

運用新興科技 強化海軍後勤之初探

A Preliminary Study on Enhancing Naval Logistics through
the Application of Emerging Technologies

海軍中校 褚之華

提 要：

- 一、科技在後勤維保體系中正扮演關鍵性地位，如「擴增實境」檢測、「3D列印」技術及「人工智慧」等，均能有效提升裝備維修速度與準確性；另藉由偵測影像分析技術與智慧演算法，可以快速辨識裝備異常，並透過遠端協助官兵維修保養，可達到低成本、高效益的修護目標。
- 二、傳統裝備保養依賴固定的維修計畫(即預防性維護)或故障發生時進行緊急搶修；而「預測性維護」策略則利用感測器提供的數據，結合「機器學習」技術，在故障發生前就能進行預測。此種基於裝備實況，而非既定計畫中以週期來執行的維保方式，較能延長裝備壽命，並提升妥善率。
- 三、藉著深化民間技術交流提高，海軍官兵對新興科技的認識，並參照國外與民間廠商強化合作經驗，讓新技術或新型態商業承包運作模式等作為，加速融入海軍後勤體系，將有助提供後勤部門強大的技術支援與決策參考，達成後勤維保效能優化、提升整體戰力之目標。

關鍵詞：擴增實境、3D列印、數據分析、人工智慧

Abstract

1. Innovations such as Augmented Reality-assisted inspection, 3D printing technologies, and Artificial Intelligence can significantly enhance the speed and accuracy of equipment maintenance. In addition, through image-based detection and analysis technologies combined with intelligent algorithms, equipment anomalies can be identified. With the support of remote maintenance assistance, personnel can carry out repair tasks more effectively, thereby achieving maintenance objectives at a low cost and high efficiency.
2. Contrary to the traditional equipment maintenance system, a predictive

maintenance strategy leverages data provided by sensors, combined with machine learning techniques, to forecast potential failures before they happen. This approach, which is grounded in the actual status of equipment rather than periodic schedules, can more effectively extend equipment lifespan and help improve operational readiness.

3. By deepening public-private exchanges, adopting international experience, and strengthening collaboration with private-sector vendors, new technologies can better meet operational needs, while organizations can also adopt innovative contracting and business models at lower a cost. The integration of these measures is expected to provide stronger technical support and decision-making references for logistics units, thereby optimizing maintenance efficiency and ultimately enhancing overall combat effectiveness.

Keywords: Augmented Reality, 3D Printing, Data Analytics, Artificial Intelligence.

壹、前言

「科技」於人類文明發展過程中，正扮演著日益重要且不可或缺的角色，其最早的發展也是因應人類生活需求而生，連帶影響外在環境變遷。時至今日，「第四次工業革命」¹正以前所未見的速度席捲全球，無論是規模、廣度，還是複雜程度，都與人類過去經歷的變革截然不同，尤其「可植入技術」、「物聯網」、「3D列印」、「人工智慧」、「大數據」等技術，都對人類社會帶來顛覆性的影響。²

隨著「沉浸式」科技與數位技術的成熟，讓傳統的裝備維修也邁向科技化、智慧化，透過「擴增實境」(Augmented Reality，以下稱AR)與資料分析技術，讓維修人員可即時疊加數位指引、比對實體裝備與系統資料，快速定位故障原因；並在必要時介入，進行遠端維保與支援，大幅降低人為錯誤與溝通成本。以國外為例，為快速解決維修需求，「美國海軍研究院」(Naval Postgraduate School)研發一套「3D列印」技術，當裝備損壞時，單位能快速生產所需要的替換零件，修復裝備並

註1：「第一次」工業革命約從1760年開始，由鐵路和蒸汽機發明所觸發，進入機械生產時代；「第二次」始於19世紀末，隨電力和生產線出現，規模化生產應運而生；「第三次」始於20世紀60年代，通常被稱為電腦或數位革命，主要是半導體技術和網路發展；「第四次」始於本世紀，是在數位革命的基礎上發展，特點為網路無所不在、移動性大幅提高、感測器更小、性能更強、成本更低，尤其人工智慧和機器學習也開始嶄露鋒芒。克勞斯·施瓦布(Klaus Schwab)著、世界經濟論壇北京代表處譯，《第四次工業革命(The Fourth Industrial Revolution)》(臺北市：天下文化，2017年7月31日)，頁20。

註2：劉凱瑋、林韋伶，〈第四次工業革命來臨，教育該如何轉型？〉，財團法人國際合作發展基金會，2022年6月5日，<https://www.icdf.org.tw/wSite/ct?xItem=50114&ctNode=31806&mp=2>，檢索日期：2026年5月15日。

維持戰力。³2023年的「環太平洋軍事演習」(Rim of the Pacific Exercise)期間，美軍即曾於艦上直接以「3D列印」技術，在一天內完成損壞的零附件製造；相較過去從製造到運送約需耗時200天左右的期程，節省更多的時間及人力成本，也再次印證科技帶來的「即戰力」。

當前科技進步使維修策略也由以時間為主軸的「預防性維護」(Preventive Maintenance)，轉變為以裝備狀態與數據為核心的「預測性維護」(Predictive Maintenance)，⁴藉著「即時監測」、「大數據統計」與「智慧分析」，在故障發生前即掌握潛在故障風險，提前安排維修作業。如此，既保證裝備安全可靠地運行，亦避免或減少故障發生次數，解決「維修不足」及「維修過剩」兩大修護問題，⁵讓科技升級後勤議題，成為新的顯學。

後勤能力的良窳，攸關海軍艦隊的戰力發揮，而科技對現代後勤又至關重要。故本文從先進技術層面出發，並列舉數項符合本軍需求的新興科技運作案例；其次，檢視科技所帶來的優點，並藉由國外經驗說明整體效益；再以後勤修護發展的視角切入，導入外國軍隊實際經驗，俾對海

軍未來的建軍規劃提供參考方案。期盼海軍能加速結合科技，建構更完整的現代化後勤體系，確保持續戰力，這也是撰寫本文主要目的。

貳、關鍵新興軍事科技發展

全球製造業正進入智慧轉型的新時代，傳統生產模式正逐步被智慧製造所取代；「智慧製造」結合數位科技、自動化系統與資料驅動管理，重塑企業營運與產品價值鏈，並從供應鏈整合到智慧工廠的建構。這些新科技包含「沉浸式」檢測、「3D列印」技術與「人工智慧」(Artificial Intelligence，以下稱AI)的數據分析，對於維修效能的提升有著莫大的助益。分別介紹如后：

一、「擴增實境」(AR)科技

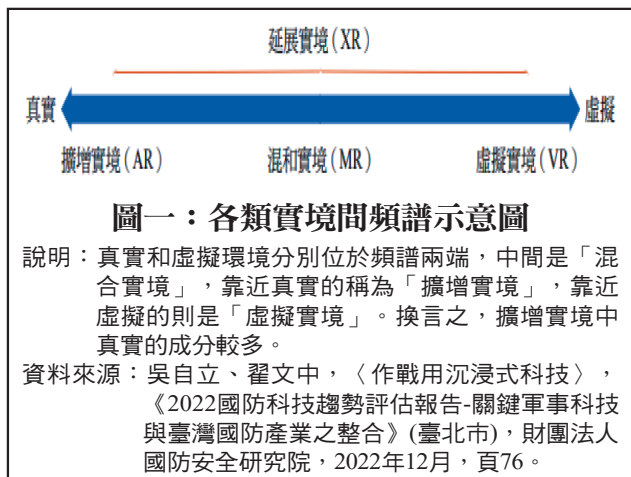
(一)AR科技源起

AR可以追溯到20世紀60年代。這項技術的早期主要集中在增強人類感知和互動能力的研究上。1990年代美國「波音公司」(The Boeing Company)首次通過頭戴式AR裝置，將電子圖像投影到人員視野中，幫助他們組裝飛機線路；1992年，美國空軍亦研發名為「虛擬導具」(Virtual

