 軟體供應鏈狀態》(2021 State of the Software Supply Chain) 調查指出，自 2015 年 7 月到 2021 年底為止，利用開源軟體的攻擊情況已經成長了 6 倍以上。⁷

參、俄烏戰爭與態度分歧的開源軟體社群

從目前對俄烏戰爭的觀察，已知交戰雙方或其支持者都利用軟體供應鏈與開源軟體的特性從事攻擊行為。多起資安報告與報導指出俄國駭客集團利用漏洞、惡意程式、釣魚信件等對烏克蘭政府網站或個人展開攻擊。⁸另一方面，支持烏克蘭的一方也展開反擊。戰爭爆發以

⁵ “2022 Open Source Security and Risk Analysis Report,” Synopsys, <https://www.synopsys.com/software-integrity/resources/analyst-reports/open-source-security-risk-analysis.html>.

⁶ 指的是公開已知的安全漏洞列表。

⁷ “2021 State of the Software Supply Chain,” Sonatype, https://www.sonatype.com/hubfs/SSSC-Report-2021_0913_PM_2.pdf?hsLang=en-us.

⁸ Bill Goodwin, “‘Russian-backed’ Hackers Defaced Ukrainian Websites as Cover for Dangerous

後，一位工程師為抗議俄國的入侵行動，利用開源程式 npm 撰寫了名為 peacenotwar 的程式碼，並將其發布到開源社群論壇。他原先的設計是使電腦系統一旦偵測到具有俄羅斯或白俄羅斯的 IP 位址，電腦系統就會自動刪除檔案。然而，由於 npm 與 node-ipc 套件以及 JavaScript 框架的相依性，而後兩者又各自被廣泛用於支持 Linux、Mac、Windows 系統以及建立網頁介面，結果使得大量用戶受到影響。儘管工程師的「反戰行為」受到部分人的讚揚，但也引發部分軟體開發者的憂慮，認為其行為逾越開源軟體的底線，可能會使人們失去對開源軟體的信任。⁹

戰爭陰影嚴重衝擊開源軟體開發與使用社群。為響應西方對俄羅斯的制裁，開源軟體入口網站 Scarf 在 2022 年 5 月初宣布禁止俄國政府或軍事單位從其網站下載資料。支持這類行動的意見主張，限制用戶的目的在於喚起對戰爭的重視，從而達到伸張自由；然而，部分平台如 GitHub 與 GitLab 則持反對看法。贊同此一立場者多認為，自由、開放與非歧視的原則不應該因為戰爭和用戶的來源處而有所打折。¹⁰這些爭議顯示，戰爭陰影分裂了開源軟體社群，後者對於戰爭的立場目前仍然頗分歧。

肆、美歐近年來從法規政策強化供應鏈安全

Malware Attack,” *ComputerWeekly.com*, January 17, 2022, <https://www.computerweekly.com/news/252512087/Russian-backed-hackers-defaced-Ukrainian-websites-as-cover-for-dangerous-malware-attack>; 〈俄烏衝突升高，網路攻擊也如火如荼〉，《資安趨勢部落格》，2022 年 3 月 10 日，<https://blog.trendmicro.com.tw/?p=71548>；陳曉莉，〈烏克蘭統計自開戰以來已遭到近 800 次網路攻擊〉，《iThome》，2022 年 7 月 1 日，<https://www.ithome.com.tw/news/151719>。

⁹ Steven Vaughan-Nichols, “Corrupted Open-source Software Enters the Russian Battlefield,” *ZDNet*, March 21, 2022, <https://www.zdnet.com/article/corrupted-open-source-software-enters-the-russian-battlefield/>; Joseph Marks and Aaron Schaffer, “Ukraine Hacktivism Fights Threaten Open-source Software,” *The Washington Post*, March 21, 2022, <https://www.washingtonpost.com/politics/2022/03/21/ukraine-hacktivism-fights-threaten-open-source-software/>; Flashpoint Team, “The Promise of Open Source Code and the Paradox of ‘ProtestWare,’” *Flashpoint*, March 28, 2022, <https://flashpoint.io/blog/the-promise-of-open-source-code-and-the-paradox-of-protestware/>.

¹⁰ Mike Melanson, “Where Does Open Source Fit into Russia’s War with Ukraine?,” *THENEWSTACK*, March 4, 2022, <https://thenewstack.io/where-does-open-source-fit-into-russias-war-with-ukraine/>.

一、美國

隨著美中之間的貿易戰與科技戰開打，美國在川普政府時期即透過一連串的行政命令與政策逐步加大對整體供應鏈的管理。2018年4月，「國家標準與技術研究院」（National Institute of Standards and Technology, NIST）發布了《資安框架》（Cybersecurity Framework, CSF）1.1版，將「供應鏈風險管理」列入核心類別，要求關鍵基礎設施與相關單位評估供應商的資安狀況。同年11月，國土安全部成立「資通訊供應鏈風險管理小組」（ICT Supply Chain Risk Management Task Force），力圖促進公私協力的供應鏈管理。2019年5月，川普總統簽署「保護資通訊技術與服務供應鏈安全」（Executive Order on Securing the Information and Communications Technology and Services Supply Chain）的行政命令，禁止美國境內單位與具有競爭關係的外國政府或機構的資通訊科技技術或服務有所來往。2020年1月，美國國防部公布「供應鏈網路安全成熟度認證」（Cybersecurity Maturity Model Certification, CMMC）1.0版，作為對國防部供應商的資安規範。¹¹而後在4月時，時任國務卿的蓬佩奧（Mike Pompeo）宣布「5G乾淨路徑」，要求進出美國的端點傳輸路徑僅能透過受信賴的設備商。8月時，該計畫進一步擴大為「5G乾淨網路」，範圍涵蓋營運商、商店、應用程式、雲端與電纜等。透過這些政策，川普政府使中國的華為、中興等公司退出美國市場。

拜登就任總統以後，延續了川普的路線，並持續頒布一系列命令措施，用以強化美國國家網路安全。就背景而言，2021年以來，美中關係依然緊張，而俄羅斯也因為在烏克蘭議題上的強硬態度，而構成對美國和其盟國在國際上的挑戰。此外，在短時間內接連爆發的幾起

¹¹ 2021年11月，美國國防部已重新提出CMMC2.0版。雖然認證制度與若干細節有變，但核心目標與精神與1.0版一致。可見羅正漢，〈美國國防部CMMC認證計畫推2.0版，建立國防供應鏈網路安全成熟度新標準〉，《iThome》，2022年3月3日，<https://www.ithome.com.tw/news/149664>。

重大資安事件例如太陽風、殖民油管等事件，更促使拜登政府意識到相關議題的嚴峻情形。

2021 年 5 月，拜登簽署 14028 號行政命令，提及「零信任網路安全策略」以及「強化軟體供應鏈安全」兩大焦點。接著，在同一年度的 8 月，拜登於白宮舉行資安高峰會，宣布「國家標準與技術研究院」將與產業界合作，共同開發一個新框架來提高技術供應鏈的安全與完整性，該倡議獲得微軟 (Microsoft)、谷歌 (Google)、蘋果 (Apple)、亞馬遜 (Amazon) 及 IBM 等業者的響應。2022 年 1 月底，白宮再次邀集產業界，共同討論開源軟體議題。一般認為，這場會議與前一年底的 Loj4j 事件密切相關。¹²

俄烏戰爭爆發以後，有鑑於俄國可能報復西方國家對烏克蘭的支持與對俄國的制裁行動而採取網攻，拜登於 3 月 21 日發布緊急聲明，呼籲美國企業加強網路防禦並改善網路安全。鑒於美國許多重要關鍵基礎設施均由私部門營運，他要求企業有必要加強管理其數位大門。

13

而在國際方面，拜登也持續加強與盟國的聯合行動，減輕圍堵中俄造成的壓力。5 月 23 日，拜登宣布其「印太經濟架構」(Indo-Pacific Economic Framework, IPEF) 計畫。雖然其中細節尚未明朗，但數位經濟與供應鏈已確定將是箇中重點。

綜觀美國近兩任政府的作為，可明顯看到美國正透過國內外政策以及結合友盟方式，逐步建構以自身為核心的供應鏈體系。

二、歐盟

相比於美國，歐盟近幾年亦透過制定法規與發布報告的形式於境

¹² 羅正漢，〈【攜手產業需解決關鍵資安議題，推動企業加速資安強化】強化國家資安，美國白宮推動多項新世代防護對策〉，《iThome》，2022 年 4 月 2 日，<https://www.ithome.com.tw/news/150237>。

¹³ Maegan Vazquez, Donald Judd, Sean Lyngaas and Zachary Cohen, “Biden Warns Business Leaders to Prepare for Russian Cyber Attacks,” *CNN*, March 21, 2022, <https://edition.cnn.com/2022/03/21/politics/biden-russia-cyber-activity/index.html>.

內建構出一致的標準。此一作為也與歐盟為達成數位單一市場的目標相符。2017年9月，歐盟提出《網路安全法》（Cybersecurity Act）草案，並於2019年4月獲得通過，同年6月開始實施。據此，歐盟建立了資安驗證框架（cybersecurity certification framework），透過歐盟網路安全局（The European Union Agency for Cybersecurity，ENISA）設定規範，針對資安產品、服務與流程所能處理的風險等級做出區別。2019年10月，歐盟會員國代表組成的網路安全組織發布《歐盟5G網路安全統合風險評估》（*EU Coordinated Risk Assessment of the Cybersecurity of 5G Networks*），列出5G時代可能面臨的挑戰。報告指出，5G網路吃重軟體的角色，網路漏洞的影響因此變得非常重要。此外，各國的行動網路營運商對供應商的依賴程度也可能與其可能遭受的攻擊相關。2020年11月，歐盟網路安全局發布有關物聯網的安全指南，指出解決物聯網供應鏈安全的關鍵，需要利害關係人建立彼此的信任關係。¹⁴

2021年7月，網路安全局再發布報告，指出超過6成的供應鏈攻擊企圖從程式碼下手，同時也有超過6成比例的攻擊依賴惡意程式達到目的。該報告亦對供應商與消費者提出建議，其中，有關軟體元件、相依性以及弱點的狀況應予以掌握。¹⁵

俄烏戰爭爆發以來，供應鏈危機對於歐盟構成極大挑戰。歐美在達成制裁俄羅斯的共識同時也擴大雙方在供應鏈環節的合作。

伍、產業界強化安全的多元化策略

不同於國家採取的法規制定途徑或協同整體公私部門的全社會

¹⁴ 陳曉莉，〈歐盟5G網路風險評估報告：對供應商的依賴將擴大駭客攻擊表面〉，《iThome》，2019年10月10日，<https://www.ithome.com.tw/news/133566>；“IoT Security: ENISA Publishes Guidelines on Securing the IoT Supply Chain,” *enisa*, November 9, 2020, <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/iot-security-enisa-publishes-guidelines-on-securing-the-iot-supply-chain>.

