

壹、前言

中共在 2022 年 8 月於台灣周邊的演習，企圖展現區域拒止，以及對台灣封控的能力，面對中共近年來在台海及南海日漸頻密的軍事行動，已對區域安全造成衝擊，面對直接且嚴峻的軍事挑戰，強化台灣的防衛力量就為當務之急。如同 110 年國防報告書所揭櫫「防衛作戰構想」，以不對稱作戰以及戰略持久為戰略核心，而具體的規劃是以既有的近岸濱海與灘岸防衛為基礎，同時強化向外延伸防衛縱深，並增加防衛固守韌性，也就是爭取防衛空間與時間，以總體戰力破壞敵軍作戰節奏，阻止其「快速奪取台灣、避免外力介入」的戰略企圖。因此台灣未來應持續發展遠距精準打擊能力之武器、提升網路電子戰（cyber-electronic warfare）能力，以掌握戰場規則的可能改變。

用兵之外就是造兵，國防自主是造兵之策，然而要如何「造兵」，則要以前述的戰略指導的「用兵」為基礎，此為戰略與資源的管理與配置。在考量前述的外部威脅與用兵指導思想，造兵的發展就有方向與重點，包含遠距精準打擊能力之反艦、防空飛彈；並善用我國高科技產業之優勢，有利於以資通訊科技為核心的無人載具之發展，也有利於發展雷達、通訊等電磁攻防系統，強化台海周邊的電磁屏障。

科技的發展也在改變戰場的規則，機械、數位資訊科技的跨領域整合使得單位火力與速度都大為增加，相對的戰場物理空間也隨之改變，因此兵力的運用與以往就有很大的不同。例如冷兵器時代的部隊是以密集隊形構成方陣衝擊，火槍時代則以排為單位組成射擊梯隊，後膛槍成熟後則以散兵隊形為主，這都說明科技改變火力並進一步改變兵力的運用。

* 國防安全研究院國防戰略與資源研究所副研究員兼所長。

具體觀察，以現代師級單位為例，美軍的作戰準則規範的作戰地境線在二次大戰時為 10 公里正面、40 公里縱深，現代的美軍師則為 40 公里正面、縱深則為 240 公里，¹ 師責任區的作戰空間由 400 平方公里增加為 9,600 平方公里，放大達 16 倍之多，主因就是單位火力與機動力的增加，使同一等級的部隊擁有更彈性的任務執行能力。進一步觀察，科技進步使精確導引彈藥越加精進，而類似精準打擊能力作戰計畫的關聯性就在節約兵力（economy of force）² 精確彈藥的重要性也可由 2012 年，歐洲防務局（EDA）委託進行的一項研究強調，「對精確度的需求已經增長，既要增加打擊對手的影響，又要避免友軍和非戰鬥第三方的傷亡。」³

同樣受惠於通訊技術進步的網路化武器（Network-Enabled Weapons, NEW）得以彌補瞄準階段的空隙，藉由發現、追蹤、接戰的整合將使目標處理較以往更快速，並能進行攻擊效果的評估。這也有助於避免作戰行動相互衝突（de-conflicting operations）、避免重複打擊（duplication of effort）、降低友軍誤擊（potential for fratricide）並增加及時（timely manner）攻擊目標的機會。⁴ 這都說明軍事科技對於作戰能力的關鍵地位與貢獻。

同時，滿足國防需求之外，造兵的資源投入也有助於國防經濟的發展。在發展國防自主產業的同時，由於相關的科技研發，以及原物料採購，善用其「溢出」（spill over）效益，可有效地帶動並輔導國內產業升級，進而活絡經濟，進一步來說，依照日本、歐洲等先進國家數據顯示，國防自主產業至少可產生 1.8 倍經濟加乘（multiplier）效益，以「潛艦國造」為例，若以首艦可能造價為 450 億元的估算，⁵ 約可產生 810 億元的

¹ William K. Freeman Jr., *A Study Ammunition Consumption* (Kansas: Fort Leavenworth, 2005), p. 13, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA451782.pdf>.

² J. Sine, "Defining the 'Precision Weapon' in Effects-Based Terms," *Air & Space Power Journal article*, 2006.

³ P. Taal and V. Tsiamis, *Roadmap and Implementation Plan on Precision Guided Ammunition*, 2012. Available at: https://eda.europa.eu/news-and-events/news/2012/03/07/Roadmap_and_Implementation_Plan_on_Precision_Guided_Ammunition.

⁴ B. Koudelka, *Network-enabled Precision Guided Munitions*, 2005. Available at: http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/cst/bugs_ch03.pdf, accessed October 2018.