註3：林宏翰，〈環太平洋軍演美軍研發3D列印技術 海上生產零件最快一天可完成〉，中央通訊社，2024年8月7日，<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202407050129.aspx>，檢索日期：2026年5月15日。

註4：吳鴻材、偕睿仁、王俊傑，〈預測維護技術的實施方法、現況與發展趨勢〉，《機械工業雜誌》(新竹縣)，第425期，2018年8月，頁76~77。

註5：陳仲宜，〈預測性維護技術發展概況〉，經濟部產業技術司，2022年3月16日，https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=412，檢索日期：2026年5月15日。



fixture)的系統，成為首次由AR結合遙控設備進行遠端操作之技術實現。⁶

(二)AR與各類實境間差異

在「延展實境」(extended reality, XR)所涵蓋的AR、「虛擬實境」(virtual reality, VR)與「混合實境」(mixed reality, MR)等虛實體驗技術，其應用目的與技術重點各具差異。「延展實境」泛指融合真實與虛擬世界的各類沉浸式技術統稱，而AR係透過顯示裝置，將電腦整合生成之虛擬內容疊加於真實環境之上，屬於「虛實疊合」的技術。相較於AR，「虛擬實境」則完全取代使用者之視域，將現實環境全面虛擬化，讓使用者沉浸於電腦生成之虛擬空間中，多應用於模擬訓練與情境演練等領域。「混合實境」則介於兩者之間，將真實環境與生成之虛擬物件進行

整合與互動(如圖一)。⁷

(三)AR工作原理

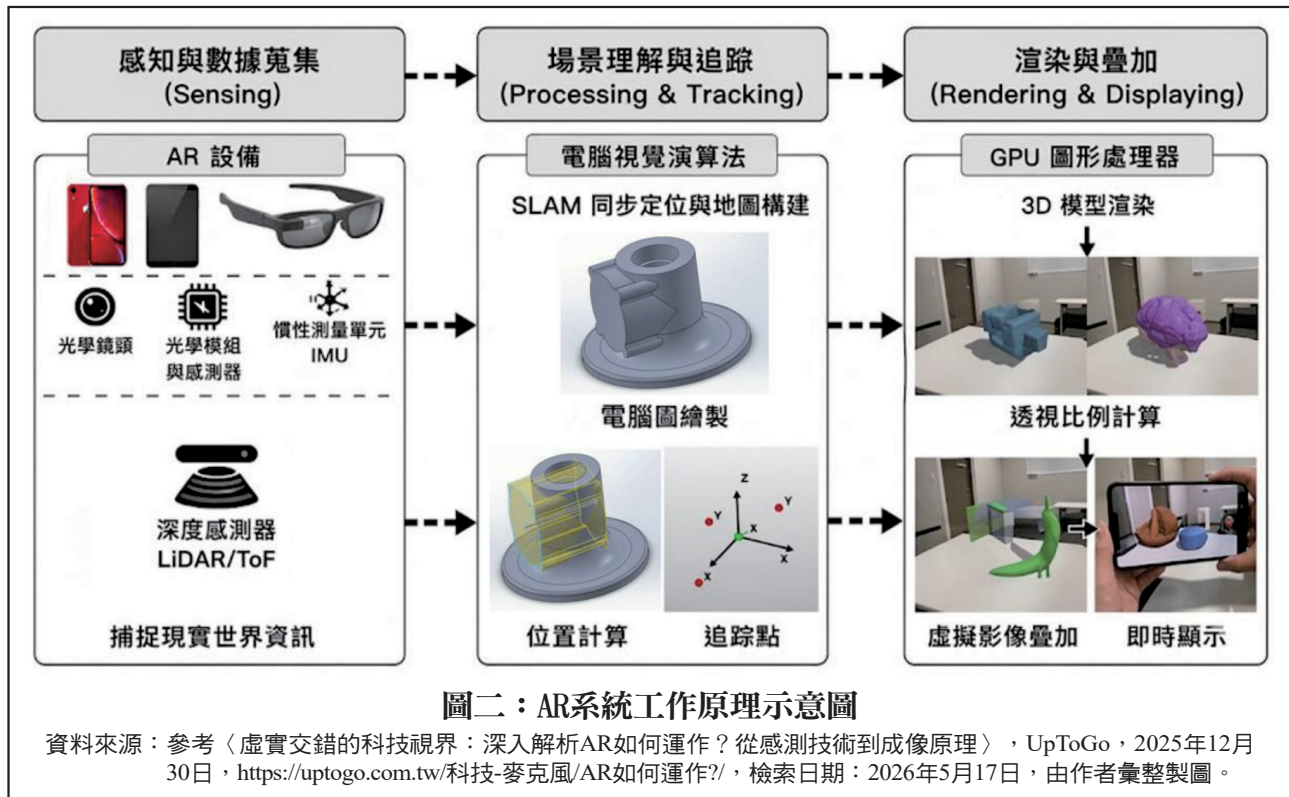
1. AR是一種將數位資訊疊加在現實環境之上的技術，它並非完全取代現實，而是增強我們對現實的感知。其運作可以視為一個持續循環的數據處理流程，主要有三個關鍵步驟，首先是「感知與數據蒐集」(Sensing)，系統一切始於「看見」，設備先利用硬體感測器來捕捉現實世界的資訊，如「光學鏡頭」及「深度感測器」(LiDAR/ToF)等。其次為「理解與追蹤」(Processing & Tracking)進行資訊的處理，「電腦視覺演算法」會分析鏡頭捕捉到的畫面，一邊繪製周圍環境的地圖，一邊計算自己在這個地圖中的位置，並讓虛擬物體能鎖定在真實空間的某個座標上，並在移動時追蹤這些點。最後是「渲染與疊加」(Rendering&Displaying)，當確認設備的位置和環境的幾何結構，圖形處理器就會進場，系統會根據計算出的角度和光影進行渲染(如圖二)。

2. 經渲染完成的虛擬影像，會以正確的透視比例，疊加在感光元件即時回傳的現實影像上，並顯示在螢幕或鏡片上，供使用者即時互動與資訊支援。⁸2000年後，隨著技術的進步，AR開始在多個領域中實

註6：陳祉甫，〈擴增實境技術在製造現場導航應用之研究〉，國立臺北科技大學工業工程與管理系碩士班碩士學位論文，2024年6月，頁17~19。

註7：吳自立、翟文中，〈作戰用沉浸式科技〉，《2022國防科技趨勢評估報告-關鍵軍事科技與臺灣國防產業之整合》(臺北市)，財團法人國防安全研究院，2022年12月，頁75。

註8：〈虛實交錯的科技視界：深入解析AR如何運作？從感測技術到成像原理〉，UpToGo，2025年12月30日，<https://uptogo.com.tw/科技-麥克風/AR如何運作?/>，檢索日期：2026年5月17日。



際應用；如今AR技術正與「物聯網」(Internet of Things)、AI、「5G網絡」等其他先進技術融合，開創更加多元化的應用場景，並推動科技持續前行。

二、「3D列印」(3D Printing)

