

美國海軍新一代艦船推進系統的發展

著者／翟文中

海軍官校74年班【美國能源部桑蒂亞Sandia國家實驗訪問學者(2002年)】
歷任海軍總部情報署、國防部情報次長室、戰略規劃室與整合評估室服務
現為海軍備役上校

海軍戰略的精義是海上持久力，也就是艦隊在海上活動能力的程度。海軍戰術的精義在動力性質，也就是人類控制艦隊或艦船運動到達何種程度。更確切地說，亦即艦隊各單位的運動是自由的還是從屬的。

英國海洋戰略學者柯白 (Julian S. Corbett, 1854—1922)

美國是一個傳統的海洋國家，其透過海洋的運用得以確保本身的安全與國際體系的穩定，並將本身的影響力無遠弗屆地向全球各地進行投射，這些目標的達成有賴美國海軍透過前進展示 (forward presence)、嚇阻 (deterrence)、海洋控制 (sea control) 與兵力投射 (power projection) 等作為予以達成。此外，美國海軍當前尚須執行打擊海盜、人道救援 (humanitarian assistance) 與災難救濟 (disaster relief) 等各式各樣的非傳統安全任務，這些任務均需艦艇出海執勤或是長期駐留海上監控。在這種情況下，燃油效率 (fuel efficiency) 逐漸地成為海軍當局關切的重要議題，因為提升燃油效率可大幅提升軍

艦的續航力、作戰彈性以及降低前進展示所需的後勤支援需求。

在可預見未來，美國海軍仍將持續地肩負「國防第一線」的任務，在全球不同的水域因應嶄新與逐漸浮現的各種不同威脅。長期以來，向外投射兵力原本就是一個極端複雜的任務，美國海軍艦艇對化石燃料的依賴將使得此問題在未來更加地難易處理。國防能源支源中心 (Defense Energy Support Center) 係一個為美國三軍提供各種不同型式燃料的專責單位，目前作法係以規範價格 (standard price) 採購油品避免國防部門用油受到國際油品市場價格大幅波動影響。即令如此，我們可以艦用F-76蒸餾燃油為例，自2006年以來，

這個價格總計調整了13次之多，最低價格為每桶原油60.06美元，最高價格則為每桶原油170.52美元。在2008會計年度時，每桶原油價格達到了147美元的歷史高點，當年美國海軍部的燃油支出由12億美元暴增至50億美元。預估到了2020年時，美國海軍用於特遣部隊的燃油消耗將較當前用油增加20%至25%。原油價格的波動與能源成本的不斷地攀升，業已對美國海軍的預算形成巨大的壓力，降低海軍艦船燃油消耗遂成為一個重要的作戰甚至戰略議題。

2009年6月，馬布斯（Ray Mabus）出任美國海軍部長，他上任後開始加速推動一個深具雄心的能源計畫，用以降低海軍對原油的依賴並積極採用潔淨能源技術（cleaner technology）。這項計畫將在未來十年實現五個重要目標：（1）2020年時，美國海軍的半數岸上與軍艦能源消耗來自替代能源（alternative energy）；（2）美國海軍的半數設施在2020年時將成為「淨零能耗」建築，其電力供給來自可再生能源，例如太陽能、風力、海洋與地熱等等，多出的電力尚可供應民間電網使用；（3）美國海軍將在2012年組建一支綠色航艦打擊群（green strike group），其組成包括了核子動力航空母艦、混合電力驅動水面軍艦以及生物燃料戰機，這支航艦打擊群將在2016年進行首次區域外部署；（4）美國海軍在2015年時將減少其50,000輛汽車與卡車用油量的一半，並採用油電混合與電力推進車輛；（5）進行採購流程

改革，這項倡議可用來因應海軍日益升高的合約成本挑戰，在新合約中將裝備全壽期的燃料成本納入考量。

這個計畫的第二項目標係與軍艦推進系統息息相關，為了有效達成降低對原油依賴的目標，美國海軍採取了下列兩種不同路徑，其一係研究開發新型的艦船推進系統，另一則為降低現有系統燃油消耗。前者案例包括了美國海軍與海岸警備隊現正與能源研究公司（Energy Research Corporation）合作，針對熔融碳酸鹽燃料電池（Molten Carbonate Fuel Cell）安裝於海軍與海岸警備隊艦船的可行性進行評估。在此同時，美國海軍研究辦公室（Office of Naval Research）亦積極地從事新型燃料電池系統的開發。根據美國海軍部的初步估算，一艘「勃克級」（Arleigh Burke class, DDG-51）驅逐艦的燃氣渦輪發電機若採用內建燃料重組器（其可從海軍使用的柴油中重組產生氫氣）燃料電池模組後，可以節省大約33%燃油成本支出。換言之，當軍艦採用燃料電池模組產生日用電力後，每年每艘「勃克級」驅逐艦將可節省超過100萬美元的油料支出。至於其他替代能源選項尚包括了風力與太陽能，美國海軍曾對輔助艦與海運艦採用前述兩種動力做為推進動力進行了評估。惟受限於技術瓶頸無法突破，這些開發中的嶄新海軍推進系統短期內尚無法真正地實用化。