⁵ 此為公開資訊的可能造價，另造船的首艘造價成本通常較高，隨著學習曲線的積累，後續船艦的成本也將降低。張佩芬，〈台船 442 億潛艦訂單落帶〉，《工商時報》，2019 年 5 月 4 日，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20190504000332-260511?chdtv>。

產值，而整體造船計畫的建造可提供船廠工作機會、煉鋼、閥件、航電、作戰系統等周邊產業鏈的技術升級等複合效益，此即為國防經濟的發展。因此針對未來戰場的關鍵裝備進行評估，將有利於結合台灣既有的產業科技與工藝，形成國防戰力與產業發展的正向循環。

貳、關鍵與新興軍事科技類別

一、戰場上的科技競爭

2022 年爆發的烏俄戰爭再次證明新科技在戰場上的價值，例如具代表性意義的無人機應用，包括土耳其提供的「旗手」（Bayraktar）軍規無人機，或各類民用無人機的運用，透過影像的直接傳輸，目標被鎖定與擊毀的畫面震撼人心，也使得無人機成為各方矚目的焦點。

然而無人機自第一次世界大戰末期間世以來，發展已超過百年，且在 1982 年貝卡山谷之役（Battle of Bekaa Valley），以色列便使用無人機擔任電戰誘餌以反制防空系統，⁶ 1991 年波灣戰爭之後美軍的無人機隊更加成熟，因此其運用與成熟其實是隨著電子科技的進步而更加茁壯，也就是說無人機作為載台，而其搭載的偵蒐、數據通訊、火控等次系統才是無人機的靈魂。

進一步來看，刺針（stinger）飛彈、標槍（javelin）飛彈等短程飛彈，以及後續投入戰場的 M-777 牽引榴彈砲、海馬士（High Mobility Artillery Rocket System, HIMARS）砲兵火箭等都不是新的武器系統，但一樣受惠於電子科技的進步，使其在觀測瞄準、定位、導引、飛行控制等能力，使其精準度與可靠度大幅提升。這都說明未來戰場的關鍵科技與武器，可予個別的裝備具備戰力組合的能力，如同積木可彈性配置出多元組合，也就是模組化的作戰能力。此種模組化的特性，除了前述精準彈藥的相互搭配外，透過數據網路的鏈結可發展出全新的戰術操作樣態，包括無人裝備的

⁶ Rebecca Grant, “The Bekaa Valley War,” *Air & Space Forces Magazine*, June 1, 2022, <https://www.airandspaceforces.com/article/0602bekaa/>.

群組攻擊（swarm），以及「忠誠僚機」（loyal wingman）人員與自主載具的人機（human machine）混合編組遂行任務的全新作戰模式，這都亟須要人工智慧、數據鏈、通訊傳輸等科技的整合所形成的核心能力。

二、軍事關鍵與新興科技

一般對軍事關鍵技術（critical technology）的認知主要為戰場上的各類武器所展現的能力，如無人載具、精準彈藥、飛彈、戰機、船艦、相位雷達等有形的裝備作為代表之外，更重要的是若將這些武器進行拆解，其內載系統的科技應用才是真正的關鍵。進一步來說，武器內載系統的各個「次系統」（sub-system）包括感測器、控制系統、數據傳輸等跨領域科技的整合，而各次系統內所包含的「元件」（component）的科技含量與製造工藝（製程、材料等），乃至軟體程式、目標特性資料庫等就是關鍵技術與科技的真正核心。如同美國防部在 2018 年所發布的《美國 2018 年國防戰略摘要》（Summary of 2018 National Defense Strategy of The United States of America）中所認為「新商業科技將改變社會，以及戰爭特性」。⁷這也充分說明現代先進商用科技的進展，具有高度的軍用潛力，只需部分改良與強化就可以較低的成本轉為軍事用途。

因此對何謂軍事關鍵科技，可由相關機構的評估，觀察若干關鍵與新興科技的類型，而主要的代表性國家則為具軍事領先地位，且資料具透明性的美國為代表。

在進一步選擇代表性機構，首先是公部門，主要由軍事機構乃至具備開放性資料的美國國會研究處（Congressional Research Service）為代表，其次為私部門，可以商業研究機構，以及網路商情分析機構為代表。

⁷ Department of Defense, *Summary of the 2018 National Defense Strategy of The United States of America* (Washington, D.C.: Department of Defense, 2018), p. 3, <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf>.

（一）公部門觀點

美國防部在 2018 年所發布的《美國國防戰略摘要》，列舉六項關鍵軍事技術，選定六項關鍵軍事科技，包括人工智慧（artificial intelligence）、殺傷性自主武器系統（lethal autonomous weapon systems, LAWS）、高超音速武器（hypersonic weapons）、定向能武器（directed energy weapons）、生物科技（biotechnology）、量子科技（quantum technology），並認為此將確保美軍未來有能力作戰並贏得戰爭。⁸

而美國國會研究處於 2022 年 4 月對此趨勢進行跟進研究，並發布《新興軍事科技：提送國會的背景與議題》（Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress）就公開資訊進行評估，所列舉具影響力的軍事科技為基礎，並比較美國、俄國、中國在這些技術領域的發展，主要目的是作為國會審議國防部政策與預算之參考。⁹