(一)製造特色

1. 「3D列印」約在上個世紀80年代被發明，初期是為「快速打樣」(rapid prototyping)而被開發出來，產品用於將設計成果或行銷概念加以視覺化，日本「名古屋工業研究所」在1982年發表實體

模型印製技術。2009年「美國材料試驗協會」(American Society for Testing Materials)，將其劃為獨立技術領域，也對相關術語進行標準化，並正式定學名為「積層製造」(Additive Manufacturing)。⁹

2. 一開始使用的列印材料可以是液態或粉末狀，最後產出的成品會是3D實體，例如消費型產品多採用液態樹脂材料，而講究耐高溫、高強度之工業製品，則會使用金屬粉末材料。¹⁰由於傳統製造方法隨元件複雜度提高，造成成本提高，對複雜

註9：3D列印係一種材料接合的製程，利用電腦輔助設計處理三維模型資料，將材料層層疊印後產出立體物件。林偉，〈3D印發展趨勢〉，財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心，2017年5月17日，<https://outlook.stpi.niar.org.tw/file/download/4b11410082b1172501840c86af716830>，檢索日期：2026年5月17日。

註10：尤如瑾，〈積層製造(3D列印)技術之機會與挑戰(上)〉，材料世界網(本文節錄自工研院產經中心，《工業材料雜誌》，第321期)，2013年10月1日，<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=11388>，檢索日期：2026年5月17日。



圖三：美國海軍「巴丹號」軍艦(圖左)運用「3D列印」完成部件製作(圖右)

資料來源：參考ALISON BATH “USS Bataan, USS Carter Hall arrive in eastern Mediterranean after Middle East stint,” STARS AND STRIPES, December 29, 2023, <https://www.stripes.com/branches/navy/2023-12-29/bataan-middle-east-iran-mediterranean-12496156.html>; “BATAAN TURNS CONCEPT TO REALITY WITH 3-D PRINTER,” dvids, June 12, 2023, <https://www.dvidshub.net/news/446795/bataan-turns-concept-reality-with-3-d-printer>, visited date: 2026/5/17, 由作者彙整製圖。

外型、網格形狀、內孔道等設計，需拆解成多件元件後，再加工組裝，讓其結構設計強度、功能均受到影響。而「3D列印」，最主要特色為製作流程及成本，完全不受元件複雜程度之影響。

(二)美軍運用實例

2023年6月，美軍「巴丹號」(USS Bataan, LHD-5)兩棲攻擊艦，在海上無庫存料件情況下，自行以「3D列印機」搭配三軸銑床機等工具，製作一塊不銹鋼霧化板，成功修復艦上的一部壓載系統用的空氣壓縮機。¹¹此一實例充分展現「3D列印」能提升艦員對裝備的自修能力，也減少對傳統供補體系的依賴(如圖三)。

三、「大數據」與「人工智慧」關係

(一)「大數據」指資料量達相當規模才能達成的事，例如獲取新觀點、創造新價值；若沒有達到一定規模便無法實現。透過「大數據」可以改變現有市場、組織、人民與政府關係；至於「大數據分析」則指從「大數據」中獲得見解，所利用的工具及過程。¹²在龐大且複雜的數據中，必須完成分析、分類、趨勢預測以及分群等工作，僅單獨靠人力做「資料處理」是耗時且無效率的工作，故須以AI協助人類提升工作效率。

(二)目前學術與工業界使用AI包含「機器學習」(Machine Learning)和「深度

註11：Darren Newell, “BATAAN TURNS CONCEPT TO REALITY WITH 3-D PRINTER,” dvids, June 12, 2023 <https://www.dvidshub.net/news/446795/bataan-turns-concept-reality-with-3-d-printer>, visited date: 2026/5/17。

註12：李昱璇，〈大數據分析能力對永續績效影響之研究〉，國立臺北商業大學企業管理碩士學位論文，2025年1月，頁7~8。

表一：「人工智慧」、「機器學習」及「深度學習」相互關係與比較

項 目	人工智慧 (Artificial Intelligence)	機器學習 (Machine Learning)	深度學習 (Deep Learning)
概念層級	最上層，讓機器具備智慧行為的總體技術。	AI的子領域，讓機器能從資料中學習規律。	機器學習的進階分支，模仿人腦神經網路進行自我學習。
是否人工設計規則	需要明確規則與程式設計。	需要人工初步提供高品質資訊。	自動從資料中提取特徵。
運作核心	模擬人類思考與決策。	使用統計與演算法學習資料關聯。	模仿人類神經網路自動學習。

資料來源：參考陳彥名，〈淺談運用「人工智慧」(AI)協助戰場環境情報整備〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第59卷，第2期，2025年4月1日，頁124~125；曲建仲，〈機器是如何學習與進步？人工智慧的核心技術與未來〉，財團法人善科教育基金會，2020年10月1日，https://www.sancode.org.tw/activities_info.php?type=3&nid=43，檢索日期：2026年5月18日，由作者彙整製表。

學習」(Deep Learning)兩項核心技術。以工作模式而言，「機器學習」是對機器提供訓練資料，用來提升與改善對類似數據集合的處理結果；而「深度學習」演算法毋須提供訓練資料、亦不用預先給予設定規則，其可直接從大量給予的資料中學習與強化(如表一)。¹³「大數據」為AI提供所需的大量資料，其多樣性與規模也進一步強化系統對現實環境的理解與模擬能力；¹⁴透過「機器學習」演算法則，使得AI不僅能處理資料，還可在不借助額外程式設計的前提下，利用所獲資料及分析經驗進行更為準確的學習，使準確度日益提升。¹⁵

(三)具體來說，「機器學習」擁有高

度精準、自動完成任務、持續優化、資料處理能力強及應用領域廣泛等五大優點；在智慧製造的發展過程中，已應用於「預測性維護」與故障診斷，並透過感測器即時回傳資料與「大數據」分析，進而有助分析裝備狀態、預測故障，並估算「剩餘使用壽命」(Remaining Useful Life)，從而降低停機時間與維護成本。¹⁶

參、新科技對裝備維護與應用效益

隨著科技的發展，裝備維護正由「預防性維護」轉向「預測性維護」，¹⁷自動缺陷偵測結合AI與感測技術，可即時辨識異常並提升診斷效率；而遠端維保可透過

註13：翟文中、吳自立，〈論「人工智慧」(AI)在軍事領域的運用〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第4期，2022年8月1日，頁11。
註14：鄭義達，〈「人工智慧」(AI)應用於船舶辨識淺析〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第59卷，第5期，2025年10月1日，頁114。
註15：〈人工智慧AI、Big Data大數據是什麼關係？1篇搞懂它們的差別、應用！〉，MetaAge，2022年11月7日，<https://www.metaage.com.tw/news/technology/433>，檢索日期：2026年5月18日。
註16：張喧喧，〈探討大數據分析技術在製造業中的應用：基於VOSviewer的文獻計量分析〉，國立臺北科技大學工業工程與管理系碩士學位論文，2026年1月，頁11。
註17：同註4。

「物聯網」即時監控裝備狀態，降低人力與時間成本。在成本效益上，「預測性維護」可減少非計畫性停機與過度檢修；在應急維修方面，系統能提前預警故障風險，縮短反應時間，再透過快速的零附件製造加以檢修，更能提升裝備的妥善率。以下就各種不同面向，探討裝備維護的效益與應用展現，摘要內容如后：

