

淺談海軍能源轉型

A brief discussion on naval energy transformation

鄧翔靖 先生

提 要：

- 一、我國電力供應以火力發電為主，且能源原料極度仰賴進口，一旦遭中共封鎖，原物料中斷的風險極高；因此，對國家而言，更需要擬訂完善的能源戰略，以應對此一結構性問題。海軍亦應利用此一能源轉型浪潮，重新思考未來建軍備戰規劃的重點項目。
- 二、軍事設備一般的能耗大、且對能源供給要求必須是安全、穩定，能夠充分滿足上述條件，才能減低能源中斷的風險；而目前各項能源轉型技術發展迅速，也提供國軍超越傳統能源範疇以外的新解決方案，值得參考借鑑。
- 三、全球軍事大國正爭相研究新能源技術應用，試圖擺脫對傳統燃油的依賴，以協助追求更靈活、且可長時間行動自主的獨立部隊，藉此維持軍事上的優勢；而這些先行者的努力與經驗，值得海軍觀摩學習。我國海軍可從運用新能源科技、加強使用效率著手，並在「國艦國造」計畫中，融入先進技術，俾設計低能耗的新一代海上艦台與武器，賡續捍衛國家海上交通線安全。

關鍵詞：能源轉型、軍事能源、能源科技、能源管理系統

Abstract

1. My country's electricity mainly relies on thermal power generation and imported energy. Facing potential blockade risks, it is necessary to formulate a comprehensive energy strategy and consider the role of the navy in energy transformation.
2. Military equipment has a large demand for energy and must be stable. The rapidly developing energy transformation technology provides an independent solution for the national army.
3. Global military powers are developing new energy technologies to reduce their reliance on traditional fuels, and these experiences have reference value for navies. The navy should use new energy technology to improve efficiency, integrate advanced technology into the "Nationally Made Ships" program, and design new low-energy-consuming maritime

platforms and weapons.

Keywords: energy transition, military energy, energy technology, energy management system

壹、前言

「大軍未動，糧草先行」，一語道破後勤支持軍事行動的關鍵作用，其中安全、穩定的能源供給，更是戰力發揮、戰爭勝利的重要憑藉。從先進國家海外作戰經驗得知，燃料、飲水與裝備維修，是一線部隊後勤補給的三大支柱。以美軍陸戰隊為例，其為因應全球不斷發生的軍事衝突，現致力於革新傳統後勤系統，以提升部隊行動的持久力；其中這套「再生性後勤系統」(Regenerative Logistics System)具有的韌性與適應力，¹將協助美軍在充滿挑戰的環境下執行任務。我國海軍在後勤補給範疇的討論，多集中在後勤資訊系統之整合與料配件供應上，關於「軍事能源」議題著墨較少。事實上，相關節能項目在先進國家中投入的研究甚早，許多措施也已初見實效，更是當前全球軍事革新的關注焦點。

自有戰爭以來，因補給疏失導致戰敗的歷史斑斑可考，時至今日，如何維持後勤補給順暢仍是現代軍隊「念茲在茲」的課題。然而，近年軍事能源領域的創新突破，很大程度是受惠於全球氣候行動的成果；各國為了減少溫室氣體排放，開始重

視再生能源研發，此舉不僅促進了環境保護，無形中也重塑了軍事能源的概念。於是，從太陽能到永續燃料的次第登場，作戰模式亦隨著能源科技發生變化。以海軍軍艦為例，需長時間於海洋中單獨或集體行動，因此格外重視能源(特指燃料及水)使用；另一方面，能源的酬載量也經常限制海軍艦船的行動自由，連帶影響軍艦作戰的持續力。

故撰寫本文的主要目的，即在如何借鏡新興能源技術，提高海軍能源使用效率，以增加兵力調度的裕度及彈性；亦期望本研究能有助於海軍認真思考如何降低能源風險，俾確保各項任務順利執行。

貳、能源轉型趨勢與我國能源政策

隨著人口增長與工商業迅速發展，全球能源的需求正持續攀升，也導致氣候變遷問題加劇，當前「能源轉型」(energy transition)已被視為人類繼續生存的關鍵處方。2023年11月在阿拉伯聯合大公國舉辦的第28次「聯合國氣候大會」(2023 UN Climate Change Conference, 亦稱COP28)決議指出，人類從石化燃料向零碳能源轉型的時代已經來臨；²而「能源轉型

註1：Dustin Nicholson著，趙炳強譯，〈美陸戰隊再生性後勤系統〉(Marines Need Regenerative Logistics)《國防譯粹》(臺北市)，第50卷，第6期，2023年6月1日，頁25。

」涵蓋能源生產到消費各個環節的改造，旨在實現低碳發展與資源永續利用。對此，「國際再生能源總署」(IRENA)將其定義為：「從依賴化石燃料到實現零碳排放能源體系的轉變，不僅關乎技術和政策創新，更是對社會經濟結構的深刻調整。」³凸顯「能源轉型」對人類社會永續發展，有著長遠且巨大的影響。

如同2018年成立的國內企業—「太平洋綠能公司」所做的說明，能源轉型超越環境和污染問題，涉及經濟、政治、產業結構的全方位變革，目的在於提高能源利用效率，確保人類社會的可持續發展。⁴換言之，對於地球村的每一位成員來說，能源轉型不僅是為了減少碳排放，以避免未來產品遭到國際抵制，更是朝向綠色、永續未來的必經之路。以下就我國能源結構、政策及軍事能源安全政策等現況，分述如后：

一、我國能源結構

(一)我國能源依原物料來源，概分為進口與自產能源兩類，依「經濟部能源署」網站資料，我國今年三月有近百分之九十七的能源供給仰賴進口，其中對石油及天然氣進口依存度更超過九成九以上，⁵顯示我國能源的原物料來源，有很高的外部風險。根據「臺灣電力公司」統計資料，我國2023年天然氣發電比重為百分之四十四點一，⁶天然氣安全存量僅約11天。⁷再者，燃油的供給依我國《石油管理法》第24條規定，「石油煉製業及輸入業，應儲備前12個月國內石油平均銷售量及使用量不低於60日之安全存量；液化石油氣，應儲備前12個月平均銷售量及使用量不低於二十五日之安全存量。」⁸，代表政府應儲備30日安全存量；然我國石油幾乎全部從海外進口，⁹所以燃油供應是否穩定，端視我安全存量是否足夠。