由於美國國會研究處的報告在撰寫過程，可諮詢政府官員、產業界、學術界人士，具有跨領域的研究彈性，因此其論點具有相當代表性，而在美國防部提出關鍵軍事科技 4 年後的 2022 年美國會持續追蹤，也等同進一步認定關鍵軍事技術的主要類別與項目至今仍可視為主要的發展趨勢與方向。

（二）私部門觀點

相較於政府部門的觀點，美國民間部門的評估也可作為對照參考，美國的各類智庫與企業界極為活躍，透過各種公開資料的綜整與交叉分析可看出主要趨勢。如美國具代表性的新創企業研究機構「美國新創觀察」（Start US Insights）藉創新地圖（innovation map）模式著手，過濾選定全球 1,036 家新創公司，以及擴大營業的類型與主攻科技項目，列

⁸ Department of Defense, *Summary of the 2018 National Defense Strategy of The United States of America*, Ibid., p. 3.

⁹ Kelley M. Saylor, *Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, April 6, 2022, p. 1, <https://sgp.fas.org/crs/natsec/R46458.pdf>.

出十項軍事技術，包括人工智慧、先進防衛裝備如高超音速航空器與定向能武器（advanced defense equipment, hypersonic aircrafts, directed energy weapons ...）、機器人與自主系統（robotics & autonomous systems）、軍事物聯網（internet of military things, IoMT）、網路戰（cyber warfare）、沉浸式科技（immersive technologies）、積層製造（additive manufacturing）、大數據分析（big data & analytics）、5G 通訊、區塊鏈（blockchain）。¹⁰

另一指標為網路搜索量（searches）作為觀測，代表性機構為「主題爆發」（Exploding Topics）所進行，該機構主要是透過網路搜尋量與聲量進行深度的解析，以做出商業情報的分析。依照該機構的評估，指出六項值得關切的軍事科技，包括機器人的擴大投資（increased spending on robotics）、高超音速系統大幅進展（major advances in hypersonic systems）、網路戰威脅增加（the growing threat of cyber-warfare）、3D 列印提供的新材料與製造機會（3D printing offers opportunities for new materials and manufacturers）、定向能武器進入新測試階段（directed energy weapons emerge from the testing phase）、通訊與電子戰干擾的回歸（renewed focus on electronic warfare and communication jammers）。¹¹

（三）軍事關鍵科技的綜合評估

前述公私部門對於關鍵軍事科技的觀點，具有不同面向與涵蓋範圍，一般來說，私部門係被動地彙整市場動向與趨勢，傾向量化分析。而公部門則是基於戰場、部隊經驗所做的彙整，傾向質化分析，因此兩者綜合來看具有一定意義。這些機構所列舉的關鍵軍事科技可綜整如表 1-1。

¹⁰ “Top 10 Military Technology Trends & Innovations for 2022,” *Start US Insights*, August 28, 2022, <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-military-technology-trends-2022/>.

¹¹ Josh Howarth, “6 Military Technology Trends to Watch (2022-2025),” *Exploding Topics*, August 10, 2022, <https://explodingtopics.com/blog/military-technology-trends>.

表 1-1 關鍵軍事科技類型與項目

私部門		公部門	
排序	美國新創觀察	網路關注數 (searches)	美國國防部 / 國會研究處
1	人工智慧	機器人	人工智慧
2	高超音速航空器與定向能武器	高超音速 (飛行) 系統	殺傷性自主系統
3	機器人與自主系統	網路戰	高超音速武器
4	軍事物聯網	3D 列印	定向能武器
5	網路戰	定向能武器	生物科技
6	沉浸式科技	通訊與電子干擾	量子科技
7	積層製造	-	-
8	大數據分析	-	-
9	5G 通訊	-	-
10	區塊鏈	-	-

依照表 1-1 所示，進行交叉比對方式，可以進一步歸納幾個類型：

1. **高度交集項目：**包括公部門與兩個私部門都認定之項目為高超音速系統、機器人、自主性武器。
2. **中度交集項目：**由兩個機構共同選定，可進一步分為：
 - (1) 公部門、私部門單一商業機構共同選定者為：人工智慧、定向能武器。
 - (2) 兩個私部門選定者：網路戰、3D 列印 / 積層製造、通訊技術。
3. **獨自選定項目：**

公部門：國防部獨自選定者為生物科技、量子科技。

私部門：美國新創獨自選定者為沉浸式科技 (AR/VR)、大數據分析、區塊鏈 (保密)。

這些機構不同的選定有所差異，一方面是機構屬性的不同，以及資料擷取方式的不同，加上表述方式的差異，例如對於雷射等定向能武器，美國國防部為單獨列出，但私部門的 Start US Insights 則將其歸為先進裝備總類中的一項，未單獨列為獨立項目。無論如何，這都可作為軍事關鍵項目定位的重要依據。