一、自動偵測與遠端維保

(一) 自動缺陷偵測分析

1. 美國民間科技公司已研發一項運用AR執行「非破壞性檢測」(Non-Destructive Testing)技術，¹⁸該功能係透過精準的AR疊加技術，利用直覺式的AR引導疊加層，可自動執行裝備(或船體)裂紋的偵測與分類，無需依賴人工目視檢測或昂貴的專用檢測設備，即可達成高效率與高準確度的缺陷辨識，該技術同時能即時自動輸出「合格/不合格」(Pass/Fail)之判定結果。

2. 透過此一系統亦可簡化決策流程，並確保受檢資產之結構完整性與運行可靠性。此外，複雜裝備維護的一個部件錯放

，都可能引發連鎖反應，透過AI驅動的缺陷偵測與XR技術，可將物件參數以掃描或輸入的方式完成預存，並於裝備維修時與「數位孿生」(Digital twin)¹⁹體進行比較；任何異物或缺失零件，差異都會立即被凸出顯示。例如模組缺失或錯放，亦或者電線布線錯誤等，提醒維護技術人員注意潛在的問題，這將大幅減少維修錯誤機率。

(二) 遠端維保

1. 2025年5月16日，美軍首批「AR維護系統」(Augmented Reality Maintenance System，以下稱ARMS)已在「柯蒂斯·威爾伯號」(USS Curtis Wilbur, DDG-54)驅逐艦等5艘軍艦上使用。艦上官兵雖是船體系統故障的第一道防線，但當問題需要「領域專家」(subject matter expert)處理時，維修往往必須等到專業人員登艦才能進行；ARMS的出現改變這一現狀，亦讓專責的「海軍水面作戰中心」(Naval Surface Warfare Center)²⁰的領域專家能和艦上官兵同步連線，即時解決裝備系統故障。²¹

註18：Rishi Ranjan, “Unlock the Power of AI for Unparalleled Inspection & Maintenance,” GRID RASTER, December 16, 2025, <https://gridrastrer.com/inspection-maintenance/>, visited date: 2026/5/19。

註19：「數位孿生」是一種跨時代的數字化技術，其核心理念是通過建構物理實體的數字化副本，使得虛擬模型與實體設備保持同步。這種同步可實現監控、預測分析和智慧決策。王挺翰，〈數位孿生與虛實整合應用研究〉，國立中興大學機械工程學系碩士學位論文，2024年8月，頁8。

註20：該中心隸屬於「海軍海上系統司令部」(NAVSEA)擁有科學家、工程師、研究人員和技術人員，為作戰人員提供創新且經濟高效的工程服務，也是研發、測試和評估機構。“Naval Surface Warfare Center”，<https://www.navsea.navy.mil/Home/Warfare-Centers/NSWC-Carderock/Who-We-Are/>，檢索日期：2026年5月19日。

註21：Zita Ballinger Fletcher, “Five Navy ships now outfitted with augmented reality maintenance tech,” Military Times, May 30, 2025, <https://www.militarytimes.com/news/your-military/2025/05/29/five-navy-ships-now-outfitted-with-augmented-reality-maintenance-tech/>, visited date: 2026/5/19。

2. ARMS是一種具備遠端監控功能系統，能讓部署在海外艦艇官兵與岸上作戰中心的專家連線，藉由配戴AR設備，讓專家即可以官兵的視角檢視裝備，即時指導排除故障的系統(或裝備)。官兵也可以運用該設備，摘錄技術手冊、保養需求卡、3D影像、設計藍圖或裝備分解圖，或在領域專家的指導下修復裝備或系統。透過此一技術，艦艇無需耗時等待技術人員登艦，即可獲得更快速支援，相對也減少技術人員必須親自前往艦艇的維修次數。²²ARMS還可以透過提前瞭解裝備問題後，派遣合適的技術人員前往登艦檢修，縮短技術人員在艦上停留的時間。²³

二、成本效益與應急維修

(一) 烏克蘭戰場的運用

「無人機、無人機、還是無人機…」，整片戰場都被它們主宰，數量多到令人窒息」，一名烏國軍官如此描述「俄烏戰爭」的樣貌，這些成本低廉卻致命的飛行器，正以驚人數量主宰俄烏戰場。²⁴根據烏國「志工光學實驗室基金會」(Volunteer

Optical Laboratory Foundation)發言人安德烈(Andriy)表示，目前無人機的維修成本僅為新購無人機的一成，在近期甚至可降至約百分之三。面對美國新政府上臺後(指川普總統【Donald John Trump】)，部分零件價格上漲三成；該基金會遂轉向各國市場尋找替代品，甚至採「3D列印」自製，如夜視鏡中貼近眼部的零件，就是以聚氨酯樹脂列印方式重製，²⁵凸顯「3D列印」具備即時製造、降低維修成本，並有效維持裝備戰力。

(二) 法國海軍海外維護與部件性能提升

1. 法國許多武器系統也存在妥善率偏低的問題，以直升機為例，其妥善率在2018年平均僅有百分之三十六，主因為繁重的海外任務，導致零組件損壞頻繁。而「3D列印」的技術與產品，能快速解決法軍海外維修零組件調撥不易的問題，並大量應用在歷次海外行動中。²⁶2021年，法國「海軍集團公司」(Naval Group)就以「3D列印」技術為海軍「三方級掃雷艦」

註22：何至中，〈淺析中共「人工智慧」之國防運用對我防衛作戰之影響〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第5期，2022年10月1日，頁76。

註23：Brian Varela, "First Augmented Reality Maintenance Systems Operational on Five Ships," american's navy, May 16, 2025, <https://www.navy.mil/DesktopModules/ArticleCS/Print.aspx?PortalId=1&ModuleId=3760&Article=4188805>, visited date: 2026/5/20。

註24：林靜怡，〈無人機決勝烏克蘭前線：殺戮地帶的科技消耗戰如何拖緩俄軍攻勢〉，臺灣英文新聞，2025年7月17日，<https://taiwannews.com.tw/zh/news/6158126>，檢索日期：2026年5月20日。

註25：陳彥婷，〈烏克蘭無人機醫院揭密 工程師細膩巧手讓俄軍喪膽〉，中央通訊社，2025年7月23日，<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202507220352.aspx>，檢索日期：2026年5月21日。

註26：洪瑞閔，〈國軍後勤維修3D列印之應用評估〉，《國防安全週報》(臺北市)，第90期，財團法人國防安全研究院，2020年3月20日，<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=765&pid=2656>，檢索日期：2026年5月21日。



圖四：法國「三方級掃雷艦」-仙女座號(圖左)及「3D列印」製作俥葉(圖右)

資料來源：參考Kubi Sertoglu, "Naval Group has 3D printed a one-tonne ship propeller for the French Navy," 3D Printing Industry, January 14, 2021, <https://3dprintingindustry.com/news/naval-group-has-3d-printed-a-one-tonne-ship-propeller-for-the-french-navy-182400/>; Iceman 29, "M643 Andromède-Tripartite Minehunter 3D-1/100&1/144," britmodeller.com, December 9, 2024, <https://www.britmodeller.com/forums/index.php?/topic/235148068-m643-androm%C3%A8de-tripartite-minehunter-3d-1100-1144/>, visited date: 2026/5/22, 由作者彙整製圖。

(Chasseur de Mines Tripartite)重新製造一個重達1噸的俥葉，相較原有俥葉獲製過程時間縮短、重量減輕，也間接提升推進效能，更改善該艦在水中的聲紋特性(如圖四)。²⁷