註2：阮怡婷、王茜穎，〈COP28最終決議、首次寫明「轉型脫離化石燃料」，史上最多石油說客的COP，終為扭轉氣候危機留一線希望-COP28中場戰役〉，CSR@天下，2023年12月13日，<https://csr.cw.com.tw/article/43472>，檢索日期：2024年5月17日。

註3：環境品質文教基金會，〈臺灣能源轉型迷航記〉，《環報》，第108期，2021年9月1日，http://www.eqpf.org/envinews/epContent.aspx?dsn=346&cId=4&fbclid=IwAR2Q8zcTUghECcQUPzMQR3n4N_QDsUFbn0-YmwVX-Ph_REKyWo622-1Dy38，檢索日期：2024年5月14日。

註4：〈【綠能知識庫】能源轉型總整理 由臺灣發電比例掌握現行能源轉型政策，邁向綠能新家園〉，太平洋綠能公司，2021年3月12日，<https://blog.pgesolar.com.tw/2021/03/12/%E8%83%BD%E6%BA%90%E8%BD%89%E5%9E%8B>，檢索日期：2024年5月17日。

註5：經濟部能源署，〈能源統計月報表〉，經濟部能源署，<https://www.esist.org.tw/newest/monthly?tab=%E8%83%BD%E6%BA%90%E6%8C%87%E6%A8%99>，檢索日期：2024年5月17日。

註6：〈歷年發購電量占比〉，臺灣電力公司，2022年2月1日，<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=212&cid=120&chk=f3a1b1e0-03e5-45fa-b72e-b28c5cb94f37>，檢索日期：2024年5月18日。

註7：〈113年度國內天然氣安全存量〉，經濟部能源署，2023年5月15日，https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=14307，檢索日期：2024年5月18日。

註8：〈石油管理法〉，全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0020019>，檢索日期：2024年4月18日。

註9：經濟部能源署，〈民國111年能源統計手冊〉(臺北市)，2022年3月30日，頁2。



(二)我國電力供給以火力發電(煤及天然氣)為大宗，且原料多仰賴進口，這使我國內部非常容易受到全球能源市場價格波動的影響；如2022年爆發的「俄烏戰爭」就持續推高能源價格，造成我國進口成本大增，¹⁰更遑論戰時肯定存在海上運輸中斷的風險。由於我國在全球科技產業鏈具有重要地位，所以能源供給備受國際關注，「臺灣美國商會」(AmCham Taiwan)發表的《2023臺灣白皮書》(2023 Taiwan White Paper)報告中，就對我國「能源安全」表示憂心。¹¹再者，我國能源安全與外部環境關係密切；因此，維繫海上交通

順暢、確保能源進口無虞，就顯得至關重要。

二、能源轉型政策

(一)為呼應國際氣候行動，政府於2022年提出「2050淨零排放路徑」。雖然「淨零排放」是一項環境友善政策，但相關單位卻納入許多能源「安全」的項目；而該政策四大策略中，「能源轉型」是其中的關鍵策略(如圖一)，這不僅說明能源科技廣泛應用乃當下的必然趨勢，同時行政院也在政策說明中，將能源轉型與「安全」進一步連結。¹²「國家發展委員會」(以下稱「國發會」)則在策略總說明中具

註10：張瑞雄，〈半導體產業 也能是能源挑戰解方〉，《聯合報》，2024年4月26日，民意論壇A10版。

註11：陳熙文，〈美商會白皮書 嚴批我能源政策：能源轉型落後衝擊國家安全〉，聯合新聞網，2023年6月8日，<https://udn.com/news/story/7238/7220342>，檢索日期：2024年5月17日。

註12：行政院指出「2050淨零排放路徑」的目標為「能源轉型更安全、產業轉型更具競爭力、生活轉型更永續、社會轉型更具韌性」。〈我國2050淨零排放〉，行政院新聞傳播處，2023年3月14日，<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/7a65a06e-3f71-4c68-b368-85549fbca5d1>，檢索日期：2024年5月15日。

體地指出：「透過打造具競爭力、循環永續、韌性且安全之各項轉型策略及治理基礎，以促進經濟成長、帶動民間投資、創造綠色就業、達成能源自主並提升社會福祉。」¹³儘管兩者內容都提及能源「安全」議題，究其肇因，皆源於我國能源無法自主的真實情況。

(二)「淨零路徑」策略看似各自獨立，但是產業、生活、社會轉型，其實都立基於能源；而在「能源轉型」框架之下，又有「打造零碳能源系統」、「提升能源系統韌性」及「開創綠色成長」等三大方針。¹⁴簡言之，就是建置一個既穩定、安全且又潔淨的能源系統，藉以帶動國家整體經濟發展。顯然我政府已洞見引進新能源技術，不僅能夠改善環境品質，更有助於打破現存能源結構的困境。雖然「自產能源」離自給自足還有很大的距離，但這似乎也是四面環海的我國，唯一可行的能源安全解決方案；然儘管當前「淨零、減碳」目標如此明確，但是政策執行成效上，似乎仍有努力的空間。¹⁵

三、國軍能源安全政策

(一)國軍目前以「防衛固守，重層嚇阻」做為軍事戰略指導，以此觀之，建構

一支兵力、武器、能源皆完備的軍隊，方能達成此一戰略總目標。在《中華民國112年國防報告書》中，「能源安全」被納入「區域非傳統安全威脅」內容中，並強調我國高度依賴進口能源，且面臨能源市場風險以及潛在的軍事封鎖威脅，故須考慮相應的應變策略。¹⁶但報告中並未對「軍事能源」規劃做出具體說明，實屬可惜；而針對「軍事能源轉型」部分，亦僅著重在「環保意識」，而非具體軍事行動之成敗，凸顯國軍仍未將能源安全視為重點項目。

(二)實現軍事戰略指導的幾個主要方針，包括「去中心化」指揮管制、增強防衛作戰韌性、結合全民防衛力量、遠程打擊與多層次防禦等作為，細究其中都必須倚賴穩定的能源供給。¹⁷尤其欲落實「去中心化」指揮管制，則電力供應能否自給自足，將左右國軍各級部隊C4ISR系統的運作成效；另後備動員之部隊及民防力量，則需要依賴充足的燃料供應，才能在城鄉之間迅速部署、移動；即便是個人輕型裝備移動，也需足夠的外接電源才能保持長時間運作；而多層次防禦策略，無論防空、反水面、反登陸還是城鎮作戰，各種