¹⁵ “Understanding the increase in Supply Chain Security Attacks,” *enisa*, July, 29, 2021, <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/understanding-the-increase-in-supply-chain-security-attacks>.

途徑來提升軟體供應鏈安全，產業界的相對應措施可歸納出兩大趨勢。需要強調的是，這兩大趨勢之間並非互斥關係。首先，因應威脅無處不在，許多企業把安全防護的概念整合進自身產品的開發過程之中。亦即，許多企業將焦點轉向改善提升開發過程中的安全度，依照設計階段、開發測試階段、作業部署等不同項目而有區別；許多方案（solution）與資安產品也應運而生，以下列舉幾項。

第一，部分方案著重在開發過程中的安全測試。這類似於事前預防的概念，透過早期測試找出系統中的漏洞而改善之。第二，建立「軟體物件清單」（Software Bill of Materials, SBOM），揭露使用的開源軟體資訊、第三方元件、授權與漏洞補丁等；這目的在於透明化資訊，使必要時能迅速掌握所需情報。第三，有些方案重視軟體組成分析工具，用以辨識開源程式碼與安全漏洞。第四，軟體開發過程中開發人員的帳號安全。雙因素認證或多因素認證成為重點項目。¹⁶

另一方面，部分業者應對威脅的策略則是走向封閉化。為避免使用開源軟體可能產生的風險，以及出於保護自身產品的智慧財產權心態，不少廠商在開發過程中盡可能要求開發人員降低使用開源軟體比例，朝自行開發原始碼，建立屬於自身的封閉系統努力。看起來，這似乎是對電腦系統從早期的封閉式架構走向開放式架構發展的逆流，但實際上卻存在不同的脈絡；過去是受限於技術以及對市場排他性的目的，如今則是基於安全需求的考量。

陸、結語

俄烏戰爭的爆發，致使軟體供應鏈的安全議題在國家安全的脈絡下較以往更形重要。實際上，針對戰爭行動結合資訊攻擊的反制作為、韌性與防範已是當前顯學，而對軟體供應鏈安全議題的相關討論則可

¹⁶ 鍾銘輝，〈從供應鏈威脅看全球科技產品資安市場趨勢〉，《電腦與通訊》，2021年6月25日，<https://ictjournal.itri.org.tw/Content/Message/contents.aspx?&MmmID=654304432122064271&MSID=1126502366544734441>；羅正漢，〈提升軟體供應鏈安全，提升開發者帳號保護將是不可或缺的關鍵〉，《iThome》，2022年6月6日，<https://www.ithome.com.tw/news/151263>。

提供更細緻的面向。總體言之，疫情（COVID-19）以來的全球供應鏈斷鏈危機由於戰爭緣故雪上加霜，加之戰爭深刻地影響全球地緣政治與國際秩序，更是催化了逆全球化的潮流，導致供應鏈重組；網路空間的裂解情況有增無減，中立者立場近乎難以維持。這點從開源軟體社群對戰爭的分歧態度可見一斑。

隨著美國和其友盟與中俄的對抗態勢趨於明顯，在難以擺脫安全的不確定性（sense of uncertainty）的情況下，為保障供應鏈的安全，全球供應鏈的脫鉤也獲得更強勁的理由背書。觀察美歐與科技廠商的作為，目前出現的趨勢有三。首先是供應鏈出現重組並呈現集團化。這點從美國領頭的乾淨網路、印太經濟架構以及對比中俄結合可見之。第二，為保護軟體供應鏈的安全，相關手段趨於多元化與精緻化，近幾年資安方案大量出現是一明顯現象。最後，針對開源軟體的使用問題，由於使用開源軟體程式碼須公開，對於企業保護機敏資訊與安全的角度言，整體產業趨勢可能逐步走向使用自主封閉軟體（close source）。但這將可能造成技術進入門檻的提升與開發成本增加，長遠來看，可能不利於後進者加入與自由市場發展。

本文作者吳宗翰為倫敦大學國王學院中國研究院博士，現為國防安全研究院網路安全與決策推演研究所助理研究員。他的研究領域為網路主權、認知作戰、國際衝突與安全困境。

The Software Supply Chain Under the Shadow of the Russian-Ukrainian War

Tsung-Han, Wu

Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation

Abstract

With Russia launching its “special military operations” against Ukraine in 2022, bringing about a Cold War-like confrontation between states, the issue of software supply chain security has drawn much attention internationally. Though termed as supply chain, the software supply chain shares distinctly different features to “normal” supply chains which have clear nodes of raw materials originally from manufacturers and customers. Instead, in the Software Development Life Cycle process, developers often refer to and quote the framework and source code. As a result, there exists a large number of gaps for a malign attacker to invade the software supply chain that are difficult to defend.

To prevent such scenarios, governments around the world and industry highlight cybersecurity, reflect trust and open source security. This article analyzes the US’s and EU’s policy measures and industry’s solutions for related challenges. It argues that in order to secure the supply chain, regrouping should be forged, solutions diversified, and close source adopted more in software development.

Keywords: Software Supply Chain, Open-Source Software, Cybersecurity, Russia-Ukraine War

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

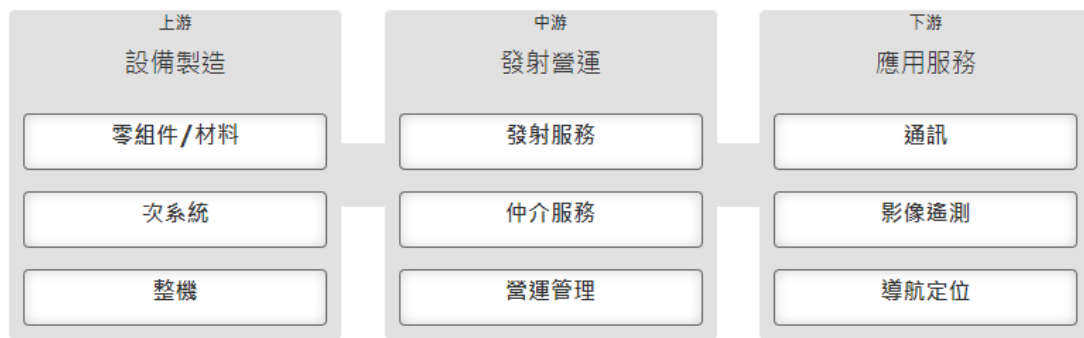
在當前大國競爭的國際環境下，不論美國、中國、還是歐盟等主要強權，都將關鍵產業供應鏈安全之重要性，置於國家安全層級。各國對供應鏈安全的重視，更在 COVID-19 全球疫情及 2022 年爆發的烏俄戰爭影響下只增不減。其中，因近年「新太空」（New Space）時代的技術發展，加上太空科技高度軍民兩用（dual-use）特性影響下，各國競相投入相關技術發展、儼然成為新的太空競賽，使太空產業供應鏈的安全，成為不可迴避之關鍵國安項目。

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。

Space Supply Chain Security of the “New Space” Era

Jyh-Shyang, Sheu

Juo-Min, Chou

Division of Chinese Politics, Military and Warfighting Concepts

Abstract

Since the end of the Cold War, space has been an area of power competition for the main powers. As all-new “new space” develops, the pattern of the supply chain has undergone massive changes. In the past, the space industry was mainly supported by the needs of big power national space agencies and the military, however, after entering the “new space” era, the space starts up industry has changed the supply chain from intermittent order receipt to, starting from upstream, needing to continually provide various raw materials and services right up to launch. However, new space doesn’t only bring changes in industry and technology development, the pronounced military and civil dual use characteristic of space technology has brought changes to military warfighting and even national security. These changes have appeared only more important with recent changes in international geopolitics in recent years, making supply chain security an important national security issue. Western countries are gradually attaching importance to supply chain security due to big power competition and even stressing the “value chain” of the democratic alliance; for Taiwan, which is just starting out, this is an opportunity for industrial development and a key period for the realization of the “space dream.”

On the government level, “new space” is similar to technology industries such as information and communications and the Internet; private startups will be more efficient and agile than government institutions. Amidst fierce competition, the government can provide private enterprises assistance in terms of certification, or, while enhancing key parts and component supply ability, with building system integration capability, nurturing talent and entering the international supply chain to allow the relatively young space industry continue to enhance competitiveness and find its own position.

Keywords: New Space, Space Industry, Supply Chain Security

烏克蘭危機下的東北亞傳統能源供應鏈

王彥麟

國家安全所

壹、前言

俄國對烏克蘭實施「特殊軍事行動」後，歐美國家隨即對俄國發動經濟制裁，相關措施對國際能源供應鏈帶來巨大衝擊，亦對各國經濟發展及能源安全產生深刻影響。依國際標準組織定義，供應鏈泛指「資源與過程相連結之組合，起始於原物料開採，延伸至產品或服務之提供，跨越輸送模式至最終使用者」。¹在此定義下，出口油、氣、煤等天然資源之俄國位居供應鏈上游，制裁措施對中下游之影響則波及產品、服務之提供（如電力及燃料）及使用者（價格）等層面。上述兩者恰與國際能源總署定義之「能源安全」概念契合，亦即能源供應鏈之安全應建立於「合理價格」及「穩定供給」等兩項要素上。²

世界十大能源消費國中，有四國位居東北亞，分別為中（第1）、俄（第4）、日（第5）、韓（第10）。上述國家除俄國為能源淨出口國外，中、日、韓均為能源進口大國。烏克蘭危機爆發後，各國對制裁措施立場不一，除中國加大自俄國進口能源外，日韓均面臨是否參與制裁及其衍生之能源安全困境。此外，中俄在能源供應鏈上雖漸深化合作，然自俄國近期舉措可發現其對過度依賴中國市場保持警戒，故仍設法維持日俄、韓俄能源供應鏈不致中斷。故上述國家如何隨國際局勢調整能源供應鏈，亦反映區域內政治及安全情勢。對此，本文將由（一）能源進出口國供應鏈相互依存程度、（二）影響能源安全之外

¹ 〈ISO 28000 供應鏈安全管理系統標準簡介〉，《經濟部標準檢驗局》，2001年9月11日，<https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Data/f1388125037366.pdf>。

² “Energy Security,” *IEA*, December 2, 2019, <https://reurl.cc/QbpZ7Z>.