2. 由於「3D列印」技術正大量運用於裝備維護上，並在相當程度上解決零附件「消失性商源」的困境，也有利於實現「逆向工程」所需的零附件製造；特別是其成本相對低廉，生產效率亦是傳統式的3倍，且可立即針對耗損零組件在電腦輔助設計的協助下，於短時間內透過「3D列印」方式生產替代的零附件，提高保養維修

效率，維持裝備妥善率，更降低料件的預算支出，可說是「一舉數得」。²⁸

三、先進監控系統

(一) 比利時海軍節約成本

1. 比利時海軍在1992年就對艦艇上的燃氣渦輪機、泵及其他運轉設備，進行測量和診斷數據監控振動分析，並搭配應用軟體，分析數據，做為需要協助維修之依據。持續性的量測和適時的故障排除，讓艦艇裝備妥善得到有效的提升，較以往獲得更準確振動數據與完整訊息。

2. 透過系統監控，該國海軍7艘「三方級掃雷艦」上(每艘均配備3部燃氣渦輪

註27：Kubi Sertoglu, "Naval Group has 3D printed a one-tonne ship propeller for the French Navy," 3D Printing Industry, January 14, 2021, <https://3dprintingindustry.com/news/naval-group-has-3d-printed-a-one-tonne-ship-propeller-for-the-french-navy-182400/>, visited date: 2026/5/22.

註28：江忻杓，〈臺灣3D列印的軍事應用評估與建議〉，《2022國防科技趨勢評估報告-關鍵軍事科技與臺灣國防產業之整合》(臺北市)，財團法人國防安全研究院，2022年12月，頁71~75。

機用於推進和發電)，每部主機需進行大修維護間隔由原2,500小時，延長至4,000小時；另通過應用振動和油品分析等的預測維護計畫，過去7年間累計節省397萬8,000餘歐元(折合新臺幣約1億4,321萬元)，智慧監測效果確實顯著。²⁹

(二)美國海軍裝備遠端監控系統

1. 美軍2025年在「費茲傑羅號」(USS Fitzgerald, DDG-62)驅逐艦上裝配名為「企業遠端監控版本4」(Enterprise Remote Monitoring, eRMv4，以下稱eRM)的AI平臺，用以監控船體、機械和電力系統運作。系統以每秒分析約1萬個感測器讀數數據，並藉由AI演算法處理，產生維護需求建議。³⁰該系統是美軍「船舶狀態管理加強版」(Condition Based Maintenance Plus)計畫的船艦部分，透過監控運作裝備的實際狀態，建議應執行的維修或操作；這些維修方案建議，會根據特定的參數產生，並顯示部件效能下降或即將發生的潛在故障。此方式與現有的以時間間隔內執行維護而不考慮裝備狀況的維護方式，明顯不同。

2. 「eRM」透過機械控制系統從艦載感測器、儀表數據及歷史紀錄資料等獲取數據，回傳艦隊管理與支援系統，經資料彙整產出船舶狀態評估報告供單位運用，系統同時還能讓官兵查看來自船體、動力和電力系統的即時數據流，提高艦載數據的可存取性，讓艦艇更加「智慧」。總體來說，該系統最大的效益是透過數據分析的演算法，持續評估裝備運轉狀況，以提早發現異常情況和提醒即將可能發生的故障，提高船舶系統、裝備和部件的可靠性和維護效率(如圖五)。³¹

由於「預測性維護」需要來自眾多感測器的量測數據，同時結合先進的分析能力。且由於傳統的「預防性維護」並未考量到裝備可能受環境中的溫、濕度、鹽度等外部影響因素，僅由時間週期做為執行維保的依據，較無法從根本上真正解決裝備潛在問題，自然難以達成維修資源最佳化配置與裝備壽期效益之最大化。³²

肆、海軍後勤技術能量升級方式

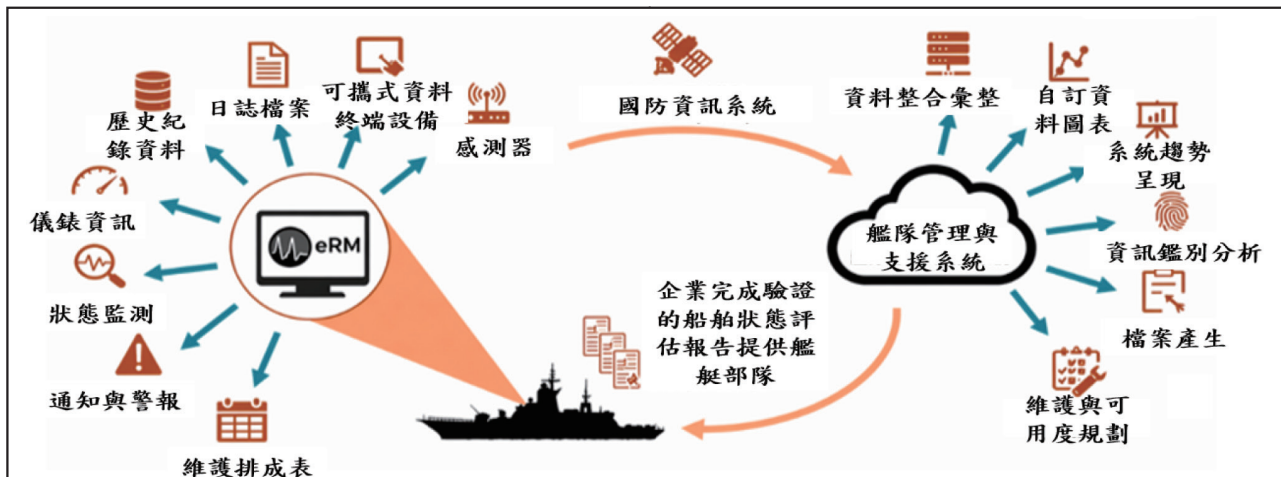
由於近年技術創新急速地進展，系統

註29：Emerson, “Belgian Navy Saves Big Money with Predictive Maintenance Based on Vibration Monitoring and Oil Analysis,” Emerson, 2020, <https://www.emerson.com/documents/automation/case-study-belgian-navy-saves-big-money-predictive-maintenance-based-on-vibration-monitoring-oil-analysis-ams-cn-38550.pdf>, visited date: 2026/5/24。

註30：Aman Tripathi, “US warship gets powerful AI to scan 10,000 readings per sec for battle-readiness,” INTERESTING ENGINEERING, January 30, 2025, https://interestingengineering.com/military/navy-ai-system-uss-fitzgerald?utm_source=facebook&utm_medium=article_post, visited date: 2026/5/25。

註31：Gary Ell, “NSWCPD Engineers Spearheading Condition Based Maintenance (CBM) Program for U.S. Navy,” NAVSEA NEWS, October 16, 2023, <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/3590550/nswcpd-engineers-spearheading-condition-based-maintenance-cbm-program-for-us-na/>, visited date: 2026/5/25。

註32：陳睿岳、徐裕倫，〈海軍艦艇設備預知維護的技術與管理〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第54卷，第2期，2020年4月1日，頁47-48。



圖五：美國海軍「企業遠端監控」工作概念示意圖

說明：「eRM」係從艦上取得各項參數後，回傳給艦隊管理與支援系統進行參數分析，產出後續裝備運用評估報告，對於官兵掌握裝備妥善及後續維修規劃能適時排定執行期程。

資料來源：參考Gary Ell, "NSWCPD Engineers Spearheading Condition Based Maintenance (C-BM) Program for U.S. Navy," NAVSEA NEWS, November 16, 2023, <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/3590550/nswcpd-engineers-spearheading-condition-based-maintenance-cbm-program-for-us-na>, visited date: 2026/5/25, 由作者彙整製圖。