註13：〈臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明〉，國家發展委員會，2022年3月30日，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76，檢索日期：2024年5月20日。

註14：同註12。

註15：臺灣近期停電事件頻傳，雖臺電解釋「缺電」非停電原因，但仍引起社會廣泛關注。周容萱，〈缺電危機？北臺灣3天停電多次、影響上萬戶〉，TVBS新聞網，2024年4月19日，<https://news.tvbs.com.tw/life/2460640>，檢索日期：2024年5月20日。

註16：國防報告書編纂委員會，《中華民國112年國防報告書》(臺北市：國防部)，2023年9月，頁44。

註17：同註16，頁44、63。

武器系統、載具(臺)的調度和運作，都是對軍事能源供給實力的巨大挑戰，且攸關整體戰力發揮，國軍必須予以正視。

(三)為實現國防戰略目標，國軍軍事能源的規劃和管理顯得格外迫切。由於改善能源安全和穩定供應問題，牽涉到整體國家能源結構的調整；如果沒有建立可恃的安全存量，就必然遭遇到能源匱乏的風險。再從軍事角度出發，國防部需要統籌全軍資源，依戰略規劃優先順序，方能滿足防衛作戰需求；至於各軍種則應根據任務及軍種特性，制定獨立的能源政策因應。以海軍艦隊為例，就需考慮戰時燃料的安全儲備量、油庫位置、管線配置和安全措施，以及後勤補給船艦的海上調度及任務護航等全般問題，方能確保在長期持久的任務下，能源需求仍能不餘匱乏。

參、軍事能源轉型的具體效益

在現代高科技環境下的軍事行動中，能源供給經常成為勝敗關鍵。軍隊行動不只需要源源不絕的能源供應，同時還必須滿足高耗能、安全性與補給線彈性等條件；尤其軍事裝備如飛機、戰車、艦艇等，由於重裝甲和特殊結構，使其運轉期間能耗異常巨大。未來我國主力戰車「M1A2」每行駛100公里的油耗超過400公升，足見

軍事行動能耗之驚人。¹⁸此外，面對惡劣的作戰環境下，軍事能源部署對安全要求亦有更高的標準，如「俄烏戰爭」持續發生的「距離暴虐」(tyranny of distance)現象，¹⁹便是能源補給線脆弱、且缺乏運用彈性的負面教材；更不用談到烏克蘭戰場上滿是棄置的戰車，除戰損外，多是燃油、彈藥缺乏所致。所以，要滿足軍事能源需求的諸多特性，同時面對長期或遠離常規補給的任務情境，就必須從大戰略的視野運籌，以完備能源的供應、儲存、運輸和使用等複雜面向。

從我國「2050淨零排放路徑」可以發現，新能源技術不啻為環境永續的關鍵工具，也可以同時滿足能源自給自足的需求；因此，逐步汰換傳統化石燃料、導入先進能源技術，將是轉型的核心工作。此外，一般所謂「能源轉型」，除了著眼於能源生產方式的「去碳化」(即去石化燃料)，還必須關注能源的使用效率，而這兩個方向都能同時強化軍事能源結構安全。以下就軍事能源需求特性，及能源轉型的具體效益，分述如后：

一、提高能源供給的安全性

「安全性」幾乎是推動能源轉型最重要的一項因素。軍隊的行動有賴於持續、穩定的能源補給，無論前線或後方、承平

註18：黃竣民，〈引進M1A2主力戰車只有動力問題？〉，雲論-ETtoday新聞雲，2018年12月7日，<https://forum.ettoday.net/news/1325007>，檢索日期：2024年5月18日。

註19：係指因補給距離過長產生巨大的軍事風險及後果。歐錫富，〈俄軍後勤陷入烏克蘭泥淖〉，《國防安全雙週報》(臺北市)，第52期，2022年4月22日，頁21。

或戰時、海上或泊港、電力或燃油，全力保有一條源源不絕的能源補給線，是所有軍事行動的優先考量。現在無論是太陽能、氫能、小型核能技術的次第發展成熟，在選擇越來越多、能源功率也越來越大的情形下，海軍有機會構建一支能源依賴度低的部隊；事實上美、英國部隊都已經在這方面有所斬獲。

二、將有限資源效用最大化

我國國防支出占政府總預算約百分之三，2023年含特別預算共計新臺幣5,000多億，明顯較往年大幅提高；²⁰但面對當前中共嚴峻的軍事威脅，國軍僅提高預算是遠遠不足的，我們還需要將有限資源最大化。成功的能源轉型包含有效率的使用能源，以及降低對單一能源的依賴性，這可以從硬體、軟體兩個構面檢視，即一方面研發低耗能設備或導入先進能源技術；另一方面則利用數位控制技術，監控、管理能源的使用，如此雙管齊下，方能將有限資源效益最大化。

三、增加兵力調度的彈性空間

(一)過度仰賴單一能源如汽(燃)油，那麼當戰甲車脫離油庫安全範圍，它的運動距離就會受限於油箱容量。如果是高效能油電混合車，它的活動距離將可延長；甚至未來搭載太陽能充電或氫能轉換設備

，活動範圍將不再受到補給區域的限制。易言之，藉由新能源技術使燃料供應多元化，除了可以延伸載台的運動半徑，尤其當某一種能源取得困難時，如能立即以其他方案替代，則軍事行動將不致因能源殆盡而中斷，兵力調度也更具彈性空間。

(二)兩岸若發生衝突之際，我國海域極可能遭遇封鎖。依民間燃油存量不足百日之規定，合理推斷國軍受到之限制，肯定不在話下；即便中共海、空軍、火箭軍不發動任何攻勢，國軍戰力再強，恐也「無用武之地」；屆時，兵力、武器優劣已非重點，是否具備持續戰力能與敵人周旋，恐怕才是關鍵。從「俄烏戰爭」觀察，俄國黑海艦隊遇襲多在港內或錨泊階段，²¹凸顯靜止中的艦艇，就僅如同一支岸置飛彈部隊，無法完全發揮戰力；易言之，具有充沛能源供給的軍艦，才能持續部署於海上，充分發揮應有的戰力。