交及政治因素、(三) 傳統能源供應鏈之替代選項等要素探討烏克蘭危機對東北亞傳統能源供應鏈安全之影響。

貳、中俄日韓基本能源形勢

一、能源生產及消費

俄國為世界第三大原油生產國，其產量達每日 1,050 萬桶，僅次於美國及沙烏地阿拉伯。該國亦為世界第二大天然氣生產國，產量僅次於美國。此外，俄國亦蘊含豐富煤礦，已知可採炭儲量達 1,790 億噸，為世界第六大煤炭生產國。

中國境內蘊含豐富煤礦，其能源消費特性亦以煤炭為中心，惟其於天然氣及石油方面並無自給能力，絕大程度仰賴進口。該國能源消費結構依序為煤炭（58%）、石油（20%）、水力（8%）、天然氣（8%）、核能（2%）及其他可再生能源（5%）。

日本於傳統能源方面幾無自給能力，由於其能源消費量巨大，故油、氣、煤等均需仰賴進口。自福島核災後，因安全規範新制及民間反核輿論等影響，核電佔日本總能源消費量比例持續低迷，其缺口多由天然氣發電補足，故日本近年對傳統能源之依賴程度不降反升。該國能源消費結構依序為石油（40%）、煤炭（26%）、天然氣（21%）、水力（4%）、核能（3%）及其他可再生能源（6%）。

韓國之能源形勢與日本大致相同，該國並未受惠於天然資源，亦高度仰賴海外能源進口。日本福島核災事件及 2016 年韓國東南部發生大地震後，韓國社會對核電疑慮漸深，該國前任總統文在寅於任期內主導「非核宣言」並決議不再新建核電廠後，煤炭及天然氣於該國能源供給結構中占比進一步上升。該國能源消費結構依序為石油（43%）、煤炭（28%）、天然氣（16%）、核能（10%）及其他可再生能源（3%）。

二、能源貿易（出口）

如上所述，俄、中、日、韓等4國中，僅有俄國受惠於豐富天然資源，得以成為淨能源出口國，該國出口結構長期倚賴能源礦產，世界油價高漲之際，油氣等資源出口佔該國年度歲收比率甚至可超過50%。³而俄國能源出口雖以歐洲國家為主要市場，惟近年在其積極擴大油氣資源出口收入背景下，使其漸將目光轉向東北亞市場。如該國於2009年提出之「2030能源戰略」中，便將中、日、韓等國納入戰略構想當中。⁴而隨著世界經濟重心漸轉往亞洲，東北亞地區國家在能源需求增大及進口源多元化等背景下，亦漸與俄國建立能源供應鏈，中日韓等國均於俄國能源出口版圖中占有一席之地（2020年，數據如次）。

（一）原油：中國（31%）、韓國（6%）及日本（2%）。

（二）天然氣：中國（5%）及日本（4%）。

（三）煤炭：中國（17%）、韓國（12%）及日本（10%）。

三、能源貿易（進口）

在俄國將目光轉向亞洲市場及中國能源需求增長等背景下，中俄能源供需關係漸趨緊密。⁵中俄於2019年開通「西伯利亞力量1號」天然氣管線，兩國更於2022年初就「西伯利亞力量2號」建設案達成共識。⁶當前中國對俄國之依存度分別為原油16%、天然氣10%及煤炭15%。⁷

³ “Federal budget of the Russian Federation,” *Ministry of Finance of the Russian Federation*, December 27, 2021, https://minfin.gov.ru/en/statistics/fedbud/?id_65=119254-quarterly_report_on_execution_of_the_federal_budget_starting_from_january_1_2011. “Full Report-Statistical Review of World Energy 2021,” *BP*, July 8, 2021, <https://ourworldindata.org/grapher/crude-oil-prices>.

⁴ 〈2030年に向けたロシアエネルギー戦略における方向性、優先の内容、参照事項〉，《ERINA REPORT》，https://www.erina.or.jp/wp-content/uploads/2010/01/se9141_tssc.pdf。

⁵ 〈通商白書2019〉，《日本經濟產業省》，2019年9月30日，<https://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2019/2019honbun/index.html>。

⁶ 〈西伯利亞力量二號：俄羅斯或讓中國和歐洲競爭購天然氣〉，《美國之音》，2022年1月19日，<https://reurl.cc/moVEK1>。

⁷ “Q&A | China-Russia Energy Relations: Will New Oil and Natural Gas Deals Help Russia Weather Economic Sanctions?” *Columbia University*, March 16, 2022, <https://reurl.cc/n19k68>.

俄國與日本能源供應鏈基本建立於「庫頁島 1 號」、「庫頁島 2 號」及「北極天然氣 2 號 (Arctic LNG 2)」等能源開採項目上。日本對俄國能源依存度分別為原油 3.6%，天然氣 8.8%，煤炭 11%。⁸

韓國於文在寅政權確立廢核路線後，因火力發電燃料需求增加，該國與俄國能源供給關係遂逐漸深化。韓國對俄國能源依存度分別為原油 6%，天然氣 5%，煤炭 17.5%。⁹

參、烏克蘭危機下的東北亞能源供應鏈

一、對俄國制裁立場不一

烏克蘭危機爆發後，歐美國家旋即對俄發動經濟制裁，俄國領導人普欽則於 4 月中旬下令擴大對亞洲等能源市場之輸出，以降低歐美國家制裁衝擊。¹⁰然而中日韓等國因能源消費型態及政治立場迥異，其應對、配合制裁措施之態度亦有所不同。

俄國對烏克蘭實施「特殊軍事行動」前夕，中俄兩國甫就金額超過 200 億美元之煤炭交易達成共識，同時就新的石油及天然氣交易達成協議，合約金額高達 1,175 億美元。¹¹而在烏克蘭危機爆發後，中國並未加入譴責及制裁俄國陣營，兩國仍持續深化能源貿易，雙邊合作未受戰事影響。在硬體建設方面，依據中國 2022 年 3 月 22 日發布之「十四五」規劃，中國仍將持續建設東北地區之中俄天然氣管線，並規劃將管線由河北省延伸至上海市。¹²在能源貿易方面，中國 2022 年 5 月份自俄國進口原油量為 841 萬噸（同期增加 54.8%）、液化天然氣進口量則為 39 萬噸（同期增長 54.3%），且俄國於該月超越沙烏

⁸ 〈電力・ガスの原燃料を取り巻く動向について〉，《經濟産業省》，2022 年 5 月 17 日，<https://reurl.cc/q5xRYy>。

⁹ Troy Stangarone, “How South Korea Can Wean Itself off Russian Fossil Fuels,” *The Diplomat*, March 31, 2022, <https://reurl.cc/KbmWOq>.

¹⁰ 〈プーチン氏、エネルギー輸出先の多様化指示〉，《日本經濟新聞》，2022 年 4 月 15 日，<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO60020780V10C22A4MM0000/>。

¹¹ 〈烏克蘭戰爭：中國、英國、印度等國家推出了哪些頗具爭議的政策〉，《BBC》，2022 年 4 月 30 日，<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-61230097>。

¹² 〈中国、エネルギー安全保障を強化へ、ロシアとの天然ガスパイプライン延伸の計画も継続〉《Jetro》2022 年 04 月 08 日 <https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/04/f08af7ce83c7028e.html>。

地阿拉伯，成為中國最大之石油來源國。¹³而由於中國政府今年以來積極推動煤炭保障供應政策，5月份自俄國進口量為330萬噸（同期減少17.5%），惟進口量仍較前月增長。¹⁴

烏克蘭危機爆發初期，日韓兩國仍持續自俄國進口原油，遭致各界抨擊。¹⁵然而隨烏克蘭戰事長期化及各國實施協調後，日本及韓國均已減少進口俄國原油，並將主要進口源轉往中東。¹⁶此外，日韓亦承諾停止自俄國進口煤炭，並設法於國際市場尋找其他來源。¹⁷

值得注意的是，由於天然氣貿易多以長期契約為主，且國際天然氣市場受烏克蘭危機影響而持續緊繃，暫難轉換進口來源，復以歐洲國家尚未就禁輸俄國天然氣達成共識，故日韓兩國未對俄國天然氣實施制裁，迄今仍維持進口。¹⁸

二、能源價格及物價波動

烏克蘭危機爆發後，中國未加入制裁俄國行列，且其持續以低價格大量進口俄國原油，使其免於承受國際能源供應鏈之價格波動。2022年1至5月間，中國消費者物價指數漲幅雖由0.9%爬升至2.1%，惟物價變動與主要國家相較尚稱溫和，未受國際能源價格影響。¹⁹

韓國2022年5月份之消費者物價指數較去年同期上升5.4%，其主因即在烏克蘭危機以來之能源價格高漲所致。此外，該國汽油零售

¹³ 〈中国 ロシア産原油やLNGの輸入量 前年同月比50%余の大幅増加〉，《NHK》，2022年6月21日，<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20220621/k10013682461000.html>。〈中国の原油輸入、ロシア産が55%増で過去最高 サウジアラビア抜き首位に〉，《BBC》，2022年6月20日，<https://www.bbc.com/japanese/61861915>

¹⁴ 〈中国のロシア産石炭輸入、5月は前月比51%増〉，《ロイター》，2022年6月20日，<https://news.yahoo.co.jp/articles/e10ed50721a94da7fe404e74ed5ea85a82a5830d>。

¹⁵ “South Korea Shamed for buying BARGAIN Russian oil – Oil Tanker Data Revelation”, *Express*, April 28, 2022, <https://reurl.cc/Gx974x>.

¹⁶ “Japan, South Korea, Thailand lead Asia’s Alliance Against Russian Crude Oil”, *Hellenic Shipping News*, July 11, 2022, <https://reurl.cc/556eOn>.

¹⁷ “Japan, S.Korea Coal Users Cut Russian Imports, Seek Alternatives,” *Reuters*, April 8, 2022, <https://reurl.cc/NR1V7x>.