化的跨領域整合運用也變得至為重要；而跨領域的關鍵在於是否具備橋接不同知識體系的能力，以及在陌生領域中快速抓住核心變數與價值鏈關鍵點。故發展獨立專責的單位擔任海軍後維技術的橋接工作，逐步推進以後勤專業為導向的演習，或借鏡國外商業模式來加強與民間科技、技術交流，將有助海軍修能的持恆提升。以下就運用智慧系統整合修護能量，以及科技引入後與民間強化交流等部分，臚列分析如后：

一、智慧維修整合

(一) 國內智慧整合能量發展

1. 對我國而言，「國家科學及技術委員會」（以下稱國科會）現正與「經濟部」持續攜手打造「臺灣智慧系統整合製造平臺」，從使用者需求出發，鏈結產業能量，推動系統整合能力，透過跨域整合AI技術的應用，強化我國在智慧系統的整合能力。³³舉例而言，本軍各地區後勤支援指揮部（以下稱後支部）船體場銲接方式多採人工作業，未來可以透過平臺，建立數位雙生模型與參數校正，發展虛實場景融合的3D疊合模擬技術，並根據模擬參數，運用智慧機器人完成精準自動化銲接。³⁴

2. 國內大學亦已配合「國科會」的開

註33：謝明得，〈大南方新矽谷推動方案—發展臺灣自主應用系統之關鍵〉，《臺灣經濟論衡Taiwan Economic Forum》，冬季號，第22卷，第4期，行政院國家發展委員會，2024年9月，頁23。

註34：張璦，〈國科會30億打造AI系統平臺 緯創、仁寶等50家臺廠助陣〉，中央通訊社，2025年6月1日，<https://www.cna.com.tw/news/afe/202506010021.aspx>，檢索日期：2026年5月26日。

發實驗計畫，充分將VR技術、「3D列印」和AI工程結合應用，³⁵在在凸顯智慧維修整合已成為勢不可擋的浪潮。後勤體系藉由先進科技導入與跨系統整合，不僅有效提升裝備妥善率，亦強化整體戰備與運維效能。未來應持續深化技術應用與制度優化，俾確保後勤支援之永續發展。

(二) 增強海軍智慧技術整合

1. 2021年美國海軍與多家民間企業合作，開始發展能規劃和執行3,000多種以上裝備的智慧後勤資訊技術組合方案，用於提升海軍原有「後勤資訊系統」(logistics information system)，轉型成全面現代化且回饋迅速的機制。此一方案將維保體系、物料供應鏈與裝備生命週期管理系統納入資訊整合，運用企業雲端完成生命週期、物料管理及維修規劃等資訊鏈結，透過AI、「數位孿生」技術和預測分析，能夠由累積運轉的數據中預測，並應對潛在的設備故障風險，從而增強官兵對各項後勤管理與維修效能。此外，2025年再將維保體系、物料供應鏈與裝備生命週期管理等系統納入資訊整合，並運用企業雲端完成鏈結，以利有效運用後勤資源(如圖六)。³⁶

2. 綜合美國海軍智慧後勤發展經驗，我國海軍後勤應以系統整合與數據驅動為核心，逐步建構單一整合資訊平台，並導入AI與預測分析等技術，透過運轉數據累積，提前預警裝備故障並優化維修方式，以提升妥善率與作業效率。另方面，加速鏈結「國科會」與「經濟部」推動之整合平臺，結合產業能量，發展如船體銲接之虛實整合與自動化應用，強化維修精度與安全性；或運用學研單位於VR、3D列印及AI之成果，持續優化維保流程，逐步建立高效、智慧且具韌性之後勤體系。

二、政府主導軍民合作持衡發展推動

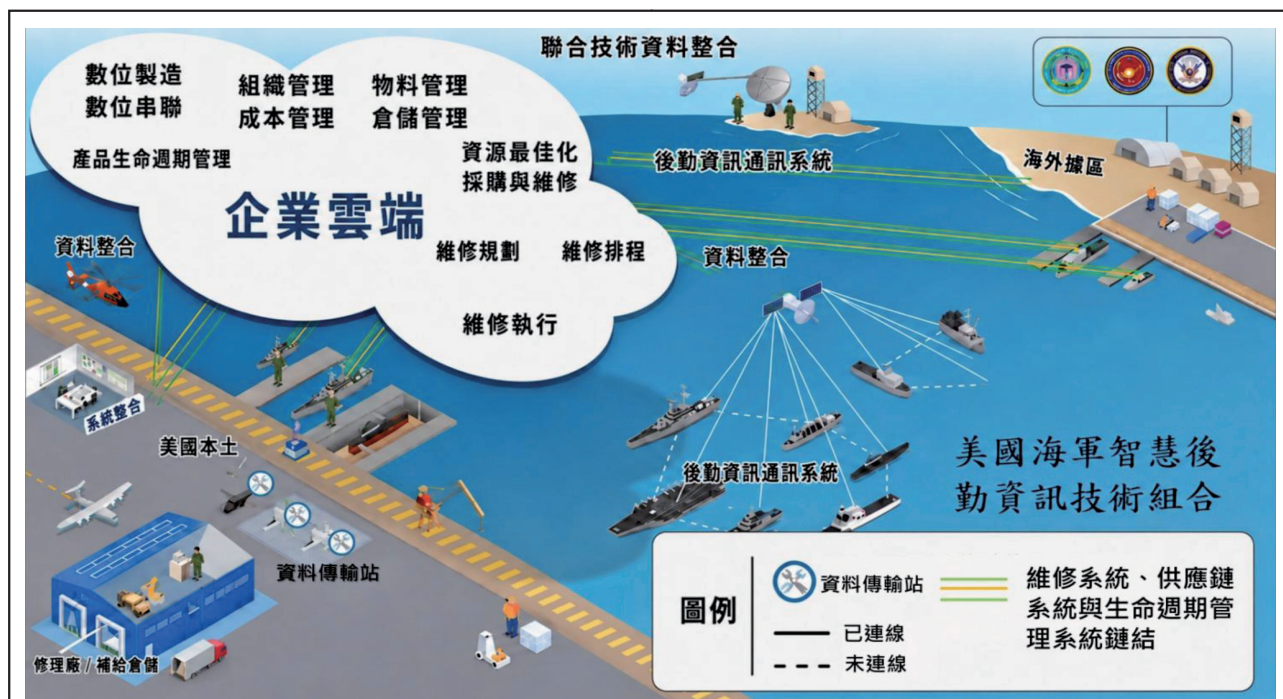
(一) 軍民間能量結合

「軍民合作」為支撐軍工產業發展的重要支柱，例如以色列軍方、國有企業與民間新創科技公司，都正在為該國提供技術支持，確保以色列能在戰場上取得優勢。該國「軍民合作」最大特色為，民間公司研發出是軍民兩用產品科技時，可以優先交予軍方進行測試。交由軍方進行測試的優點是私人企業不需負擔龐大的測試成本，而軍方則能透過測試產品掌握最新技術脈動，並且提出建議，使最終產品更為貼近單位所需。³⁷海軍後勤亦可參照以國

註35：梁又文，〈國科會計畫VR眼鏡應用於3D列印光固化列印訓練開發-虛擬實境、混合實境互動內容設計 Unreal Engine 5〉，YouTube，2025年6月25日，<https://www.youtube.com/watch?v=CbnOnvbI5Bo>，檢索日期：2026年5月26日。