表 1-2 軍事關鍵科技分類

加權分類	科技項目
高度交集	高超音速系統
	機器人
	自主性武器
中度交集 (公部門 / 1 家私部門)	人工智慧
	定向能武器
中度交集 (兩家私部門)	網路戰
	3D 列印 / 積層製造
	通訊技術
單一選定 (美國防部)	生物科技
	量子科技
單一選定 (私人公司)	沉浸式科技 (AR/VR)
	大數據分析
	區塊鏈 (保密)

以前述高度交集的科技項目為例，個別技術的內涵意義可分述如後：

1. **人工智慧**：人工智慧在軍事的運用，可利用資料庫與運算能力強化情報、監視和偵察 (intelligence, surveillance, reconnaissance, ISR) 所需的軍事評估，進一步以自主武器系統結合機器視覺可強化安全管理並增強自主武器系統的能力，從而減少士兵傷亡風險。
2. **機器人與自主系統**：藉由 RAS 技術的整合，可以協助部隊提高戰場感知，降低作戰人員的風險。主要的應用是透過各類陸海空的無人載具用於協助部隊運輸降低士兵體力負擔，使其能更專注於作戰任務，同時用於戰場偵察可提高戰場感知，並可執行地雷排除、爆裂物處理等高風險作業。
3. **先進軍事裝備**：包括高超音速 (hypersonic) 飛行器、定向能武器 (directed energy weapons) 以及太空軍事 (militarization) 發展。同時，國防產業也將其目標調整為符合淨零排放 (net-zero)。透過軍用機的電力推進 (electric propulsion) 和氫燃料等電力能源投入作戰的技術投資促進了這一轉變。此外，國防研發機構正在

推進生物技術和納米技術的研究，用以製造自我修復裝甲（self-healing）。¹²

經由前述機構所列舉的關鍵軍事科技，具有相當的代表性，進一步歸納後可分為三大類 13 個項目，可作為具代表性的關鍵技術選項具有相對可信的依據，有利於進一步作為相關科技選擇與產業發展的重要參考。

參、台灣產業與軍事關鍵科技的整合與連結

同時，以台灣各類型產業的科技、生產、製造工藝觀察，具備前述關鍵軍事科技研發、製造的相當潛力。台灣擁有紮實的資訊、數位、各類製造業基礎，但多為代工模式缺乏系統整合，且技術分散於個別企業，此亦為發展軍事關鍵科技的挑戰所在。因此若由政府部門所提出的整合型產業著手，可較為清晰地觀察全貌。

一、戰略產業關聯性

總統蔡英文於 2020 年 5 月 20 日就職演說宣示，「推動資訊及數位、資安卓越、台灣精準健康、綠電及再生能源、國防及戰略、民生及戰備等六大核心戰略產業」，其後行政院訂定「六大核心戰略產業推動方案」並已於 2020 年 12 月 10 日准予備查，目的係在「5 + 2」產業創新的既有基礎上，掌握全球供應鏈重組先機，成為未來全球經濟的關鍵力量。¹³

而依照行政院的政策指引，六大核心戰略產業所指涉的技術項目則包括：

¹² “Top 10 Military Technology Trends & Innovations for 2022,” *Start US Insights*, op., cit.

¹³ 〈推動「6 大核心戰略產業」——讓臺灣成為未來全球機記得關鍵力量〉，《行政院新聞傳播處》，2021 年 1 月 18 日，<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/a60cabcd-397e-4141-92ce-b8678bc8b2ca>。

1. 資訊及數位產業

- (1) 願景：推動台灣成為貢獻全球繁榮與安全的數位基地。
- (2) 策略：透過研發新世代半導體技術、擴大人工智慧暨物聯網（AIoT）應用場域，與整合國產 5G ORAN（開放網路架構）方案，以維持台灣資通訊（ICT）技術領先，並輸出 AIoT 解決方案及打入際電信設備及系統供應商。

2. 資安卓越產業

- (1) 願景：打造能被世界信賴的資安系統及產業鏈。
- (2) 策略：研發 5G、半導體等防護技術、開發 AIoT 及醫療等領域解決方案，並成立資安攻防及跨國合作機構，強化新興領域防護及打造高階實戰場域。

3. 台灣精準健康產業

- (1) 願景：建構台灣為全球精準健康及科技防疫標竿國家。
- (2) 策略：建置基因及健保巨量資料庫，開發精準預防、診斷與治療照護系統，發展精準防疫產品與拓展國際生醫商機，將防疫成功模式以台灣品牌推向全球。

4. 國防及戰略產業

- (1) 願景：推動國防自主，讓台灣成為全球航太船艦及太空產業重要供應鏈。
- (2) 策略：推動成立 F16 維修中心，建立軍機自主維修能量，並研發航太及船艦核心關鍵技術，完備國防產業供應鏈。太空產業將發展低軌道衛星及地面設備，行銷太空國家品牌。