當然，我國能源結構在短時間內很難在根本上改變，此外能源科技也有許多問題尚待解決，例如太陽能發電的方式及低負載特性，大幅限制它的軍事用途；氫能雖有能量密度高、體積重量輕的特點，但目前軍艦載台尚無產氫的條件。由於能源轉型的趨勢已然形成，這些問題的解決相信「指日可待」，且根據過往軍事應用新

註20：〈國防部發布新聞稿說明行政院核列112年度國防部主管歲出預算〉，中華民國國防部全球資訊網，2022年8月25日，<https://pse.is/5vv8wb>，檢索日期：2024年5月18日。

註21：蔡佳敏譯，〈俄黑海艦隊母港遇襲 烏媒發無人艇攻擊畫面〉，中央通訊社，2022年10月30日，<https://pse.is/5wzupp>；許懿安，〈黑海艦隊所駐港口多次大爆炸 俄控烏軍襲擊 英媒：數艘船艦炸毀〉，香港01，2022年10月29日，<https://pse.is/5wzur8>，檢索日期：2024年5月18日。

科技的前例，先進國家很快就會有實際成果，國軍應密切觀察其發展現況，積極納入建軍備戰參考，以避免因能源供給不足，限制海上作戰的持續力。

肆、各國軍事能源轉型現況

戰場上使用的武器，往往來自當時新銳科技的應用，諸如電報機、雷達、原子彈、電腦，以及現在的無人機；而在可預見的未來，全球軍武趨勢將導向新能源技術的高度應用。目前主要軍事大國無不致力於軍事能源轉型，其目的不外乎透過新能源技術利用，以確保能源安全、延長補給縱深、並達到節約國防預算的目的；其中美、英兩國與中共的發展頗具成效，相關研究成果概述如後：

一、美國

美軍兵力及駐地遍布世界各地，能源負擔不可謂之不重。且美國無論科技、國力皆獨霸全球，故其新能源技術之應用，也較他國更為先進且運用廣泛，包括早已全球部署的核動力航艦打擊群、核潛艦等，都有新能源技術的內涵；儘管如此，軍事能源的安全、永續，迄今仍是美軍關注的焦點。美軍能源使用兼具有消耗量大、補給線長兩項特徵，使其全球軍事部署時的能源考量更顯複雜；此外，能源必須支



圖二：美海軍「F-18」戰機使用全生質燃料

資料來源：〈True or False? The Navy has Developed a 100% Bio-Fuel for the F-18?〉，SOFREP，2017年1月3日，<https://sofrep.com/fightersweep/true-false-navy-developed-100-bio-fuel-f-18/>，檢索日期：2024年5月12日。

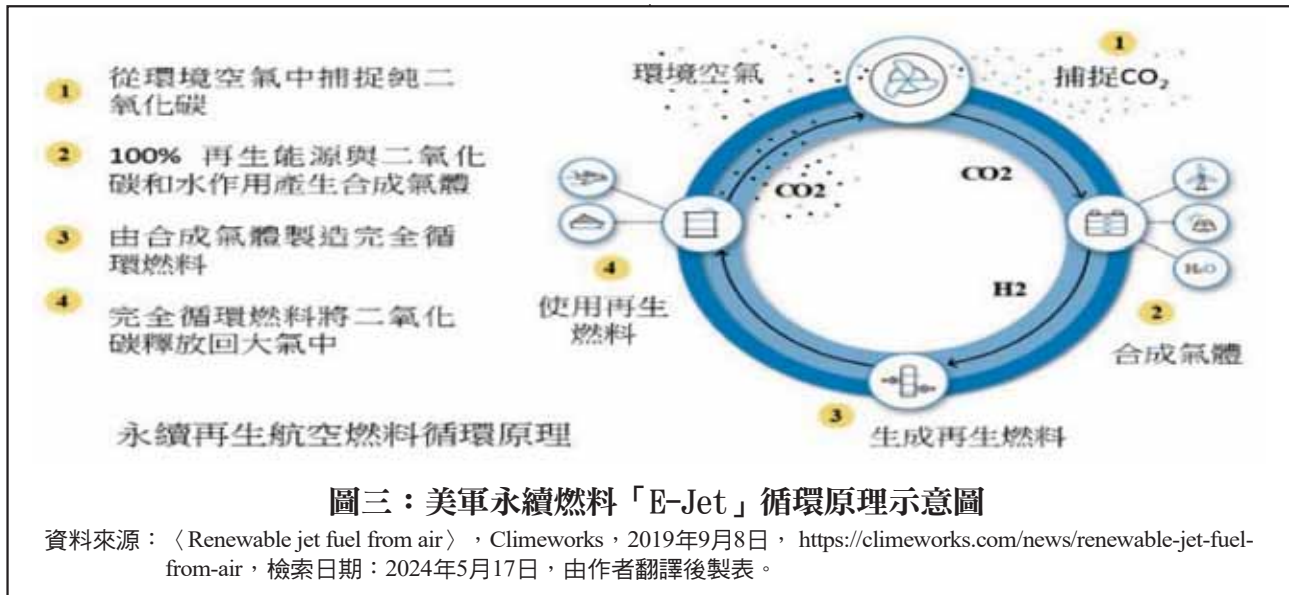
援新式武器發展需要，因此在電力系統應用上也是「著力甚深」。美軍能源轉型特別突出的例證，說明如后：

(一)降低軍用燃料的支出

根據美國國防部統計，單在2017這一年美軍就消耗掉8,700萬桶原油，²²總價值相當於82億美元(約合新臺幣2,624億)；因此，為降低燃料支出，美軍陸續實施軍事能源多樣化策略。該年海軍就完成首架「F-18」戰機「全生質燃料」(bio-fuel)飛行測試(如圖二)，飛行員表示感覺不出和「傳統JP-5噴射燃料有任何差異」。²³其實，早在1993年美國海軍「海上系統司令部」(Naval Sea Systems Command, NAVSEA)就已啟動名為「I-ENCON」的燃油節約計畫，以傳統數據統計方式，協助艦

註22：蘇紫雲，〈美軍推動綠能政策值得借鏡〉，《國防安全周報》(臺北市)，第22期，2018年11月16日，<https://indsr.org.tw/respublicationcon?uid=12&resid=660&pid=3281&typeid=3>，檢索日期：2024年5月16日。