¹⁸ 〈韓国はこれまで通り安定してロシア産LNGを購入〉，《SPUTNIK》，2022年5月29日，<https://jp.sputniknews.com/20220529/Ing-11383303.html>。

¹⁹ 〈消費者物價指數〉，《中國國家統計局》，2022年6月10日，<https://reurl.cc/60VrnO>。

價格更於 6 月上旬刷新 2008 年以來之新高，²⁰而在國際能源價格飆升背景下，韓國近期更已創下戰後最大之貿易赤字。²¹

日本 2022 年 5 月份之物價指數較去年同期上升 2.1%，看似跳脫該國長期通貨緊縮，惟深入觀察各項數據，可發現能源關聯項目上升 17.1%，其中電費上漲 18.6%，汽油則上升 13.1%。²²

三、日韓重啟核電減緩能源供應鏈「斷鏈」危機

烏克蘭危機為國際能源供應鏈帶來之衝擊，尤以市場價格及供給穩定為最。在此背景下，與油、氣、煤同屬傳統能源，²³且單位發電成本相對低廉的核電重新受到關注。烏克蘭危機前，中俄核電技術開發及電廠建設未曾間斷，日韓兩國則因政策路線逐漸降低核電運用比例。然而在烏克蘭危機爆發後，由於國際能源供應鏈高度混亂，亦間接促成日韓兩國政府重新審視核電對能源安全之重要性。

自 311 大地震引發之福島核災後，由於日本核電廠安全規範趨嚴，且民間社會對核電抱持負面印象，使核電佔日本總能源消費比例長期低迷。因上述核電能源缺口多由天然氣發電補足，亦使日本成為世界第二大天然氣進口國。然而烏克蘭危機爆發後，由於國際能源價格高漲，以及日本政府對俄實施制裁，在能源供應告急及物價上漲等因素影響下，贊成重啟核電民眾之比例已出現上升趨勢。²⁴而為減緩能源供應鏈混亂對能源安全之衝擊，日本首相岸田文雄甫於 7 月 14

²⁰ 韓國之物價指數並未計入住宅支出，若加計後一般認為將再增加 2%。參照〈14年ぶりの5%台物価、インフレとの戦いが始まった〉，《東亞日報》，2022年6月4日，<https://www.donga.com/jp/Search/article/all/20220604/3426103/1>。〈韓米両国でガソリン価格が史上最高値、さらなる利上げ〉，《東亞日報》，2022年6月13日，<https://www.donga.com/jp/List/article/all/20220613/3443725/1>。

²¹ 〈韓国お 1~5 月貿易赤字、通貨危機後最大〉，《韓國經濟新聞》，2022年7月2日，<https://reurl.cc/loq8z9>。

²² 〈消費者物価 2.1%上昇 5月、エネルギー・食料品高騰〉，《日本經濟新聞》，2022年6月24日，<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA240IV0U2A620C2000000/>。

²³ 王革華、艾德生、馬振基，《新能源概論》（臺北：五南，2014年，1版），頁4。

²⁴ 據日本經濟新聞實施之輿論調查，2021年9月之支持與反對比率分別為44%及46%，2022年3月之支持與反對比率為53%及38%。詳見〈原発再稼働「進めるべき」53% 核共有「議論を」79%〉，《日本經濟新聞》，2022年3月28日，<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA253590V20C22A3000000/>。

日宣布將重啟 9 部核電發電機組，期能於冬季用電高峰前確保國內電力供給。²⁵然由於重啟之核電發電機組皆位於西日本，對解除東日本能源缺口緩不濟急，在該國社會對全面重啟核電達成共識前，其能源供給安全仍難免於天然氣、原油及煤炭之制約及影響。

而在韓國方面，韓國新任總統尹錫悅正式上任前，該國政權交接委員會即發表「施政願景」。該願景將重啟核電之政策明文化，並明訂「重啟韓蔚核電廠 3、4 號機建設」及「2030 年前輸出 10 部核能發電機組」等具體政策方針。此外，尹政權於「施政願景」中，亦確立「將核能作為達成能源安全及零炭排之具體手段，強化核能產業及美韓核能同盟，加強對外出口，力求成為最強大之核能產業國」。²⁶尹錫悅就任後，於 7 月 5 日發表該政權首部能源政策，政策中除敘明烏克蘭情勢對能源供應鏈之衝擊，並提出 2030 年前核電發電量至少達總發電量 30% 之方針。而上述政策若付諸實現，韓國之化石燃料依存度將由 2021 年之 81.8% 降至 2030 年的 60%，²⁷屆時若國際社會對俄制裁尚未鬆綁，韓國或將優先向中東國家、北美、印尼或澳洲尋求能源進口，並減少自俄國進口比例，以減少政治、外交因素對該國能源安全帶來之風險。

肆、東北亞能源供應鏈及政治形勢

一、中俄能源供應鏈

烏克蘭危機爆發後，由於七大工業國組織（G7）及歐盟等主要國家已就降低對俄國能源依賴形成共識，故亞洲能源市場對俄國能源出口事業之重要性勢將逐漸增加。另一方面，中國為因應國內經濟增長，亟需兼具價格低廉及運輸安全之能源進口來源。由於中國在對俄制裁

²⁵ 〈原発を冬に最大 9 基稼働 首相表明、消費電力の 1 割〉，《日本經濟新聞》，2022 年 7 月 14 日，<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA133Z30T10C22A7000000/>。

²⁶ 〈韓国新政権、脱原子力政策を破棄〉，《電氣新聞》，2022 年 5 月 25 日，<https://www.denkishimbun.com/sp/205759>。

²⁷ 〈韓国新政権、2030 年に原子力シェア 30%〉，《原子力産業新聞》，2022 年 7 月 6 日，<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/13829.html>。

措施方面不受歐盟或七大工業國組織共識之制約，中俄深化能源供應鏈合作看似時勢所趨，然亦可發現俄國內部對過度依賴中國市場仍持警戒態度。例如，2022 年度聖彼得堡國際經濟論壇（SPIEF）中，俄國雖對中俄能源合作抱持高度期待與評價，然而論壇中亦可見俄國能源產業人士稱「中國要求降價之額度已達不當程度」及「過度依賴中國能源市場無法為業界帶來利益」等發言。²⁸此外，對於俄中兩國興建之天然氣輸送管道，俄國曾要求中方支付天然氣管線費用，推測俄方動機係為避免過度依賴中國能源市場，使中國政治及經濟話語權凌駕俄國之上。²⁹

二、日韓俄能源供應鏈

日韓兩國位居東亞，且國內缺乏油氣資源，故二者均高度仰賴海外進口能源。然而中東延伸至東亞之能源供應鏈途經荷莫茲海峽、麻六甲海峽及南海等高風險區域，故俄國油、氣、煤佔日韓能源進口總比例雖不高，惟其運輸距離較短且無須通過上述區域，故在供給安全上仍具高度戰略意義。也正因如此，在英美等國收緊對俄國制裁之同時，日韓仍維持其與俄國之能源供應關係。如日本遲不願表態放棄「庫頁島 1、2 號」及「北極天然氣 2 號」等能源基地開採權，且在石油及天然氣進口方面，僅願意以最低限度遵守對俄國制裁舉措之下限。

另一方面，為報復國際制裁舉措，俄國主張「非友好國家」應以盧布支付天然氣及石油款項，其後也因丹麥、荷蘭、保加利亞、波蘭及芬蘭等國拒絕以盧布支付天然氣費用，而停止對上述國家供氣。³⁰

²⁸ 〈重要性増す中国への過度な依存に警戒感も、SPIEF2022 で〉，《Jetro》，2022 年 6 月 21 日，<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/06/62c84d710fe0c9c9.html>。

²⁹ 天然氣輸出、入國間由管線相互連接，且管線上不存在第三國情勢下，因管線建設成本已成為輸出國之「沉沒成本」，可能使輸入國之話語權見凌駕輸出國。定義及俄對中要求詳見：塩原俊彦，〈アナリシス パイプラインの分析アプローチをめぐる諸問題 権力関係に注目する立場からの一視点〉，《石油・天然ガスレビュー》，第 43 卷第 5 号（2009 年 9 月），頁 33-45。〈俄官倡華出資建天然氣管道〉，《東方日報》，2021 年 11 月 12 日，<https://reurl.cc/9pEvLj>。

³⁰ 〈俄羅斯對西方減供天然氣 匈牙利稱獲供氣保證〉，《中央社》，2022 年 6 月 19 日，<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202206190208.aspx>。

然而日俄兩國迄今均未被俄國要求以盧布支付款項，³¹且俄國官媒仍反覆為日本「權衡利弊」，強調貿然中止日俄能源貿易將使日本蒙受極大損失，³²上述情況或顯示俄國仍有意維持與日韓之能源供應關係。

伍、結語

綜整本文所述，烏克蘭危機及其伴隨而來的能源制裁措施，已對國際能源市場帶來深遠影響，俄中日韓等 4 國亦對此巨變因應調整，而東北亞能源供應鏈在烏克蘭危機後或將出現下列趨勢。

其一，七大工業國組織及歐盟等西方國家就降低對俄能源依賴度達成共識後，亞洲能源市場對俄國之重要性將逐漸增加。由於中俄在地理位置及政治形態上具備合作優勢，兩國之能源供給關係勢將持續深化，惟俄國為避免過度依賴中國能源市場造成風險，勢將設法維持日俄、日韓能源供應鏈之存續，以分散出口市場。

其二，日韓自俄國進口之能源份額占其總進口比例雖不高，惟對日韓兩國而言，俄國能源在運輸距離及時效上仍具優勢。在歐洲國家尚未就完全禁輸俄國能源達成一致共識前，判日韓仍將維持其與俄國之能源供應鏈。考量日韓兩國近年對中東地區之能源依存度居高不下，且能源運輸路線途經南海及臺海等高風險區域，若日韓兩國在國際社會壓力下進一步降低（或停止）自俄國進口能源，或將促使日韓提高對南海及臺海安全情勢之關注。

其三，相較於中國政府近年全力發展核電產業，日韓於過去 10 年間因國內因素暫緩核電建設。而近期烏克蘭危機為國際能源供應鏈帶來之衝擊，可謂日韓重返核電發展道路之重要考量因素。日韓兩國重新擁抱核電，其背景除存在振興核電產業目的外，亦相當程度反映其對能源供應鏈安全之「避險措施」。由於日韓在核電技術方面具高度

³¹ 〈ロシアからの LNG 輸入、日本と韓国はルーブル建て支払いをまだ要求されず〉，《ARAB NEWS》，2022 年 7 月 5 日，https://www.arabnews.jp/article/japan/article_71231/。

³² 〈「サハリン 2」、事業主体をロシア企業へ：懸念する理由はあるのか？〉，《Sputnik》，2022 年 7 月 2 日，<https://reurl.cc/GxzDMx>。

國產自主能力，若國際能源市場緊繃情勢長期未解，核電將在日韓能源供給結構中占據更大比例，並一定程度替代跨國能源供應鏈中的石油、天然氣及煤炭貿易份額。

本文作者王彥麟為日本追手門學院大學經營學博士，目前為財團法人國防安全研究院國家安全研究所助理研究員。他的研究興趣包括日本防衛與外交政策、能源安全、情報研究。

The Conventional Energy Supply Chain in Northeast Asia Amidst the Russia-Ukraine War

Yen-Lin, Wang

Division of National Security Research

Abstract

After the outbreak of the Ukraine crisis, the international energy supply chain faced an enormous impact. The rise and flow and changes of the energy supply chains of China, Russia, Japan, South Korea and other major countries reflect the security situation in Northeast Asia to a certain degree. Examining the related effects of level of interdependence, diplomatic and political factors, alternative options and other factors, this article has reached the following conclusions:

First, the China-Russia energy supply relationship continues to deepen, however, to avoid overreliance on the China market, Russia will look for ways to maintain the Japan-Russia and South Korea-Russia supply chains to disperse export markets.