5. 綠能及再生能源產業

- (1) 願景：打造台灣成為亞太綠能典範。
- (2) 策略：建構再生能源產業專區及研發基地、健全綠電參與制度，以及打造離岸風電國家隊，切入亞太風電產業鏈，讓台灣風電產業輸出國際。

6. 民生及戰備產業

- (1) 願景：建構足以確保關鍵物資供應的民生及戰備產業。
- (2) 策略：穩固五大供應鏈（能源自主、糧食安全、民生物資、醫療物資、救災及砂石水泥調度），並掌握半導體材料與設備、車用電池、原料藥及 15 項重要工業物資等關鍵原材料，確保關鍵物資自主供應無虞。¹⁴ 進一步看，所謂的關鍵原材料係指鋼鐵、製銅、製鋁、造船、機械、電機、汽車、通訊電子、食品、水泥、化工原料、橡膠、塑膠製品、日用品、航空，¹⁵ 而其中的金屬材料、電機、通訊電子等關鍵原料則與軍事關鍵科技相關。

由以上六大核心戰略產業以及相關策略所涉及的科技類別，依照與軍事關鍵科技的相關性區分為直接關聯的國防及戰略、資訊與數位、資安卓越三大類型，以及間接相關的綠電及再生能源、民生與戰備產業、精準醫療兩大區塊。可將其關聯性以下列表項進行說明。

透過此一關聯表可以更清晰地描繪出戰略產業與軍事關鍵科技的關聯性，也反映出台灣相關產業的潛力，若能予以系統整合，則相當有機會發展更具競爭力的國防產業，以滿足防衛需求並結合經濟發展。

¹⁴ 〈推動「6大核心戰略產業」——讓臺灣成為未來全球機記得關鍵力量〉，《行政院新聞傳播處》，2021年1月18日，<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/a60cabcd-397e-4141-92ce-b8678bc8b2ca>。

¹⁵ 詹發冠，〈六大核心戰略產業推動方案〉，《國家發展委員會產業發展處》，2020年12月10日，頁10，<https://ws.ndc.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS9hZGlpbmlzdHJhdG9yLzEwL3JlbGZpbGUvMC8xMzk3NS80MmE2ZjRkYS0xNGYxLTQ2ODktYmYyYi00YTJkZTEzOGZlOTUucGRm&n=MTA5MTIxMF8o6KGM5pS%2f6Zmi6Zmi5pyDKeWFreWkp%2baguOW%2fg%2balsOeVpeeUoualrS5wZGY%3d&icon=.pdf>。

表 1-3 軍事關鍵技術與我國戰略產業之關聯分析

我國六大戰略產業		美國律定軍事關鍵科技		備註
業種	項目	官方部門	私部門	筆者建議我方可能增列項目
國防及戰略產業	航太及船艦核心關鍵技術，國防產業供應鏈。低軌道衛星及地面設備		高超音速系統（中科院衝壓引擎具潛力）	奈米技術、匿蹤科技
資訊與數位產業	AI、5G 通訊、資通訊（ICT）	人工智慧、通訊技術、自主性武器、大數據分析	機器人、沉浸式科技（AR/VR）（部分民間公司具潛力）	低軌衛星通訊
資安卓越產業	資安攻防、新興領域防護、打造高階實戰場域	網路戰、區塊鏈（保密）	量子科技	我量子國家隊初期投入，含經濟部、國科會、中研院等
綠能及再生能源產業	再生能源產業專區及研發基地		定向能武器	微波武器（中科院投入初步研發雷射武器）
民生及戰備產業	半導體材料與設備、車用電池、原料藥及 15 項重要工業物資等關鍵原材料	3D 列印 / 積層製造		3D 列印
精準健康產業	建置基因及健保巨量資料庫，開發精準預防、診斷與治療照護系統	生物科技		

二、台灣科技產業的能力評估

台灣的數位、資工、精密製造等科技產業為我國的強項，而個別業種與企業的科技水準有不同評估方式，本文則以較通行的附加價值法作為觀測指標，則可以宏觀地瞭解台灣相關產業與具備先進軍事科技的國家之產業差距，有助作為發展相關軍事科技的指標參考。

依照行政院主計總處最新國情統計，「2020年我國製造業附加價值率32.3%，相較之下同年日本製造業附加價值率為36.8%，美國更高達41%，但我國產業的附加價值率逐年提升並超越韓國」。主計總處並指出，主要受惠於高階應用產品推陳出新等因素帶動。¹⁶

主計總處的統計進一步可看出「製造業所創造附加價值6兆3,221億元，各中業占比以電子零組件占41.0%最高，電腦、電子產品及光學製品占10.2%居次、化學材料及金屬製品則各占6.1%及5.6%；前十大中業附加價值率最高為電子零組件（46.0%），其次為金屬製品（34.2%）及塑膠製品（32.0%），至於基本金屬、化學材料、食品及飼品與電力設備及配備則因耗用原材物料比重較高，附加價值率相對較低。」¹⁷