註23：FighterSweep Staff，〈True or False? The Navy has Developed a 100% Bio-Fuel for the F-18?〉，SOFREP，2017年1月3日，<https://sofrep.com/fightersweep/true-false-navy-developed-100-bio-fuel-f-18/>，檢索日期：2024年5月17日。



船操作及提升使用效率；該計畫於2000年起推行後，已獲得相當成效。²⁴此外，自2020年起艦艇更逐漸以生質柴油取代傳統柴油；陸軍則導入「油電混合動力」(hybrid)之作戰車輛；²⁵除此之外，美軍也大量使用無人機(UAV)²⁶，來減少航空燃油需求。以上這些科技的應用，都為美軍減輕龐大的燃料預算。

(二) 發展替代及永續能源

除了軍事行動巨大的燃料成本外，美軍前線的能源補給也存有一定隱憂，例如在亞太地區戰場可能遭遇共軍「反介入/區域拒止」(Anti-Access/Area Denial)能

力提升的威脅，推高其能源補給之風險。為此，美軍積極發展替代能源及相關應用工程，包括陸續為各基地建置太陽能光電及儲能系統等設備，做為穩定安全的替代能源。如2021年美國空軍就執行一項永續燃料的「E-Jet」試驗計畫，利用空氣中的二氧化碳和水生成合成氣體，再由氣體產出再生航空燃料，如此循環不息(如圖三)。²⁷這些行動除了減輕補給線過長的能源壓力外，另一方面，也為美軍建立友善環境的正面形象。

(三) 導入全電力推進系統

美國海軍很早就開始嘗試使用電力推

註24：郁瑞麟、郭哲維，〈海軍艦艇燃油節約量化研究-美軍I-ENCON模式〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第46卷，第6期，2012年12月1日，頁92。

註25：同註22。

註26：以美軍MQ-9收割者偵察機為例，飛行推力來自渦輪螺旋槳發動機，應屬傳統燃油發動機；雖非使用再生能源，但仍較一般戰機省油且安全。〈MQ-9收割者偵察機〉，維基百科，<https://pse.is/5vvdwv>，檢索日期：2024年5月18日。

註27：「E-Jet」係美軍與民間在低碳或零碳航空燃油的一項合作計畫，由美國「空軍作戰能源辦公室」(U.S. Air Force Operational Energy)與「Twelve」公司進行合作，成功驗證以空氣中收集之二氧化碳生產航空燃料的可行性。劉翎端，〈美國國防部永續航空燃料之推行與挑戰〉，《國防安全雙週報》(臺北市)，第76期，2023年3月31日，<https://indsr.org.tw/republishationcon?uid=12&resid=1945&pid=3868>，檢索日期：2024年5月16日。

進系統，但由於電力組件體積過大，且「機—電」轉換效率不彰，使這項技術始終未成為主流。近年電力和半導體技術的快速進展，使美軍對「整合動力系統」(Integrated Power System，以下稱IPS)重拾信心。此系統可以將艦上推進和電力系統整合，從而優化電力生成、傳輸與負載管理。目前比較成熟的是「朱瓦特級」(Zumwalt class)驅逐艦所採用的全電力推進系統。該型艦一方面利用IPS強化能源管理、減少燃油消耗；一方面利用其統一調度全艦電力分配，支援高功率雷射和電磁砲武器，以增強艦艇的防禦力和攻擊力。²⁸

(四) 建立能源管理系統

由美「海上系統司令部」(NAVSEA)開發的「全球能源資訊系統」(Global Energy Information System，以下稱GENISYS)，自2023年9月起陸續建置，用以提升艦隊燃料使用效率。這是一套先進的能源管理框架，能精確監測艦船能源消耗，²⁹該系統係由數位日誌(digital log books)、艦船能源評估系統(Shipboard Energy Assessment System, SEAS)及岸基雲端平台組成，系統自動將軍艦上能源使用相關數據傳輸至雲端，分析後提出裝備

操作建議，以減少船員紀錄負荷與錯誤，同時優化能源使用效率。至2023年底，包括「伯克級」(Arleigh Burke class)等12艘驅逐艦均已安裝此系統，除協助海軍在遠洋作戰中優化資源管理外，亦有助提升能源效率和作戰能力。³⁰

二、英國

(一) 老牌海上強權英國在軍事能源轉型上也是不遺餘力。2022年皇家海軍在朴茨茅斯(位於英格蘭東南部，歷來都是英國最重要的海軍基地)，啟用首座「碳中和」(Carbon Neutrality)建築「伊莉莎白女王級航空母艦正向物流中心」(Queen Elizabeth Carrier Forward Logistics Centre)。這座物流中心不僅供應英軍2艘航艦料配件的倉儲需求，更透過建築屋頂的678片太陽能光電板及停車場的太陽能電池陣列(如圖四)，生產高達1.25千瓩的電力，以滿足物流中心照明、暖氣和運營所需的能源，³¹成為一座電力自給自足的先進補給基地。

(二) 海軍也與「奇異集團」(GE)子公司合作，嘗試為「45型」飛彈驅逐艦(Daring-class destroyer，或稱「勇敢級」，如圖五)導入「整合式全電力推進」(integrated electric propulsion, IEP)

註28：翟文中，〈淺談新一波「海軍軍事革新」—全電力推進與電能武器的發展〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第56卷，第2期，2022年4月1日，頁24。

註29：Seapower Staff，〈Navy Deploys Automated Energy Assessment Tools to the Fleet〉，2023年9月8日，<https://seapowermagazine.org/navy-deploys-automated-energy-assessment-tools-to-the-fleet/>，檢索日期：2024年5月20日。

註30：同註29。

註31：劉翎端，〈軍用綠能〉，《2022 國防科技趨勢評估報告 關鍵軍事科技與我國國防產業之整合》(臺北市：五南圖書出版股份有限公司，2022年12月)，頁114。



圖四：英軍「正向物流中心」

資料來源：〈Portsmouth's special power catering for Royal Navy aircraft carriers so as not to leave the city in the dark〉，MercoPress，2022年2月17日，<https://en.mercoPress.com/2022/02/17/portsmouth-s-special-power-catering-for-royal-navy-aircraft-carriers-so-as-not-to-leave-the-city-in-the-dark>，檢索日期：2024年5月19日。