Second, Japan and South Korea are still highly reliant on Middle Eastern energy. If energy imports from Russia are reduced (or halted) by the two under international pressure, perhaps they will pay more attention to the security situation in the South China Sea and Taiwan Strait.

Third, the return to nuclear power route of Japan and South Korea is, to a great extent, a risk avoidance measure in face of supply chain chaos. If the tense market situation does not ease for a long period, to a certain extent nuclear power will replace the trade share of the cross-border energy supply chain.

Keywords: Energy Security, Energy Supply Chain, Conventional Energy

四方安全對話之乾淨能源供應鏈安全

劉翎端

國家安全研究所

壹、前言

今（2022）年5月24日，美國、日本、澳洲與印度在東京舉辦「四方安全對話」（Quad），會後所宣布啟動之「四方氣候變遷調適與減緩方案」（Quad Climate Change Adaptation and Mitigation Package, Q-CHAMP），除旨在降低印太地區的自然災害風險、加強該區域基礎建設對氣候變遷衝擊的韌性，建造綠色港埠與進行海運業減碳之外，另一大重點則為強化印太地區的乾淨能源供應鏈合作，包含：加速液化天然氣產業之能源轉型，發展乾淨氫能、乾淨氨燃料，推動碳捕捉、利用與封存（Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS）以及碳循環（Carbon Recycling）技術，將甲烷排放量儘可能降低。¹

四方安全對話在乾淨能源供應鏈之近期重點工作項目，為今（2022）年7月12至13日澳洲與國際能源署（International Energy Agency, IEA）共同舉辦的「雪梨能源論壇」（Sydney Energy Forum），美日澳印四國能源部長將會面，商談刻正研擬之四方「十年乾淨能源供應鏈路徑圖」，從而建構完善碳交易市場，擴大與印太地區其他國家的合作，加快該區域能源轉型之進程。²然而，四方安全對話積極發展乾淨能源供應鏈之更重要目的，則是藉由塑造綠氨與綠氫等新的綠能供應鏈，與目前領先印太區域再生能源發展（包含太陽能、風能、電動車、稀土生產和製造）的中國大幅脫鉤，藉由邀請與凝聚其他印

¹ “Quad Joint Leaders’ Statement,” *The White House*, May 24, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/24/quad-joint-leaders-statement/>.

² “FACT SHEET: Quad Leaders’ Tokyo Summit 2022,” *The White House*, May 23, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/23/fact-sheet-quad-leaders-tokyo-summit-2022/>.

太盟國夥伴，促使該綠能供應鏈的多樣化，提升區域能源安全，以擺脫中方牽制。³本文檢視該乾淨能源供應鏈合作之趨勢與意涵，以及可能面臨的挑戰：

貳、以乾淨氫與氨能使印太區域脫碳亦脫「中」

一、促使印太區域脫碳亦脫「中」

由於氫與氨燃燒後皆不會產生二氧化碳，若逐步汰換目前使用主流一生產成本低但碳排放量高的灰氫 (Grey Hydrogen)，搭配碳捕捉、利用與封存技術製成碳排放量稍低的藍氫 (Blue Hydrogen)，或是直接以太陽能或風能等再生能源電解水所製成、碳排放量極低的綠氫，即有助於達成淨零碳排目標。⁴因此「四方安全對話」於去 (2021) 年 9 月底成立一項乾淨氫能夥伴計畫，採用自再生能源、碳捕捉利用與封存及核能所生產之氫能，建設安全、有效的能源儲運分配基礎設施，促進及提升印太區域對乾淨氫能的需求與貿易。⁵

「四方安全對話」之乾淨氫、氨能合作模式，是先以美國、日本、印度、澳洲四國之間雙邊或多邊合作為基礎，擴大納入其他印太區域，甚至歐洲地區的國家，以求在氫氨等替代能源上能創造新的區域供應鏈，與中國徹底分離。因為太陽能、風能及電動車供應鏈均有過度集中於中國的趨勢，在印度大力推行乾淨氫能與氨能產業，能降低中國在印太地區之能源影響力，維繫區域政經平衡。雖然在此同時，中國

³ Jun Nagashima, "Can the Quad Lay the Groundwork for Environmental and Economic Security?: Eliminating Vulnerabilities and Ensuring Resilience," *International Information Network Analysis*, https://www.spf.org/iina/en/articles/nagashima_09.html; James Bowen, "Enhancing Clean Energy Cooperation," *The National Bureau of Asian Research*, June 23, 2022, <https://www.nbr.org/publication/enhancing-clean-energy-cooperation-in-the-indo-pacific/>.

⁴ "The Role of Hydrogen and Ammonia in Meeting the Net Zero Challenge," *The Royal Society*, May 19 2021, <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-hydrogen-ammonia.pdf>; 〈產業技術評析：全球氫氣生產方式的發展與趨勢〉，〈經濟部技術處〉，2021年5月26日，https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=364。

⁵ "Fact Sheet: Quad Leaders' Summit," *The White House*, September 24, 2021, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/24/fact-sheet-quad-leaders-summit/>.

亦正計畫大規模發展乾淨氫能，對比於中方可能具有相對較低的氫能價格優勢，印度則擬追求生產高品質氫能，與中國競爭。⁶

二、合作計畫與搭配政策

「四方安全對話」規劃未來將進行「乾淨氫能與氫能夥伴計畫」(Clean Hydrogen and Ammonia Partnership)，來發展乾淨氫能與氫能相關供應鏈，並在今(2022)年下半年召開一系列會議，包含日本12月所將舉辦之氫與氨供應鏈經濟國際研討工作坊，印度擬提出之「四方乾淨氫戰略倡議」(Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative)、7月亦先針對氫能相關法規標準辦理四方對話研討會。⁷而現階段「四方安全對話」在乾淨氫與氫能的具體合作案例，包含：印度和澳洲於新能源和再生能源的技術合作、日澳脫碳技術與碳回收合作備忘錄、日本與印度乾淨能源夥伴關係、日美乾淨能源倡議等。⁸此外，美國、日本、印度、澳洲各國在氫氫能源的發展現況、產業結構與優勢均不盡相同，故需要透過「四方安全對話」的雙、多邊機制，以創造出最佳的產業策略與商業利基。

此外，因印太區域幅員極為廣大，乾淨氫與氫能從生產、運輸、儲存到配送，須經由複雜管線、運輸槽車與船舶、廠站設施，故需進行妥善的可行性評估，才能確保乾淨氫與氫能供應鏈的推行具備安全性與經濟效益。目前四方安全對話針對幾項氫與氫能供應鏈專案，所進行的可行性評估研究包含：自澳洲運送乾淨氫能至日本⁹、自西澳輸

⁶ Rishi Ranjan Kala, "Quad Eyes India as Manufacturing Hub for Green Hydrogen," *The Hindu Business Line*, June 28, 2022, <https://www.thehindubusinessline.com/markets/commodities/quadeyes-india-as-manufacturing-hub-for-green-hydrogen/article65576219.ece>.

⁷ "Quad Cooperation in Climate Change and Launch of the Quad Climate Change Adaptation and Mitigation Package (Q-CHAMP)," *Ministry of Foreign Affairs of Japan*, May 24, 2022, <https://www.mofa.go.jp/files/100348057.pdf>.

⁸ 同註6。

⁹ 此評估案為澳洲國內最大之獨立油氣公司「伍德塞德石油」(Woodside Energy Group)，而日方合作對象則有隸屬經產省之獨立行政法人「石油天然氣金屬礦物資源機構」(Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, JOGMEC)，提供日本北陸福井、石川與富山三縣之電力「北陸電力公司」(Hokuriku Electric Power Company)，「關西電力公司」(The Kansai Electric Power Company)，以及綜合商社「丸紅」(Marubeni Corporation)。

出低碳氫能至日本¹⁰、自南澳維多利亞州輸出至日本神戶港之液態氫海運計畫¹¹、美國洛杉磯港口設置現地製氫與耗氫之長期性示範計畫¹²、在印度推展氫燃燒技術¹³、日美澳三方對碳捕捉與封存場址建置光纖監測設備等案¹⁴。

在「四方安全對話」成員當中，美國、日本與澳洲擁有較前端的乾淨氫能與氫能製造技術，而印度則因有較低廉的勞力與土地成本等優勢，被看好在未來可作為乾淨氫能與氫能的生產中心。¹⁵印度國內及其他三個成員國與此願景相配合之政策包含：

(一) 印度：推出乾淨能源及技術補貼政策，印度總理莫迪已於 2021 年 8 月發布、旨在打造印度成為全球綠氫生產樞紐之「國家氫能計畫」(National Hydrogen Mission)，印度電力部(Ministry of Power)亦於 2022 年 2 月制定綠氫 / 綠氨政策 (Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy)¹⁶，美國、日本與澳洲也打算透過各項雙邊合作機

¹⁰ 本評估案為綜合商社「三井物產」(Mitsui Corporation)在澳洲的油氣生產子公司(Mitsui Exploration and Production Australia, MEPAU)與獨立行政法人「石油天然氣金屬礦物資源機構」合作。