由此一統計可以比較出，台灣電子零組件的附加價值最高，而電腦、電子產品、光學製品雖居於次要地位，但由產品屬性而言屬於系統整合型成品或半成品，在物件開發、生產、製造過程具有場景應用，軟硬體設計、整合等完整的研發能力，因此可視為發展軍事關鍵科技的基礎能力。

再由職司國家科技政策的國家科學與技術發展委員會所提出的2023年度施政計畫觀察，在「國防科技前延探索計畫」中，列舉「資電通訊與智慧化科技、關鍵系統分析與整合、前瞻感測與精密製造研究、尖端動力系統與飛行載具、先進系統工程研究、先進船艦及水下載具、先進材料與力學分析研究」等七大領域，¹⁸以及人工智慧、量子科技的科技發展方向來觀察，的確具有發展軍事關鍵技術的政策決心，而學界也具有研發潛力。

¹⁶ 綜合統計處，〈109年我國製造業附加價值率提高至32.3%〉，《國情統計通報》，第23號，2022年2月8日，<https://www.dgbas.gov.tw/public/Data/2281633345LG6L25T.pdf>。

¹⁷ 同前註16。

¹⁸ 國科會，《國家科學及技術委員會112年度施政計畫》，2022年，頁15-7，<https://www.nstc.gov.tw/nstc/attachments/202525da-5cd0-44b6-8696-d939cf486ea8>。

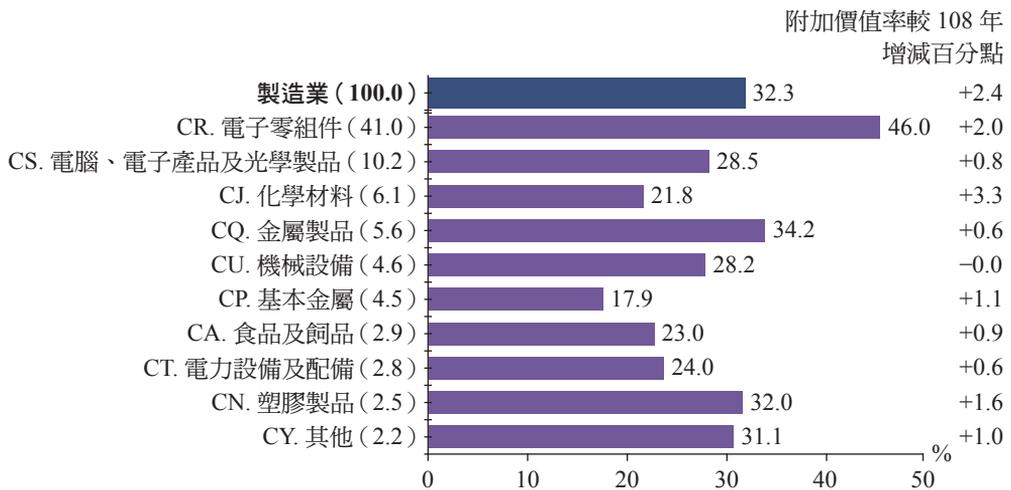


圖 1-1 2020 年我國各製造業附加價值率

資料來源：行政院主計總處。

肆、小結

一、不對稱戰力的組成

台灣面對強大的軍事威脅，以小搏大的情勢更需要善用國防資源以發揮最大的防衛效果。區域拒止（area denial）並非中國專利，冷戰時期的北約也面臨類似困境，而北約的軍事規劃便已提出應對方案「空陸一體戰」（Air-Land Battle）以縱深打擊（deep strike）能力，由敵軍前線後方阻絕蘇聯與華沙集團的入侵。進一步分析，依照近年各類飛彈發展評估，概可「區域拒止」的防空、反艦飛彈，以及「縱深阻絕」的攻陸型飛彈、自主發動攻擊的無人機等。也就是這些精準彈藥可以發揮「境外拘打一體」的戰術，防空反艦飛彈可以拘束進犯敵軍，縱深阻絕武器則可打擊敵方源頭，有利守勢的一方掌握區部優勢，創造防衛作戰有利態勢。現代的瑞典、挪威也是資源有限的小國，渠等防衛海洋的方式就是透過岸基反艦飛彈構成主要的阻絕區，在搭配水面小型匿蹤巡邏艦、潛艦共同構成局部的防衛性海權。

按照此一軍事思維，台灣在若干精準彈藥的發展也有一定基礎，包括各類防空、反艦飛彈、空對空飛彈的發展，而無人機則包括小型的紅雀、中型的銳鳶、大型的騰雲無人機之外，反輻射的劍翔無人機具有「遊蕩彈藥」（loitering munition）的特性，可設定在一定區域的空中梭巡，即使敵人雷達關機也可在空中來回等待尋找獵物，一旦敵人開機或露出電磁訊號就發動攻擊，使可藉戰術手段創造戰略彈性。