技術。該系統不直接將發電機的機械能轉換成推進力，而是先將機組產生的機械能轉換成電能，再用電能驅動俾葉馬達；因此，發電機組不需要配合船速，而能保持在最經濟轉速、以產生電能，再根據需要分配電能給俾葉或船上其他的系統。由於船艦以不同速度航行時，發電機都可以維持在相對固定且效率高的轉速，使得該艦型體積雖然增加，燃料消耗卻大減百分之四十五。³²

(三)皇家海軍包括「45型」驅逐艦在內的部分船艦，正在試驗另一項名為「SEA-CORES」(Ship Energy Assessment-Condition Optimisation & Routing Enhancement System)的能源評估技術(如圖六)，該項技術係透過監控、評估、建議

註32：同註31，頁117。

註33：同註32。



圖五：英國「45型」驅逐艦

資料來源：〈「45型」驅逐艦〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/45%E5%9E%8B%E9%A9%85%E9%80%90%E8%89%A6>，檢索日期：2024年5月19日。

等流程，改善艦船的能源利用效率，以延長作戰續航力、減少運營成本，最終將支持英國國防部的永續發展目標。目前英國「整合式全電力推進」及「SEA-CORES」等兩項計畫正齊頭並進；除了海軍以外，英軍輕型裝甲車和運輸車輛，也將陸續改為油電混合動力，不僅降低噪音和碳排放、提高行踪隱蔽性，還能在必要時為野戰醫院提供緊急電源。³³以上實例均可見英軍為保有軍事優勢，積極從事能源轉型的強大企圖心。

三、中共

中共做為直追美國的軍事大國，對先進技術的應用同樣充滿企圖心，尤其體認到能源安全攸關戰爭勝敗；因此，更是積極地嘗試各種新能源技術。依我國學者研究指出，目前共軍仍以傳統能源為主，但



圖六：英國「艦船能源評估」系統(SEA-CORES)示意圖

資料來源：參考BAE Systems Maritime, twitter, 2017.11.8, https://twitter.com/BAES_Maritime/status/928288467171315712，檢索日期：2024年5月12日，由作者翻譯後製表。

其在軍事能力擴張的過程中，能源的消耗增加，加上偏遠地區運輸不易，確實已帶來嚴重的戰略安全問題。³⁴凸顯中共與美軍的軍事情境雖不相同，但實施能源轉型的考量都源於幅員遼闊、能源供給不易等因素；而為解決上述的戰場困境，共軍相應作法，概要說明如後：

(一) 建構多元軍事電網

中共國土北境有俄羅斯、南有印度環伺，邊境綿延數千公里，且有許多高山極端地形，著名的喜馬拉雅山就矗立在「中」、「印」邊境；因此，為解決偏遠軍事基地電力不足、補給資源運輸不易，共軍除積

極連接邊哨電網，更結合再生能源如太陽能、風能及儲能設備，逐漸形成國家電網、柴油發電系統、再生能源設備互補之微型軍事電網，以解決軍事部署或對峙時的能源消耗問題。³⁵而類似的運用也可以隨時拓展使用範圍，研判日後共軍各基地都可能採用此種多元的電力供應系統。

(二) 再生能源發電之應用

「國際能源總署」(The International Energy Agency, IEA)指出，中共為全球再生能源增長最快速的國家，其2023年的太陽能光電發電容量，相當於2022年全球太陽能光電總發電容量；而其在2023年

註34：劉翎端，〈中共軍用替代能源新發展〉，《2021 國防科技趨勢評估報告 中共新世代軍》(臺北市：五南圖書出版股份有限公司，2021年12月)，頁127。

註35：孫興維、於海青，〈80 多個新能源微電網落戶邊海防部隊〉，《解放軍報》，2021年2月5日，<https://reurl.cc/L7bLl3>；晏良、劉大輝，〈個性化解難精準服務雪域哨所〉，《解放軍報》，2021年3月24日，<https://reurl.cc/bnXar6>，檢索日期：2024年5月13日。



圖七：中共「啟明星五十」無人機

資料來源：〈中國航天工業突破 太陽能無人機首飛〉，*《亞洲週刊》*，2022年第37期，2022年9月12日，<https://pse.is/5vwjq6>，檢索日期：2024年5月18日。



圖八：共軍研發的保溫方艙

資料來源：〈中印邊境解放軍用上保溫方艙〉，*《明報》*，2020年10月10日，<https://pse.is/5x8k8p>，檢索日期：2024年5月18日。

的風電新增發電容量，也較前一(2022)年陡增百分之六十六。³⁶檢視這些成長也具體反映在軍事應用上，如新式高空長航無人機「啟明星五十」(如圖七)，就是利用太陽能光電達到長時間留空的目的。此外，諸如「中」、印邊境高原的新型拆裝式「自供能保溫方艙」(如圖八)或海島礁上打造的再生能源智慧微電網，都能看到相關技術的大量應用。³⁷總的來看，中共是目前新能源技術應用最積極的國家，其追求能源安全的企圖心「不言可喻」。

(三) 氫燃料電池之應用

氫能具有能量密度高的特性，有機會取代燃油成為新能源主力；然由於相關基礎建設尚未完備，加上目前全球氫產業發展分歧，部分著重於長途重機具應用，如

貨車、公車等；有的則利用氫燃料重量輕的特徵，以氫氣瓶方式使用在機車上，皆各有所長、不一而足。共軍在氫燃料電池的發展，目前集中在無人機、車輛及個人裝備上，並試圖結合民間力量，以擴大建立氫能源產業鏈。³⁸分析共軍目前已是全球軍事氫能應用的先行者，惟氫原料生產成本極高，預期會待相關技術突破後，才會有更多的實際應用。

伍、海軍能源特性與轉型建議

每一個軍種都有獨特的能源需求方式、滿足的條件也都各異，就像空軍戰鬥機使用的航空用油很難從民間籌獲，且必須搭配機場才能發揮作用。海、空軍雖然情況有些相似，但空軍戰鬥機一般燃油酬載非常有限，讓留空時間受到限制，這種能

註36：張子清，〈與前一年相比 IEA：2023全球再生能源發電容量增加百分之五十〉，中央廣播電台，2024年1月11日，<https://www.rti.org.tw/news/view/id/2192512>，檢索日期：2024年5月17日。