註36：IFS, "U.S. Navy selects Lockheed Martin and IFS to deliver intelligent ship and aircraft maintenance," PR Newswire, May 12, 2021, <https://www.prnewswire.com/news-releases/us-navy-selects-lockheed-martin-and-ifs-to-deliver-intelligent-ship-and-aircraft-maintenance-301289864.html>, visited date: 2026/5/26。

註37：林秀英、方聿安，〈【新興領域/2025.05焦點】科技重塑戰爭格局-國防科技政策趨勢與國防科技新星解析(上)〉，臺灣新創資訊平臺，2025年5月21日，<https://findit.org.tw/tw/Res/2442>，檢索日期：2026年5月27日。



圖六：美國海軍智慧後勤資訊技術組合示意圖

說明：該組合包含300多個艦載和岸基IT系統/應用程序，涵蓋所有海軍多個部隊，內容包括海軍產品生命週期管理、海軍保修能力、供應鏈管理、整合與基礎設施及物流綜合數據能力，能促進後勤資源之有效整合與運用。

資料來源：參考Dr. Randall Walker, Chief of Product Support, NSWC Crane Christina Gentry, Senior Product Manager, Systems Innovation Engineering, "NAVSEA Model Based Engineering and Digital Product Support Integration," NAVSEA News, February 14, 2025, https://www.waru.edu/sites/default/files/2025-02/DAU_NAVSEA%20Digital%20Product%20Support%20Integration.pdf, visited date: 2026/5/26, 由作者彙整製圖。

模式，於維保所需科技設備設計及製造期間，提供現有場域、設備或人力等資源，配合研發單位適度運用，採「官民共研」原則，打造更符合後勤維保需求的新興科技，並即時掌握技術脈動。

(二) 專責發展窗口建立

1. 國防部於2024年2月1日為結合民間力量，參考美國「國防創新單位」(Defense Innovation Unit)之作法，成立「

國防創新小組」，主要理念為「創新概念評估及引進民間成熟科技，協助提升整體防衛能量，有效運用整體國防資源及能量，以強化國防實力，建立強韌嚇阻戰力」，³⁸2025年就已舉辦117場次商情交流，使國防部能夠掌握最新的科技水準，加速現代化進程。³⁹

2. 美國海軍早在2022年12月就成立「海軍創新中心」(Naval Innovation Cen-

註38：國防部，《國軍新成立類似美軍國防創新單位(DIU)後，對建軍整備有何革新作法及未來預期成效報告資料》，立法院第11屆第1會期外交及國防委員會第33次全體委員會議，2024年7月10日，頁1~5。

註39：李奇勳，〈國防創新小組成立滿2年 顧立雄曝成果：將對外採購機器狗、無人艇〉，鏡報，2026年2月6日，https://www.mirrordaily.news/story/44058?utm_source=feed_related&utm_medium=mnews，檢索日期：2026年5月27日。

ter)，核心目標是縮短從「概念」到「部署」的時間，確保海軍能保持修護技術領先，運用學界、軍方與業界合作開發新興技術，降低新興科技公司、產學界與軍方合作的困難度，共同解決裝備維護所面臨的各類問題。⁴⁰相較於美軍積極導入新興科技作法，我國海軍現行導入新興科技方式雖仍維持公開招標或國防工業展等管道，整體仍偏向被動，且以成熟產品為主，雖有助風險控管，卻可能限制創新技術快速引進。以第一線艦隊而言，除受制於前述機制外，若循「國防創新小組」等途徑尋求支援，亦可能因層級落差與行政程序繁複，難以即時獲得技術協助。鑑此，建構本軍「創新中心」體系，統籌後勤科技引進與產業鏈結，有助達到即時支援維保作業之目的，確實值得思考。

三、多角化軍民鏈結途徑

(一) 後勤演訓交流

1. 美軍為引進各類成熟新興科技技術，並強化與民間之交流合作機制，2022年於西岸「聖地牙哥基地」(Naval Base San Diego)舉行首屆「維修技術演習」(Repair

Technology Exercise)，由來自世界各地多家產、官、學團隊共同參與。首屆演習旨在檢驗各項技術能否在海上環境中發揮應有效能，從而提升艦艇官兵更先進的維保裝備。⁴¹演習內容包括學習如何操作遠端遙控水下載具、解開纏繞在螺旋槳物品，以及檢查官兵難以(或危險)進入的狹小空間等；最後運用AR技術，結合船舶損傷評估訓練系統，在模擬戰損評估場景中提供通信和實時視覺效果，通過頭戴式設備與另一處的專家遠端連接，一起查看受損區域和測量損件數據，隨後以「3D列印」完成損壞零件替換，成果斐然(如圖七)。⁴²

2. 2024年9月及2025年1月，美軍分別在關島基地與「班福特號」(USS Benfold, DDG-65)驅逐艦上，舉行「艦船戰時維修與保養演習」(Shipboard Wartime Repair & Maintenance Exercise, SWARM-EX)，該演習旨在測試受控環境下監控艦船的裝備性能和問題。期間海軍「戰時維修中心」(NAVWAR Watch Center)全天候24小時待命，隨時準備通過所部署的遠端系統，提供艦艇修護技術上的援助。⁴³演習

註40：News, "NPS, Defense Innovation Unit Sign MOU to Enhance Learning, Experimentation, Prototyping for Maritime Advantage," DEFENSE INNOVATION UNIT, April 9, 2024, <https://www.diu.mil/latest/nps-defense-innovation-unit-sign-mou-to-enhance-learning-experimentation>, visited date: 2026/5/27。

註41：News, "US Navy's first Repair Technology Exercise concludes," Naval Technology, September 14, 2022, <https://www.naval-technology.com/news/us-navys-repair-technology-exercise/>, visited date: 2026/5/28。

註42：Teri Carnicelli and Thomas McMahon, "Inaugural Navy Exercise Tests Dozens of Ship Maintenance Technologies Aboard Decommissioned Destroyer," Naval Surface Warfare Center, September 13, 2022, <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article/3157331/inaugural-navy-exercise-tests-dozens-of-ship-maintenance-technologies-aboard-de/>, visited date: 2026/5/28。

註43：Lily Chen, "U.S. Navy 24/7 Watch Center Monitors Fleet Operations Worldwide to Increase Wartime Readiness," DIVDS, June 4, 2025, <https://www.dvidshub.net/news/499654/us-navy-24-7-watch-center-monitors-fleet-operations-worldwide-increase-wartime-readiness>, visited date: 2026/5/28。



圖七：美軍維修技術演習中科技裝備操作

說明：人員配戴AR眼鏡及遙控裝置(右下紅圈處)結合身後機器手臂(左上紅圈處)遠距實施船板銲接。

資料來源：參考Marco Hinahon and Eric Osborne, “REPTX Day 4 Video,” DVIDS, August 25, 2022, <https://www.dvidshub.net/video/855666/reptx-day-4-video>, visited date: 2026/5/28, 由作者彙整製圖。

也引入更多簡化戰時維修流程的技術，包括最近推出的AR維護系統，透過AR眼鏡，艦上將他們面臨的窒礙，以可視化的方式傳達給岸上工程師和其他後勤人員，共同協助快速解決問題。⁴⁴