此外，傳統的「指揮、管制、通訊、電腦、情報 / 監視、偵察」（command, control, communication, computer, intelligence/surveillance, reconnaissance, C4I/SR），網路（cyber）已正式納入成為第五個「C」，發展為 C5I/SR。因此台灣的戰場管理能力須結合 IT 產業的利基發展，而國際趨勢上也有利於台灣此一建軍發展方向，其實台灣的製造業各類技術齊備，影像處理、無線傳輸、遙控機體設計製造等，民間廠商具備成熟能力，因此可快速發展此類戰具形成戰力。

二、進一步整合政策

相較他先進軍事國家擁有完整的軍事工業，具有完整的軍事產品生產能力，包括陸、海、空乃至太空載台，以及精準彈藥、網路電戰、通訊電磁等戰力的研發與製造生產，台灣能力相對有限因此更需要挑選關鍵軍事科技進行投資。

一般而言，美國、俄國、中國、法國等具有全系列軍備的研發生產能力可視為第一類型的軍備生產能力的國家，瑞典、日本、韓國、英國、德國具有主要軍備的生產能力，可視為第二類型的軍備生產能力的國家，以色列、瑞士、台灣、南非等則具有部分重要裝備的研發生產，可視為第三類型。

必須指出的是，第三類型國家或許不具有全線軍備的生產製造能力，例如僅生產戰甲車、船艦等，然而若干主要軍事裝備在其同類型裝備的領域也往往是佼佼者或具備重要代表性，例如日本的傳統動力潛艦以靜音能力知名，結合鋰鐵電池的新電力系統更使其水下戰力獲得矚目。

依照韓國外交部的數據顯示，韓國武器的出口額由 2016 年的 26 億美元，到 2021 年時已增至 73 億美元。而受到俄烏戰爭俄國武器制裁，預計 2022 年韓國有望獲得來自中東、歐洲、澳洲等地的大額訂單，出口總額預計將超過 100 億美元。¹⁹

台灣的優勢是擁有相對完整的製造產業鏈，包括數位、資訊工業、軟體產業、精密金屬等具有生產先進裝備的潛力。但不足處是缺乏積極的技術整合，而國防預算的投入尚屬有限，在此限制條件下使得台灣的產業優勢轉為軍事科技的效益仍有待加強。

同時，這也可由研發經費的投資作為觀察指標，台灣公私部門對於研發經費的投入也逐年增加，依照「經濟合作暨發展組織」（Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD）的統計，以「購買力評價」（PPP）計算台灣 2020 年的研發投資達 479 億美元，高於以色列、新加坡、瑞士等規模相近的國家，²⁰ 但值得注意的是，依照經濟部統計處的統計，同樣以 2020 年我國製造業上市櫃公司資料顯示，製造業上市櫃公司研發費用加總為 5,090 億元台幣，年增 10.7%。但其中以台積電投入 1,086 億元居冠；聯發科投入 474 億元居次，瑞昱投入 153 億元居第三，也就是說台積電單一企業占整體製造業研發費用之 21.3%。²¹ 這說明我國研發經費的投入雖然增加，但高度集中在少數大型企業，反過來說就是研發能力呈現部分科技獨大現象，而其他科技項目的發展就可能失衡。

也就是強化政策整合，透過既有的行政單位編組，例如行政院「國防科技發展推行委員會（國推會）」由國防部副部長擔任召集人，經濟部、

19 〈歐美制裁俄羅斯 韓國武器出口可望破百億美元〉，《時報資訊》，2022 年 3 月 11 日，<https://tw.stock.yahoo.com/news/%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E7%94%A2%E6%A5%AD-%E6%AD%90%E7%BE%8E%E5%88%B6%E8%A3%81%E4%BF%84%E7%BE%85%E6%96%AF-%E9%9F%93%E5%9C%8B%E6%AD%A6%E5%99%A8%E5%87%BA%E5%8F%A3%E5%8F%AF%E6%9C%9B%E7%A0%B4%E7%99%BE%E5%84%84%E7%BE%8E%E5%85%83-075143309.html>。

20 〈歷年主要國家研發經費〉，《PRIDE 資料庫》，https://pride.stpi.narl.org.tw/index/dashboard?type=INT_COMP&cdmId=2，檢索日期 2022 年 9 月 10 日。

21 經濟部統計處，〈產業經濟統計簡訊——製造業上市櫃公司研發費用逐年成長〉，第 380 期，2021 年 5 月 5 日，https://www.moea.gov.tw/MNS/dos/bulletin/Bulletin.aspx?kind=9&html=1&menu_id=18808&bull_id=8737。