¹¹ 該「氫能供應鏈試驗計畫」(Hydrogen Energy Supply Chain, HESC)為世界首次液態氫海運計畫，由「零碳氫能供應鏈技術研究協會」(CO₂-free Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association, HySTRA)以及日澳雙方中央政府、澳洲維多利亞州政府及雙邊相關天然氣與造船企業所執行與資助，參與成員包含澳方「AGL 能源公司」(AGL Energy)，日本方面則有「川崎重工業」(Kawasaki Heavy Industries)、「川崎汽船」(Kawasaki Kisen Kaisha)、「電源開發株式會社」(Electric Power Development Corporation)、日本液化石油氣市占率居首之「岩谷產業株式會社」(Iwatani Corporation)、綜合商社「丸紅」(Marubeni Corporation)與「住友商事」(Sumitomo Corporation)等。

¹² 本計畫由隸屬於日本經產省之獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)協助，參與企業包含：三井造船(Mitsui E&S Machinery Corporation)、豐田通商(Toyota Tsusho Corporation)、屬於豐田集團並以製造中重型貨車與巴士為主的日野汽車(Hino Motors)等。

¹³ 本評估案亦由日本獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(NEDO)支持。

¹⁴ 此研究計畫參與成員包括：美國北達科達大學「能源與環境研究中心」(The Energy and Environmental Research Center, EERC)、日本「地球環境產業技術研究機構」(Research Institute of Innovative Technology for the Earth, RITE)、日本獨立行政法人「新能源產業綜合開發機構」(NEDO)、澳洲國家級科研機構「聯邦科學暨工業研究組織」(CSIRO)、澳洲「溫室氣體合作研究中心」(Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies, CO2CRC)等研究單位。

¹⁵ 同註 7。

¹⁶ 印度「國家氫能計畫」目標為 2030 年以前綠氫年產量需達五百萬噸，總理莫迪並誓言印度於 2047 年以前要成為能源獨立國家；“National Hydrogen Mission (Ministry of New & Renewable Energy),” *Ministry of Information and Broadcasting, Government of India*, March 21, 2022,

會，於印度投資乾淨氫能與氨能製造技術，尤其是再生能源電解（electrolysis）製氫，然後再將所生產之綠氫運回各自國內。¹⁷

（二）日本：以「日印能源部長對話」推動綠氫與綠氨技術合作，將2022年2月至4月訂為「日印乾淨氫能月」鼓勵日企至印度投資。

18

（三）澳洲：發布《印度經濟戰略 2035》（An India Economic Strategy to 2035），其中指出澳洲與日本在氫能運輸技術合作上的突破，亦即將太陽能或風能製造的綠氫轉成氨作為能源載體，可使澳洲成為印度的氫能供應來源國，故提倡澳洲與日本、印度共同合作，將可發掘氫能產業商機。¹⁹

（四）美國：繼2018年以來啟動「美印能源戰略夥伴關係」（U.S.-India Strategic Energy Partnership, SEP），規劃美印雙方於電力與能源效率、石油與天然氣、再生能源及永續發展等四大主軸進行合作，2021年9月再進一步與印度提出「美印乾淨能源戰略夥伴關係」（U.S.-India Strategic Clean Energy Partnership, SCEP），並將氫氣新增至雙方於「石油與天然氣」之合作主軸中，推動能源產業、能源終端使用部門之脫碳與電氣化。²⁰

<https://static.pib.gov.in/WriteReadData/specificdocs/documents/2022/mar/doc202232127201.pdf> ; “Ministry of Power notifies Green Hydrogen/ Green Ammonia Policy,” *Ministry of Information and Broadcasting*, February 17, 2022, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1799067>.

¹⁷ 目前由再生能源電解水製造綠氫，有鹼性電解（Alkaline electrolysis, AE）、質子交換膜電解法（Polymer electrolyte membrane, PEM），以及「固態氧化物電解電池」（Solid Oxide Electrolysis cell, SOEC）等方法，其中SOEC電解效率較佳，未來發展潛力高，為印度希望引進推廣的製氫技術；工業技術研究院綠能與環境研究所，〈國際氫能基礎建設之發展與推動現況〉，《再生能源資訊網》，2022年5月20日，<https://www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=201&id=4523>；同註15。

¹⁸ “Japan-India Summit Meeting,” *Ministry of Foreign Affairs of Japan*, May 24, 2022, https://www.mofa.go.jp/sa/sw/in/page1e_000405.html ; “India-Japan Clean Hydrogen Month,” *Embassy of Japan in India*, February 18, 2022, https://www.in.emb-japan.go.jp/itpr_ja/11_000001_00499.html.

¹⁹ Peter N. Varghese AO, “An India Economic Strategy to 2035: Navigating from Potential to Delivery,” *Department of Foreign Affairs and Trade*, April 2018, <https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/minisite/static/07db88b0-d450-4887-9c90-31163d206162/ies/pdf/dfat-an-india-economic-strategy-to-2035.pdf>.

²⁰ 美國商務部國際貿易管理局（International Trade Administration, U.S. Department of Commerce）亦與印度高科技中心（Center of High Technology）舉辦煉油與石油化工業網路研討會，分享

參、降低乾淨能源成本為首要任務

目前中國在太陽能、風力發電產業規模與價格上領先全球，其亦打算以該優勢在未來大力生產綠氫，例如中國國家發展和改革委員會已聯合中國國家能源局制定為期 15 年之《氫能產業發展中長期規劃（2021-2035 年）》，規劃 2025 年以前綠氫年產量要達到 10 至 20 萬噸，2035 年納入交通、工業與能源儲存，打造多元氫能供應鏈。²¹而重點城市例如上海，亦搭配推出 2022 至 2035 年氫能產業發展中長期規劃，目標是成為「東亞氫能貿易中心」及「國際一流的氫能科技創新、產業發展及多元示範應用高地」²²。

面對中國發展乾淨能源的強勁態勢，「四方安全對話」與印太地區的其他國家亦意識到，自己應在區域乾淨能源供應鏈中投入更多資源、提高參與度，以求降低中國對該供應鏈的影響力。²³然而，在印太區域打造既脫碳又與中國脫鈎的綠氫與綠氨等乾淨能源供應鏈，未來能否推行成功，首要任務即為降低生產、運輸、儲存與配送等相關成本。日前澳洲已有氫能技術開發團隊，成功製造出與天然氣價格相近的綠氫（2 美元 / 公斤），未來可望朝量產規模發展，並輸往印太地區其他國家。²⁴此外，美國能源部已於 2021 年提出十年內將綠氫生

美國在氫氣生產、碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 上的創新技術；“U.S.-India Strategic Clean Energy Partnership: Responsible Oil and Gas Pillar,” *U.S. Department of Energy*, September 2021, https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/SCEP%20Pillars_Accomplishments.pdf；“Joint Statement: U.S. and Indian Ministers Revitalize the Strategic Clean Energy Partnership,” *U.S. Embassy in India*, September 9, 2021, <https://in.usembassy.gov/joint-statement-u-s-and-indian-ministers-revitalize-the-strategic-clean-energy-partnership/>.

²¹ 中國官方宣稱 2021 年生產 33 百萬公噸氫氣，居世界首位，且 2030 年以前年氫氣生產量預計將達 43 百萬公噸，同時也估計 2030 年以前，綠氫於氫氣總生產量占比將由 2019 年的 1%，成長至 10%；Zheng Xin, “Green Hydrogen to Rise in China,” *China Daily*, May 5, 2022, https://english.www.gov.cn/news/topnews/202205/05/content_WS62732b97c6d02e533532a417.html.

²² 〈氫能產業發展中長期規劃（2021-2035 年）〉，《中國國家能源局》，2022 年 3 月 23 日，http://zfxgk.nea.gov.cn/1310525630_16479984022991n.pdf。

²³ James Bowen, Reenergising Indo-Pacific Relations: Australia’s Clean Energy Opportunity, *Perth USAsia Centre*, July, 2022, <https://www.climatecouncil.org.au/wp-content/uploads/2022/07/Reenergising-Indo-Pacific-Relations-Australias-Clean-Energy-Opportunity.pdf>.

²⁴ “Australian R&D Puts Low Cost Hydrogen within Reach,” *ARENAWIRE*, May 9, 2022, <https://arena.gov.au/blog/australian-rd-puts-low-cost-hydrogen-within-reach/>.

產成本降低 80%至 1 美元 / 公斤的「111 目標」 (\$1 per 1 kilogram in 1 decade) ; 另一方面, 印度「信實集團 (Reliance)」也於 2022 年 2 月宣布, 希望在 2030 年前將綠氫生產成本降至 1 美元 / 公斤以下。

25

肆、結語

藉由「四方安全對話」之合作機制, 美國、日本、印度和澳洲得以在印太區域形塑出一條新的乾淨能源供應鏈, 縱然仍有價格問題待克服, 其結合美、日、澳在綠氫與綠氨之製造運儲技術, 印度蓬勃勞動力與低廉土地價格等潛力, 從而發展出與中國脫鈎之脫碳路徑, 仍可提供印太地區其他國家更自由的能源消費選項, 及更為穩固的能源安全保障。

本文作者劉翎端為英國劍橋大學環境、社會與發展碩士, 倫敦政治經濟學院環境與發展碩士, 現為財團法人國防安全研究院國家安全研究所政策分析員。主要研究領域: 氣候變遷、能源與自然資源安全。

²⁵ “Hydrogen Shot,” *U.S. Department of Energy*, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>; Cdr (Dr) Jayakrishnan N Nair, “How Green is Hydrogen?” *Defence Research and Studies*, April 29, 2022, <https://dras.in/how-green-is-hydrogen/>.

Clean Energy Supply Chain Cooperation of the Quad

Ling-Tuan, Liu

Institute for National Defense and Security Research

Abstract

The Quadrilateral Security Dialogue (QUAD) was held by the US, Japan, Australia and India on May 24, 2022. One key point was enhancing energy supply chain cooperation for clean hydrogen and ammonia in the Indo-Pacific region. China at present leads the world in the solar power and wind power industry industries and wants to use this advantage to produce green hydrogen. Quad plans, on the basis of bilateral or multilateral cooperation between members on clean energy, for example combining the relatively advanced manufacturing technology of the US, Japan and Australia with India's competitive labor and land costs and other advantages, then expanding to include the participation of other Indo-Pacific countries or EU countries to create an innovative substitute energy supply chain and thus take a decarbonization path that is detached from China. Even though at the present time there are price and technical problems to be overcome for the manufacture of clean hydrogen and ammonia, there is hope that, in future, this cooperation model will provide the Indo-Pacific region with more diverse energy choices and help increase regional energy security.