3. 依國外案例檢視本軍在年度內重大演訓科目，多聚焦於作戰與戰備整備任務；而後勤操演科目多偏重傳統性的搶救(修)為主，較少加入新興科技技術參與其

中。面對科技快速演進，本軍應可借鏡美軍經驗，結合艦隊與各地區後勤單位，藉年度例行舉辦之「海軍後勤技勤訓練評比」時機，建立以科技為導向的演訓機制，全面提升後勤維保效能與持久戰力。

(二) 新型態商業承包運作模式

1. 美國於2000年發展出一套「承包商自有自營」(Contractor-Owned, Contractor-Operated)的商業模式(以下稱COCO模式)，由民間承包商依合約內容承包政府所需的特定服務，政府單位僅獲取服務成果，以降低政府裝備採購及訓練維護等成本。⁴⁵隨著時間的推移，目前「COCO模式」也包含人員訓練、生產製造、裝備維護或技術更新等方面。在2024年歐洲的「太平洋天空24演習」(Exercise Pacific Skies 24)中，⁴⁶美國「梅特雷亞公司」(Metrea)的加油機就與德國運輸機協同完成空中加油作業，充分展現民間組織空中加油能力，亦為此商業模式提供更多軍事用途的考量。⁴⁷

2. 一般裝備獲得除須滿足性能需求，

註44：Aaron-Matthew Lariosa, “U.S. Navy Destroyer Practices Wartime Repair in the Philippines,” Naval News, August 6, 2025, <https://www.navalnews.com/naval-news/2025/06/u-s-navy-destroyer-practices-wartime-repair-in-the-philippines/>, visited date: 2026/5/28。

註45：游凱翔，〈借鏡美澳經驗 學者建議以COCO模式補強情監偵能量〉，中央通訊社，2025年12月7日，<https://www.cna.com.tw/news/aip/202512070072.aspx>，檢索日期：2026年5月29日。

註46：「太平洋天空24演習」由德國、法國和西班牙等多國空軍聯合組成，旨在訓練空中力量投射並展現歐洲對印太地區的共同和平承諾，此次為環球飛行演習，期程自2024年6月至8月止，途經美國阿拉斯加與日本、夏威夷、澳洲及印度等地，總飛行距離約130萬公里。“Pacific Skies 24—one deployment, five exercises,” bundeswehr, October 7, 2024, <https://www.bundeswehr.de/en/organization/german-air-force/pacific-skies-24->, visited date: 2026/5/29。

註47：Luca Chadwick, “COCO air refuelling: Planting the seed of resilience,” ESD, November 11, 2025, <https://euro-sd.com/2025/11/articles/exclusive/47604/coco-air-refuelling-planting-the-seed-of-resilience/>, visited date: 2026/5/29。

表二：「COCO模式」主要優勢與特點

運用	分類項目	主 要 優 勢 與 特 點
建置效能	武器獲得風險	透過民營企業取得任務所需要的成果，而非軍事機關直接投入採購，可避免武器輸入政治敏感等問題。
	裝備維護成本	民營企業需自行負擔管理、運輸、採購、儲放、裝備維修等成本，取代本應由後勤單位所執行之任務；可有效減輕後勤部隊壓力，專責其他事務，並同樣能滿足作戰需求。
	性能提升	可協助單位佔有最新科技技術優勢，避免因技術更新，就需再次辦理採購之程序與成本。
運用支援	演訓任務配合執行	依據多國經驗，均可配合常態性任務執行或參加特定專門演訓，共同交流滿足部隊需求，另於「灰色地帶」衝突區域，可增加用兵靈活性。
	人員教育訓練	民間企業因競爭激烈，一般皆具有專業性較高及強大創新動能的特點，運用此一特點加強交流，可有效提升單位人員技術精進。
	戰時轉換支援	單位可與民間企業簽訂合約，發生戰時裝備立即轉為軍用，並投入戰場，另外，因長期演訓配合亦可有效提升民間與軍方協同作業能力。

資料來源：作者彙整製表。

亦須考量武器輸入之政治敏感風險；且裝備隨服役年限增長，其維護需求與管理、運輸、儲放及維修等成本亦持續攀升，對後勤體系形成一定負擔。爰此，國軍如採取「COCO模式」，以成果導向支援任務需求，取代裝備直接採購與全壽期維管，不僅可外部化部分維護成本，降低後勤壓力，亦能持續導入技術精進成果，使裝備維持最佳效能。

3. 「COCO模式」因可結合常態任務與專項演訓，以強化軍民協同運作，提升艦隊任務執行彈性；另方面，也藉由引入民間企業之專業技術與創新能量，促進人員教育訓練與技能精進，加速新興科技導入與應用成效。此外，透過契約機制設計，此種模式於戰時可迅速轉換為軍事支援體

系，有效整合民間資源，提升整體後勤支援韌性與應即能力(如表二)。⁴⁸

綜上案例，在在凸顯「COCO模式」運作具備高度靈活性與成本效益，值得國軍仿效與學習。

伍、結語

2026年「美伊戰爭」期間，美國和以色列利用AI識別目標，僅在最初的12小時內就對伊朗目標發動了近900次的襲擊，「英國皇家聯合軍種研究所」(Royal United Services Institute)學者表示「AI在各領域部署正不斷擴大，包括後勤、訓練、決策管理和維護等，AI都能以更快的速度綜合分析各類數據。」⁴⁹由此可知，科技技術為國家戰略不可或缺要素，並

註48：賴達文，〈【前瞻軍談】善用「COCO模式」強化應變韌性〉，《青年日報》，2026年1月25日，https://www.ydn.com.tw/tw/News/ugC_News_Detail.aspx?ID=626991，檢索日期：2026年5月29日。

註49：Robert Booth and Dan Milmo, “Iran war heralds era of AI-powered bombing quicker than ‘speed of thought’,” The Guardian, March, 3, 2026, <https://www.theguardian.com/technology/2026/mar/03/iran-war-heralds-era-of-ai-powered-bombing-quicker-than-speed-of-thought>, visited date: 2026/5/30。

直接或間接支持國防事務發展，若能善用在後勤工作中，必能增進資源整合能力，確保整體支援效能強化。再就長期發展而言，科技導入後勤體系不是一次性專案，而是持續進化的過程。明確來說，後勤單位可運用民間或學界資源強化交流，採用漸進式方式引入新興技術，提升我後勤決策管理與敏捷維修能力，更確保在未來高科技、高速度的現代戰場中立於不敗之地。

以海軍而言，在未來五年內採購約1,320艘攻擊型或自殺式無人艇，其內部包含高性能引擎、導航與通訊系統、光電感測器、控制晶片以及武器酬載等；⁵⁰這

些都對後勤維保能量構成嚴苛的挑戰，且戰時軍事行動之遂行，無不仰賴充足而穩定的後勤維保能量做為支撐。面對科技快速演進與作戰環境多變之挑戰，唯有積極導入先進科技技術，強化預測維修與管理機制，並建立制度化、可持續發展之體系，方能有效提升整體支援效能，確保國防戰力長期穩固的安全目標。 錨

作者簡介：

褚之華中校，海軍專業軍官94年班，國防大學海軍指揮參謀學院在職109年班、國防大學戰爭學院114年班。曾任淮陽軍艦輪機長、海軍蘇澳後勤支援指揮部工程科長、海軍馬公後勤支援指揮部計畫科長，現服務於財團法人國防安全研究院。

註50：〈重塑臺海防禦：臺灣海軍千艘無人艇的戰略轉型〉，鏡報，2025年9月18日，<https://www.mirrordaily.news/story/20585>，檢索日期：2026年5月31日。