科技部政務次長擔任協同召集人，下設「學術配合發展會報（學合會報）」及「產業合作發展會報（產合會報）」等方式，就國防所需選定裝備的優先順序，結合跨部會資源並投入合理的國防資源，如此必能快速地在關鍵軍事科技領域取得成果，並進而應用在各類精準彈藥、網電作戰，甚至各類載台的發展。

此外，國造武器具有「國防經濟」的效益，研究美日澳、北約等民主國家的國防產業，國防裝備的研發生產約可產生 1.8 倍的「經濟加乘」（multiplier）效果，主要在創造就業機會以及技術的「溢出效果」，因此在滿足國防需求的同時，也可兼顧經濟的發展效益。

三、強化科技與營業秘密保護

中共方面對他國的科技竊取、人力挖角不遺餘力，造成產業競爭、國家安全的嚴重威脅。以美國對中共的科技戰而言，白宮對中國威脅便已有全盤的戰略思考，且並非所謂的傳統地緣政治競爭、軍事安全層級，而是更深層的科技與經濟安全，因此形成對北京進行的全面戰略壓制。

舉例而言其實就是敏感科技與國家安全之間的重要評估。例如美國內政部（Department of the Interior）宣布停用中國生產的 800 餘架無人機，因懷疑其有電子間諜的風險，²² 可能將國土、資源測繪等資料外傳給未獲授權的特定網點。而涉及台灣方面，以眾所矚目的晶片產業而言，英特爾前執行長布萊恩（Diane Bryant）便憂心「萬一中國對台灣動手，台積電會如何？」美國防部主管研究與工程政策副次長（Deputy Under Secretary of Defense for Research and Engineering）波特（Lisa Porter）也公開主張「美國需重建晶片製造業」。²³

²² Timothy Puko and Katy Stech Ferek, "Interior Department Grounds Aerial Drone Fleet, Citing Risk From Chinese Manufacturers," *Wall Street Journal*, October 30, 2019, <https://www.wsj.com/articles/interior-dept-grounds-aerial-drone-fleet-citing-risk-from-chinese-manufacturers-11572473703>.

²³ Don Clark, "Pentagon, With an Eye on China, Pushes for Help from American Tech," *New York Times*, October 25, 2019, <https://www.nytimes.com/2019/10/25/technology/pentagon-taiwan-tsmc-chipmaker.html>.

因此相關機密的保守就至關重要，核心科技的發展也就決定國家競爭力以及軍事安全的關鍵。經濟利益、科技競爭、軍備競賽等形成的複合安全衝突，若以民主國家的科技保護，出口管制等機制的核心，主要為三大要素：最終使用目的（end use）、最終使用者（end user）、最終地點（end location）為基礎評估要件，因此考量衡平原則，可以思考下列做法以創造雙贏：

（一）政策管理與法體系

1. 完善科技管理體系的法制，並與利害關係人強化溝通。
2. 參考美國、日本等民主國家做法，給予業者、從業人員乃至學者完整的政策說明與指引。
3. 除國家安全的傳統說法外，導入「公共利益」（public interest）的概念，令其理解安全管理可深化客戶的信任，替企業開拓更廣泛的市場，以強化科技管制的正當性與說服力。²⁴

（二）強化資訊流安全

參考美國網路安全措施，建立「零信任資訊架構」（Zero Trust Architecture, ZTA），此源自於 2019 年 7 月，美國國防部的諮詢機構「國防創新理事會」（Defense Innovation Board）建議美國國防部以「零信任架構」成為物聯網時代的安全思維，²⁵ 其後美國總統拜登前於 2022 年 1 月 19 日簽署《國家安全備忘錄—改善美國防部、情報機構與國家安全系統之網路安全備忘錄》（Memorandum on Improving the Cybersecurity of National Security, Department of Defense, and Intelligence Community Systems），

²⁴ 蘇紫雲，〈從國外立法例看我國現有國防機敏商業設施、資料該如何保護 —— 民主國家敏感科技管理機制〉，《臺灣法學雜誌》，第 383 期，2020 年 1 月 14 日，頁 35。

²⁵ 吳俊德、蔡榮峰，〈國防產業安全〉，《2019 年國防科技趨勢評估報告》（台北：國防安全研究院，2019 年 12 月），頁 64。

正式將其納入作為網路安全政策，²⁶ 也另包括「網路模型成熟度認證」（Cybersecurity Maturity Model Certification, CMMC），以確保產業資訊流安全。

如此不僅能確保台灣產業競爭力、提高軍事防衛能力、也能促進台灣與美國、日本、民主國家的互信深化，連帶使相關技術合作更為深入而穩固，有助關鍵軍事科技的獲得與發展。

²⁶ The White House, *Memorandum on Improving the Cybersecurity of National Security, Department of Defense, and Intelligence Community Systems*, January 19, 2022, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/01/19/memorandum-on-improving-the-cybersecurity-of-national-security-department-of-defense-and-intelligence-community-systems/>. 另感謝我國防部、整評司與相關參謀之專業意見。