Keywords: Quad, Clean Energy, Supply Chain

台灣無人機供應鏈現況與安全盤點

陳柏宏

國防戰略與資源研究所

壹、前言

俄烏戰爭爆發後，無人機在戰場上的運用彈性再次浮上檯面，在新聞中可以見到民用無人機在戰爭中除了仍能操作外，也具有其存在的價值。烏克蘭除藉由民間飛手操作的民用無人機來定位俄軍的車隊與高價值目標座標外，¹民用無人機也成為記錄戰場時況的絕佳工具，在某些案例中，無人機還能成為保全戰爭罪行證據的有效工具。²俄烏戰爭中也顯示民用無人機在高強度軍事衝突中仍可保有相當操作空間，且憑藉著較軍用無人機更多的數量與飛手儲備（單就我國註冊在案的數字，就有 7.8 萬架民用無人機登記）³在我國臺澎防衛作戰想定中，確能形成守方優勢。但民用無人機因製造國的不同，仍存在著操作後台可能因政治因素遭到限制的疑慮，以在全球掌握超過七成市占的大疆無人機為例，⁴在俄烏戰爭中便傳出運用其「航空鏡」技術（AeroScope）來限制烏軍使用該公司旗下的無人機、或揭露使用大疆無人機的烏軍位置，以利俄方進行標定砲擊，⁵即便大疆聲明否認，稱其為電力與區域網路訊號問題，⁶但相關疑慮仍令使用者難以釋懷。

¹ Evan Simko-Bednarski, "The Drone that Saved Kyiv was Piloted by a 15-year-old Boy," *New York Post*, June 7, 2022, https://nypost.com/2022/06/07/the-drone-that-saved-kyiv-was-piloted-by-a-15-year-old-boy/?utm_medium=SocialFlow.

² 羅苑韶，〈救了基輔的英雄！15歲少年用無人機定位阻擋俄軍入侵〉，《上報》，2022年6月8日，https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=3&SerialNo=146558。

³ 張曜麟，〈無人機2年註冊7.8萬人！考照及格率破8成 違規銳減、去年僅4件〉，《蘋果新聞網》，2022年3月15日，<https://www.appledaily.com.tw/life/20220315/LCAM25LRKJFBXNNK7FIG36RNOY>。

⁴ 吳介聲，〈遍佈天空的威脅：國際紛禁大疆無人機，台灣警覺度不足？〉，《聯合報鳴人堂》，2020年12月22日，<https://opinion.udn.com/opinion/story/120611/5111890>。

⁵ 〈一用大疆無人機就遭定位砲轟 烏克蘭海陸士兵不用了〉，《自由時報》，2022年4月10日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3888410>。

⁶ 孫宇菁，〈烏無人機偵察功能疑故障 中國大疆公司否認出手限制〉，《自由時報》，2022年

因此，保有純國產無人機產業鏈與產製能力，對國家韌性的延伸至關重要，本文藉由拆解無人機的主要次系統與零附件、軟體等組件，分析台灣目前民間的無人機製造廠商與其供應體系，進一步分析目前國內無人機產業的研發、製造能力與限制，以錨定出產業概況，並理解供應鏈可能的脆弱斷點與可能的補強作為。

目前我國常見的民用無人機大多為 2 公斤至 25 公斤左右的空拍機與農用噴藥無人機，另有用於競技娛樂使用的遙控飛機不在本文討論之列，特此說明。

貳、無人機供應鏈能力盤點分析

筆者將依照無人機飛具設計、主要次系統硬體、原物料來逐項盤點台灣無人機產業相關的廠商，建立起脈絡化的台灣無人機產業地圖。

一、飛具設計 (Aircraft design) 與機體結構

目前無人飛行系統 (Unmanned Aircraft Systems, UAS) 依其飛具設計的構型可分為：定翼機 (Fixed-wing)、單旋翼機 (Copter)、多軸旋翼機 (Multi-copter) 與定翼—多軸混合 (Hybrid-VTOL) 構型等四種，目前市場上不論是軍用或民用的無人飛行載具均離不開此四項基本構型，因此擁有自行設計、整合各種機體構型的能力，是製造無人飛行載具的基礎。

在機體結構上，目前主要民用無人飛行載具的材料有鋁合金、塑膠、碳纖維、玻璃纖維複合材料 (Carbon Fiber Composite) 等，由於我國民用無人飛行載具受限於法規限制，重量 25 公斤以上的無人機須向民航局申請檢驗，方由民航局發予型式認證檢驗合格證或特種實體檢驗合格證，⁷這個過程須交付大量的紙本資料 (含所有零件的規

3 月 12 日，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3857739>。

⁷ 〈遙控無人機管理規則〉，第 15 條，第 1 款：最大起飛重量二十五公斤以上之遙控無人機，為確保遙控無人機符合設計、製造、改裝之性能諸元，應由其所有人檢附申請書，向民航局申請實體檢驗，經檢驗合格者，發給實體檢驗合格證。

格、設計圖紙)，因此雖然其申請的規費不高，⁸但行政成本相較之下也非一般自然人能力之所及，因此目前我國民用市場上的無人飛行載具均以 25 公斤以下為主流。

台灣目前除學校單位外，整個西半部北中南均有廠商能進行無人機全機設計、製造與整合的能量。不論是定翼型無人機（經緯航太、碳基科技、智飛科技、天空飛行）、旋翼型無人機（緯華航太、經緯航太、雷虎科技、亞拓電器、田屋科技、航見科技、尚皇科技）、多軸旋翼型無人機（經緯航太、卓恩智能、澄森國際、亞拓電器、翔探科技、中光電智能機器人、航見科技、銀通無人機、蒼穹科技）或是混合構型無人機（蜂鳥飛行器、卓恩智能、智飛科技、蒼穹科技）均可由構型選定至機電整合完成全機設計、製造。整體來看，在無人機系統整合與飛具設計、製造的領域，北部、中部的廠商還是遠多於南部的廠商。

另外，從無人機機體的材料來看，台灣已有行銷美國的航太級鋁合金廠商「燁鋒輕合金股份有限公司」，除了美國波音、法國空巴集團，以色列生產的裝甲車之外，連中科院和漢翔，都向該公司購買原料，⁹而在複合材料的碳纖維板材部分，也由於最上游製造碳纖維所需之丙烯晴是由台塑自行生產製造，且台塑並具備生產丙烯晴原絲的能力，因此台灣在碳纖維原料的製造上，除了更高階的碳纖維須由日、美等國（日本為最大宗）進口外，其餘一般的碳纖維皆已可自行製造，由於上游（台塑、中油）、中游（福懋、台灣電緣、協技、勝鵬、明安、長興、南亞、巨翰、上緯、華宏），甚至下游（巨瀚、明安、大田精密、塑茂、美利達、精創國際、太宇工業、復盛、漢翔、拓凱）

第 2 款：最大起飛重量二十五公斤以上之遙控無人機，為自行製造、使用者，其所有人應檢附前項申請書，向民航局合併申請型式檢驗及實體檢驗。經檢驗合格後，發給特種實體檢驗合格證。

⁸ 同註 7，附件 17，費用標準。

⁹ 鄧凱一，〈世界最強戰機零件 來自桃園 150 人小廠〉，《天下雜誌》，第 628 期，2017 年 7 月 26 日，<https://www.cw.com.tw/article/5084067?template=transformers>。

的產業都已成熟，¹⁰所以部分本土無人機製造商甚至可以直接購買原料來進行客製零組件的壓製，¹¹但將原料鑄製為成品，仍非所有系統商有能力可及，相關的產業仍有斷層。

二、無人機動力與次系統

（一）動力系統

無人飛行載具的核心就是動力系統，依動力來源可分為電池動力、內燃機（International Combustion Engine, ICE）動力與混合動力三種系統，混合動力（Hybrid Power）意為機載系統採用鋰聚電池以外的動力來源，例如汽（柴）油引擎發電或氫燃料電池發電，或是同時使用兩種不同的動力來源驅動機體。目前台灣民用市場的無人飛行載具不論是定翼機或單旋翼機，均以電池動力或燃油動力為主要動力來源；而多軸旋翼機因機體飛行操作原理，主要使用電池動力為主；定翼—多軸混合構型的機體，除了使用純電池動力外，目前也有使用混合動力，以內燃機推動水平飛行時的螺旋槳，並將內燃機與發電機結合，提供電力給無人機飛控電腦、任務酬載、伺服機、通訊運用。不過，垂直起降多軸部分仍使用電池為動力。

以內燃發動機來看，目前台灣已具研製遙控無人機內燃機成熟的能力，且具有成熟的上下游產業，以遙控無人機（定翼機、單旋翼機）級的內燃機引擎，均有能力自行設計製造（雷虎、泰世、東高新機械、佶宏、宜鎡），甚至已替國外代工製造航空模型機引擎，可見其產業成熟度。

由於目前電池科技的普及，許多無人機均使用鋰聚合物電池（Lithium polymer battery）做為動力來源，鋰聚合物電池為鋰電池的升級版，使用膠態或固態聚合物，相較於鋰電池更輕巧且易於塑型，

¹⁰ 羅濟威，〈台灣碳纖維產業發展分析及研究〉，《科技政策觀點》，2016年1月29日，<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10204>。

¹¹ 筆者電話訪問，泰世科技，2022年7月5日。

因此可被做成各種形狀以適應機體造型，並具有比鋰電池為佳的能量密度和放電率，為目前短距離無人飛行載具的主流動力來源，但長距離飛行仍以引擎為動力來源。

台灣在鋰電池的發展已久，鋰電池也是傳統無人機的主要動力來源之一，台灣鋰電池的製造也有完整的上中下游產業鏈，但由於無人機主要使用的鋰電池為鋰聚合物電池，與目前市面上需求較大，與電動車市場同步的磷酸鋰鐵電池不同，但確已有廠商投入鋰聚合物電池的研發和生產。

（二）飛行控制電腦

飛行控制電腦（Flight Control Computer, FCC）為無人飛行載具的大腦，負責執行飛行任務，其中包括航向計算、飛行姿態控制、航行資料收集等工作、除了接收地面控制站的控制訊號外，也能將航跡及無人機的狀態數據資料回傳至地面監控站，以利操作人員在視距外掌握無人飛行載具。

而控制無人機的核心飛控電腦，由於台灣早年已有厚實的產業基礎，因此前述幾家有能力進行全機設計整合的廠商，有部分公司也能推出自己的飛行控制電腦與飛控軟體，另一業界的趨勢為使用開源飛控軟體，由於開源軟體的不斷更新，也可針對需求買斷，因此整體還有降低開發時間與除錯率較高等優勢，可視機體功能需求不同進行選擇。