註37：〈中印邊境解放軍用上保溫方艙〉，*《明報》*，2020年10月10日，<https://pse.is/5x8k8p>；〈中國航天工業突破 太陽能無人機首飛〉，*《亞洲週刊》*(香港)，2022年9月12日，<https://pse.is/5vwjq6>，檢索日期：2024年6月10日。

註38：同註34，頁128-131。

源使用的緊迫感，絕非一般地面部隊所能體會。對此一現狀，國內媒體也曾披露，因應共軍機艦在臺海周遭活動數量增加，海、空軍持續加強監控任務，連帶造成油料預算超出原規劃的報導，³⁹凸顯國軍能源問題之嚴重性。因此，在研議能源轉型建議前，應先瞭解海軍能源使用上的特性，再針對需求提出能源轉型的具體建議，以解決可能遭遇的實際問題。

一、海軍能源特性

海軍各單位尤其是艦隊單位，對每日油、水存量的管制，均有其完整程序，並需紀錄回報；偵巡、演訓任務後，返港期間對油、水、糧秣的補充，更是優先項目，俾因應下次任務到來。至於較長的航程對於油、水使用及消耗更加謹慎，至於必須搭配油彈補給艦進行海上整補，而這也是戰備訓練的重要部分。檢視艦艇航行期間除主機、電機等裝備系統運作倚賴油料外，戰鬥系統及通雷裝備更需源源不絕且穩定的電力供給，才能有效發揮戰力。海軍能源特點摘列如后：

(一) 能源決定作戰持續能力

能源(主要是燃油)是艦艇在海上持續行動和作戰的最基本元素。無論是航行、通信還是武器系統，甚至生活設施都需要源源不絕的油料供給。艦船續航力取決於設備油耗、酬載量及航行方式，在酬載油量固定的情況下，唯有良好的能源管理和

航程規劃，方能長時間在海上執行任務；且由於毋需頻繁返回基地或補給點，自然增加艦艇的持續戰力。所以，新造艦船除裝備技術更新穎外，其主、電機性能也肯定較老舊艦船擁有更低的油耗，這也凸顯當前海軍對「國艦國造」的需求迫切。

(二) 能源決定兵力調度的彈性

對單艦而言，能源的盈缺決定作戰持續力；而就大格局的戰略部署而言，甚至會影響部隊的兵力調度。半個多世紀以來，隨著能源技術發展，海軍的任務範圍和持續時間也大幅增加，使得如核動力航艦和潛艦得以全球戰略部署，亦成為戰場勝敗的關鍵角色。我海軍艦台均屬傳統燃油動力設備，艦艇酬載之燃料、物資有限，一旦區域情勢緊張，任務時間拉長，將使能源的不確定因素提高；若艦艇無法妥善管理能耗，則每一次返港整補，都將增加受攻擊之風險，更會讓兵力調度出現「捉襟見肘」的窘境，問題不容小覷。

(三) 軍艦必須倚靠軍港補給

海軍的油、水補充分倚賴港口，至於裝備保修及彈藥補給也只有特定軍港才能完成(輕快兵力則可在一般漁港內進行)；即便是一般的港口也要有足夠的水深、碼頭長度、迴旋半徑及對接設備等，才能讓軍艦順利靠泊，並完成淡水、燃油的補充。雖然，海軍可以在海上進行整補，但限制及安全因素較多；尤其當緊張情勢升高

註39：鄭中堂，〈強化國軍思想教育反制中共「認知作戰」淺析〉，《海軍學術雙月刊》(臺北市)，第58卷，第3期，2024年6月1日，頁126。

時，海上更需要護衛兵力協助，才能順利進行油、彈整補。另一方面，一旦特定港口遭到封鎖或攻擊，海軍戰力將被嚴重限縮；因此，重要軍、商港一般都會列為國軍重要防護目標，如此才能分散風險，並確保戰力完整。

(四) 海上交通線攸關能源安全

海上交通線攸關國家能源進口安全，而海軍扮演的角色無可取代。艦艇不僅是國土的延伸，也是海上交通安全的屏障；特別是我國四面環海、能源又高度倚賴進口；如果無法確保海上能源運輸路線安全，政府運作、人民生計將立即受到影響，各種兵力戰鬥、戰術行動也可能因能源短缺，無法順利完成海上機動。為此，海軍同仁有必要確保制海任務之達成，同時也應體認海上交通暢通不僅攸關能源供給，且與國家安全息息相關。

二、海軍能源轉型的建議

若暫不考慮國家整體能源結構，海軍仍可以採取部分措施來增強能源供給的安全性。首要任務是對安全儲備的重新評估，特別是在面臨能源進口中斷的風險時，海軍如何調配並優先滿足作戰需求；再下一步，則是思考如何更有效地使用能源。能源管理涉及資源開發(開源)與管理(節流)，或可藉導入新能源技術和提高能源使用效率兩個途徑來實現，具體可參考

建議如下：

(一) 新興能源科技的運用

目前美國空軍正在執行的「E-Jet」計畫，試驗替代航空燃料的可行性，⁴⁰一旦成功，研判未來傳統燃油在大型艦艇上進行自力回收、轉換再生亦不無可能；另可以關注中、小型「氫燃料電池」的發展方向。由於氫能是較燃油更具爆發力且安全的新能源類型，此一市場我國產業界有台達電、康舒、中碳等氫燃料電池大廠正積極布局；⁴¹研判有機會尋求合作以「軍用商規」的型態，進入國軍能源安全設備序列中。國外企業如日本「YANMAR」能源公司在2024年初開發海運氫燃料電池系統(300KW)，獲該國「海事協會」(ClassNK)認證(如圖九)，可輕鬆在船上安裝，或多枚並聯使用；而類似能源模組皆具有軍用潛力，且部分已進入實用階段，代表相關技術已日漸成熟，或可納入我國新造艦參考，透過新能源供給多樣性，建構下一代海軍戰力的基石。

(二) 利用科技提高能源效率

美、英等國海軍除了利用油電整合系統減少燃油消耗外，其「全球能源資訊系統」(GENISYS)及「SEA-CORES」等能源評估技術，也能同時發揮改善能源效率的功能。事實上，這些技術並不高端，尤其監控管理系統，在早期艦台上即已能顯示油