（三）伺服機

伺服機為遙控無人機的重要組件，主要功能為接收操作者的控制指令，驅動翼面等操作介面，達到控制機體的功能。伺服器的可靠度與控制精度也直接影響機體的性能，伺服機也必須定期更換。

而在機體內的伺服器、馬達等無人機零組件，也有廠商能支援供應，以作為國內伺服器大廠泓記精密（SavoX）為例，其整體國產自

製率極高，甚至連電動無刷馬達的外殼，也為自行 CNC 車製或塑膠射出。

（四）GPS 天線模組

除了上述的重要次系統外，飛控電腦還會接收來自姿態航向參考模組和 GPS 天線模組的資料，以瞭解機體的航向、高度、位置和狀態，另外飛控電腦也能夠透過無線傳輸模組來接收 / 回傳來自控制站的訊號；除了有夠強的無線傳輸模組之外，也有賴機體上的通訊天線使訊號順利收發。

而在無人機中負責接收 GPS 訊號的定位系統，在台灣從上游的晶片（含 IC 設計）、震盪器、濾波器；中游的 GPS 模組到下游的天線、顯示面板、訊號接收器甚至圖資軟體等，均有完整的產業鏈。無人機通訊模組在市場上的取得也相對容易，且各大無人機製造商也有能力進行自家通訊模組的設計與整合。

三、酬載 (Payload)

上段所述的系統，均著重在讓無人飛行載具「起飛」這件事上，但現在的無人機真正的功能，往往不僅僅是飛行，無人機的應用領域寬廣的原因，就是在於無人機僅是個載台，而載台上所安裝的酬載，才是現在市面上各種商用無人機的價值所在。例如可進行電影拍攝、田野測繪、數位地形模型、海洋、農業監測和保安監視等應用。與上述功能相容的硬體設備，如數位攝影機、多光譜相機、高解析度相機、熱顯像攝影機等裝置，目前主流的攝影機設備，在能即時回傳實況畫面的前提下，可傳輸達 720p / 120fps 的高畫質影像給飛手，若不需即時回傳實況畫面，則可依搭載的攝影機性能，將影像儲存在記憶體中，進一步提升畫面解析度，而數位攝影機搭配 AI 辨識裝置，也可迅速進行各種探勘作業或做為安全用途使用。

目前市面上常見的無人機，主要還是應用在空拍或是農業噴藥等

項目，即便是農業噴藥，也會有光學鏡頭以便利操作者確認無人機所在的環境，可見光學鏡頭模組為民用無人機最重要的酬載應用裝備，沒有光學鏡頭或是數位攝影機，目前市面上的無人機便僅剩下遙控模型機的功能。台灣在光學鏡頭或是攝影模組的製造上，也佔有一席之地，但僅停留在零組件的製造，並無整合成熟商品的能力。

除了光學任務酬載模組之外，台灣目前尚有廠商在進行雷達等機載次系統的研發（創未來、芳興科技），這些任務酬載廠商除了零組件開發、設計、製造外，也已進行獨立的系統整合，意即不是以零組件的方式出貨，而是能將產品形成可立即使用的產品，僅需要進行安裝與控制系統整合，也是擴展無人機使用範圍的重點。

參、台灣無人機供應鏈安全的挑戰

一、本島缺乏原物料

雖然就前段看來，台灣無人機產業似乎已具完整的產業能力、一路從最基礎的原料生產、到進階的次系統發展與基礎的馬達、發動機等核心組件，甚至連較為高階的飛控電腦主板、與定位晶片皆有廠商在世界產業鏈中占有重要角色，但台灣原本就是個缺少天然資源的島嶼，從原物料來看，即便我國擁有自行生產碳纖原絲的能量，也具有能打入世界一流航太產業的鋁合金製造廠商，甚至能短時間依照客戶需求自行製造各式特規的電動無刷馬達，但仍需要進口最基礎的原物料，以上面的例子來說，碳纖原絲的原物料是石油、鋁合金的原物料是鋁錠及其他稀土（全世界稀土 80%由中國供應）原料，而電動無刷馬達，即便像泓記精密這樣自製自產率極高的廠商，最終也是要面對鈹鐵硼原料的問題；台灣眾多的無人機電池廠，缺少稀土原料，也無法製造電池。沒有關鍵的原物料，就無法憑空製造出優秀的產品。

二、因市場規模，大型發動機仍需外購

從研究訪談中得知，大多數消費型無人機的動力組件（例如電動

無刷馬達)，由於成本問題，即便是台灣設計的馬達，仍會在中國代工製造，除了中國有完整的無人機市場外，其較我國低廉的人力與土地成本也是關鍵。台灣廠商仍有在本土製造發動機或馬達的能力，但仍受到成本與市場的嚴厲考驗。從產業發展的角度來看，台灣目前在內燃發動機的生產製造能力僅停留在遙控模型無人機的等級，若以長滯空大型無人機的發動機來看，目前仍以進口國外（美國或澳洲）的專用發動機作為動力來源。近年來，由於國際情勢的改變，美國緊縮對外輸出品項，加以美國公司併購其他國家的發動機廠商後，原可透過民間採購的商規發動機也有可能納入管制名單內，對產業進行研發生產都造成影響。

長期來看，國內廠商對於本土研發的能量與品質均有信心，但礙於市場規模，無法進一步投入生產，這也是台灣目前無人機產業遭遇的問題之一。

三、廠商規模、整合能力及部分技術不足

此外，台灣無人機產業投入的廠商之多，可謂令人眼花撩亂，誠然，此為台灣社會的活力與研發能力的直接體現，台灣民間無人機產業鏈雖然看似已成形，但廠商規模卻都有限，且生態鏈並未進行整合，能否形塑出能在世界市場競爭的系統商還有待觀察，其根本的原因就是在於國內應用市場雖多元但都偏小，¹²而進軍海外時則會面臨歐美日等國家優先扶持該國專業無人機相關公司的發展，因此很多時候，優秀的台灣零組件廠商僅能成為國外大型無人機廠商的「打工仔」，為其提供價廉物美的零組件。另外的問題就是在大型次系統的整合，以無人機用攝影系統來看，台灣有許多優秀的影像處理晶片廠商（聯詠）和空用攝影機組裝廠商，但我們卻缺乏整合出無人機載數位攝影機的能量，除此之外，目前市面上多數可見的雙軸、三軸雲台穩定器

¹² 陳書璿，〈【台廠無人機升空】無人機天王大疆遭美列黑名單 台廠抓緊良機竄出頭〉，《鏡週刊》，2021年9月23日，<https://www.mirrormedia.mg/story/20210915ind001/>。

也均是以陸製或其他國家生產的高階產品為主，台灣雖有研發能量（海巡署所用田屋無人機的三軸穩定器據稱為與國內高等校院產學合作之成品），但並無量產能力，因此國內無人機產業鏈雖然看似掌握上、中、下游的技術，但在某些關鍵的次系統上，仍然極端仰賴其他國家（包含中國）的技術與產能。而這些細節正是影響民用無人機操作體驗的重點，沒有良好的操作體驗，就無法增加市佔率擴大市場，進而會形成封閉的循環，最終成為他國無人機輸出的一個部分，無法真正打入市場競爭。

以軍用無人機而言（無人戰鬥空中載具，Unmanned Combat Air Vehicle, UCAV），航電系統與控制系統能否擁有國產技術至關重要，國產的航電系統就表示能使用國產的武器系統進行整合，而不需要將武器系統外包給國外，這也能進一步促進本土國防產業的進步。

承上，由於無人機的崛起來得又快又猛烈，面對可能對國家安全帶來的影響，制定專法管制有其必要性，但目前法規在管制上並未細分規定及配套措施下，因此大幅降低無人機活動的彈性自由，也連帶造成國內無人機發展受到挑戰，進一步降低市場活動，以現行無人機考照制度為例，無人機法規嚴格規範飛行操作限制及飛行空域，大幅降低娛樂用途的使用者使用意願，休閒使用無法充分融入生活，無人機過度被定位於專業領域，而忽略了消費性市場的發展潛力，沒有市場，就沒有廠商願意進一步投入研發、生產、製造，從本文一開始的俄烏戰爭為例，台灣在期待民間提供更多的能量以維持戰時的國家韌性時，依現行法規可能不會出現如新聞那般的 15 歲「英雄」。

肆、結論

誠然，一般民用無人機與軍規無人機不論在等級、尺寸或是使用的系統規格上都有極大的落差，我國的無人機產業欣欣向榮的同時，不代表我國的無人機在國際上擁有宰制市場的能力。從俄烏戰爭的經

驗來看，在民間數量眾多的無人空拍機，仍可為守勢部隊提供有價值的情報，這確是國防韌性的一環，更體現育兵於民的精神；俄烏戰爭也提醒我們，沒有將全系統控制能力完全掌握在自己手上，在資安等同國安的現代戰場上，便於操作的設備也可能瞬間失去功能，政府擘畫產業未來前景時應予考量。

一直以來，台灣就是以充滿活力的中小企業著稱，這些中小企業不論是高鮮亮麗的高科技產業，或是憑著匠人精神一再將產品磨礪至頂尖的傳統產業，都是形塑出台灣這個獨特產業文化的一份子，藉由本文的盤點，除可瞭解台灣在無人機體系的優勢之外，也能面對原生的限制，藉由分散有風險的供應鏈來增強整個產業在非常時期持續運作的韌性外，也需要進一步思考，如何將法規做調整，讓內需市場打開，使 MIT 的產品能在台灣的上空飛翔，也能進一步，讓無人機產業持續發展，形塑出強而有力的國家韌性。

本文作者陳柏宏為淡江大學戰略所碩士，現為國防安全研究院國防戰略與資源研究所政策分析員。他的研究領域為先進戰鬥系統、無人機應用、資訊作戰、認知作戰。

Current Situation of Taiwan's Unmanned Aerial Vehicle Supply Chain and Security Inventory

Bo-Hong, Chen

Division of National Defense and Resources

Abstract

This article analyzes the current situation of the industry chain of the main systems of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) that are produced in Taiwan to understand which UAV supply chains Taiwan might enter in the midst of the US-China trade war and, through this inventory, allow related units to understand the weak points of the entire supply chain at present and how they can be reinforced and to assess whether purely indigenous UAV are feasible. It is also suggested that micro-adjustments are made to regulations to facilitate the development of the civil UAV industry. Only with sufficient civil capability can sufficient technological power be stored up, allowing civil power to be used by the state.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles (UAV), US-China Trade War,
Supply Chain