註40：同註27。

註41：李宜儒，〈綠電不足氫能發展蓄勢待發 法人看好「這一家」〉，CTWANT，2022年8月2日，https://www.ctwant.com/article/198410?utm_source=yahoo&utm_medium=rss&utm_campaign=198410，檢索日期：2024年5月17日。



圖九：日本「YANMAR」公司開發之海運氫燃料電池

說明：寬3.4×深1.1×高1.7公尺，額定輸出300kW(可客製化)，輸出電壓650Vdc，重量3,000公斤；該型電池係採模組化設計，並因應任務以並聯方式延長供電時間，並可調整電池模組數量，讓系統能對應不同船舶的功率輸出要求。

資料來源：〈洋馬動力實現船用氫燃料電池系統商業化〉，國際船舶網，2023年8月5日，<http://wap.eworldship.com/index.php/eworldship/news/article?id=194858>，檢索日期：2024年5月25日。



圖十：雷虎科技公司「海狼400」自主水下載具

資料來源：Tso-Juei Hsu，〈Naval Unmanned Systems Showcased At Taiwan's Defense Show〉，NAVALNEWS，2023年10月3日，<https://www.navalnews.com/naval-news/2023/10/naval-unmanned-systems-showcased-at-taiwans-defense-show/#:~:text=,19%20pandemic>，檢索日期：2024年5月14日。

耗，只是未能將數據蒐集、分析量化。且我國在資訊科技、機械製造、系統整合上具有相當實力；因此，研發專屬的能源管理系統應非遙不可及。海軍可研究將系統、感測、資料庫、傳輸及人機介面等項目，導入大數據中，並應用人工智慧(AI)科技，就能迅速提供艦上人員建議，亦可藉此協助後勤單位，執行長時間的裝備數據分析，並提高能源使用效率。

(三) 增加艦載無人機船的使用

去(2023)年在臺北市舉行的「航空航天與國防技術展」中，各國新式無人機在

展場上大放異彩，其中包括我國「雷虎科技股份有限公司」生產具監視、戰鬥和支援等多功能的「海狼400」(Seawolf 400-AUV)自主水下載具(如圖十)就是一例，⁴²此現象顯示無人水面(水下)載具的軍事應用正快速拓展。媒體報導也指出，我海軍已經採購96架陸用監視型無人機和16架艦載型監視無人機，將陸續交機加入戰鬥序列；⁴³另我國「中山科學研究院」也已研發了多款無人機，其中「紅雀三型」擁有垂直起降能力、最大操控距離30公里、以及超過一小時的飛行時間，⁴⁴這些都讓傳統「有人」機(艦)對抗的時代漸漸走入歷

註42：Tso-Juei Hsu，〈Naval Unmanned Systems Showcased At Taiwan's Defense Show〉，NAVALNEWS，2023年10月3日，<https://www.navalnews.com/naval-news/2023/10/naval-unmanned-systems-showcased-at-taiwans-defense-show/#:~:text=,19%20pandemic>，檢索日期：2024年5月19日。

註43：〈解析軍規無人機產業：4種已量產，軍方未來幾年採購計畫？受惠臺廠有哪些？〉，《經濟日報》，2024年1月17日，<https://money.udn.com/money/story/5612/7716613>，檢索日期2024年5月19日。

註44：〈紅雀三型〉，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%B4%85%E9%9B%80%E5%BE%AE%E5%9E%8B%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F>，檢索日期：2024年5月18日。

史。咸信海軍未來在無人機(船)或無人水下載具的使用上，不僅可能搭載武器，其快速移動特性亦有助於目視鑑別、研判及攻擊；另一方面，亦可降低人員任務風險、節省整體油料成本，同時為海軍作戰帶來不同的面向與戰場助益。

(四) 艦艇節能部署的設置

艦隊海上航行期間如同進入資源沙漠，故對油料、用水、糧秣、甚至彈藥使用無不「錙銖必較」，為能確保能源無虞，除運用先進技術實現開源節流外，也應關注部隊節能文化的養成。艦隊無論水面艦或潛艦，為應付不同任務狀況，都會編排各種不同部署，透過完整分工的方式執行任務；因此，海軍可因應節能需要，研擬不同等級的節能部署，以肆應不同的戰場狀況。例如「一級節能部署」時，除必要航海、武器、輪輔機系統外全部關閉，以維長期作戰之能力；「二級節能部署」雖嚴密監控能源使用，但開啟較多生活設施，提供更舒適的工作環境，可搭配一般航行或戰鬥巡弋使用。艦隊藉由從部署調整著手，並逐步養成節能文化，此將有助於延長海上作戰時間，並在能源匱乏的情境下持續作戰，此作法確實值得我海軍思考。

陸、結語

海軍能源不僅依靠安全的基地給養，也需要從海上作戰角度，進行獨立思考。由於全球氣候變遷威脅加劇，新興能源科

技的運用更加的廣泛；對海軍而言，亦為艦艇能源穩定、安全，提供了一個嶄新的視角。在傳統節能措施的基礎上，海軍可以結合最新的資通訊技術，建構一套具能源監控、整合、分析能力的通用型管理系統，減低輪機人員登載、管理的負荷。再從擺脫燃油依賴的角度上思考，海軍造艦單位更應該廣泛研究再生燃料、油電整合及氫能技術等，深化相關科技應用，俾在新一代船艦上有效運用，滿足不斷增加的任務負荷。

過去，人們習於重視武器的機動力、偵蒐力及打擊力，卻忽略了載台的整體能源配置。從當前科技演進來看，海軍諸多造艦技術中，能源項目必然是未來的設計重點。海軍自詡為科技軍種，對此趨勢應有更深刻的體認。期許未來海軍能持續廣蒐各類尖端技術，並利用「國艦國造」的大好機會，增加試驗的力度與膽識，以打造具能源韌性的武器裝備；另一方面，國軍各級單位也應加強「能源意識」，畢竟「人」才是組織的根本，唯有軟、硬體與人員同時跟上趨勢，方能建立可應對多重威脅的可恃戰力。



作者簡介：

鄧翔靖先生，海軍備役士官長，指職士官班第四期、東吳大學中國文學碩士107年班、博士111年班，曾任海軍司令部督察長室資訊士、《海軍學術雙月刊》編輯，現為臺灣經濟研究院國家經濟戰略研究中心副研究員。