另一方面，為了有效達成降低艦船燃油消耗目標，美國海軍提出的各類倡議大致分

為下列四大類：（1）提升原動機的效率；（2）降低推進動力需求；（3）降低任務系統與艦船系統的動力需求；（4）修正操作概念（Modifying Concepts of Operation）。透過這些不同途徑可在降低燃油消耗的情況下，仍能有效地執行各項不同的作戰任務。當前，美國海軍規劃進行的「下一代整合動力系統」（Next Generation Integrated Power System, NGIPS）計畫，其主要目標即是在「降低維持成本」與「滿足作戰需求」兩者間尋求平衡。近年來，拜電子電機工程的不斷進步與機電整合技術的日趨成熟，軍艦推進系統在燃油節約領域已獲得了突破性進展，當中最成功且經常為人提及的例子即是「混合電力推進」（hybrid electric drive, HED）與「整合動力系統」（integrated power system, IPS）的引進與運用。在下文中，將對美國海軍在這兩個領域中的發展現況進行說明。

混合電力推進：此系統的工作原理與大家耳熟能詳的油電混合車類似，艦船可依戰術情況（或巡航速度）選擇採用電力或（與）機械方式做為推進。英國皇家海軍「公爵級」（Duke class, Type 23）巡防艦率先採用複合柴油電力與燃氣渦輪機（Combined Diesel-Electric and Gas Turbine, CODLAG）推進系統，此型軍艦在高速航行時係以燃氣渦輪機提供動力，中低速巡航時則改以柴油發電機產生的電力驅動馬達做為艦船推進動力。除英國皇家海軍外，採用此推進系統的軍艦構型尚

有法國與義大利兩國共同研發的「歐洲多功能巡防艦」（European Multi-Mission Frigate, FREMM）。美國海軍經過多年研究論證後，亦將新造兩棲突擊艦「馬金島號」（USS Makin Island, LHD-8）的推進系統由原本的鍋爐透平機推進改為複合柴油電力或燃氣渦輪機（Combined Diesel-Electric or Gas Turbine, CODLOG）推進。儘管仍須消耗燃油用以產生電力，但相對於「黃蜂級」的其他姐妹艦，「馬金島號」在燃油效率上獲得了突破性提升。

2009年10月，「馬金島號」軍艦成軍服役，該艦的處女航由密西西比州的帕斯卡庫拉（Pascagoula）駛返加州聖地牙哥（San Diego）的母港。相較採蒸汽透平機推進的「黃蜂級」姐妹艦，此次航程該艦節省了近200萬美元的燃油支出。根據海軍海上系統司令部（Naval Sea System Command）的估算，「馬金島號」採用「混合電力推進」後，在未來40年的服役期間其可節省的油料支出高達2億5,000萬美元，這項金額尚不包括燃氣渦輪機減少運作間接節省了裝備維修費用。由於「馬金島號」節約燃油成效良好，美國海軍新一代兩棲突擊艦的首艦「美國號」（USS America, LHA-6），亦採用了與其相同的複合柴油電力或燃氣渦輪機推進模組。此外，美國海軍亦將新造的「勃克級」驅逐艦的推進系統改裝為混合電力推進，首艦「特魯克頓號」（USS Truxtun, DDG 103）將配備此嶄新系統並進行海上驗證。美國國會研究處

(Congressional Research Service, CRS) 的報告指出，當「勃克級」驅逐艦改裝成混合電力推進系統後，每年約可節省250萬美元的燃料支出。

整合電力推進：相較於當前各國軍艦普遍採用的機械推進系統，整合電力系統係將原本各自獨立的艦用推進與日用電力兩個系統予以整合，由於電力推進系統調速範圍寬廣，可確保船舶在不同需求進行精確船速控制，加上電力推進船舶可藉調整電力負荷，使原動機於最佳燃油效率速率下運轉，因此可減少推進系統的燃油消耗，有效地降低艦船在全壽期內的操作與維持成本。或許最重要的，美國海軍軍艦未來將配備高功率雷達與新式的電磁砲與雷射武器，這些裝備與武器需要大量的電力方能有效運作。在這種情況下，整合電力系統由於可靈活地進行電力分配，可使軍艦在作戰機動與有效接戰間進行快速地轉換。這項特點是其他推進系統無法取代的，整合電力推進於是成為美國海軍新一代戰艦推進系統的主要選項，例如建造中的「朱瓦特級」(Zumwalt class, DDG-1000) 驅逐艦與「福特號」(USS Gerald Ford, CVN-78) 航空母艦均採用了整合動力系統的設計。為了提升其他級別軍艦的燃油利用率，美國海軍的「路易士與克拉克級」乾貨/彈藥補給艦 (USNS Lewis and Clark Class Dry Cargo/Ammunition Ship) 同樣採用整合電力推進系統。美國國會研究處曾針對海軍艦船採用電力推進系統進行專案研究，這份研究

指出當美國海軍採用整合動力系統後，將可較採用傳統機械推進方式節省約10%至25%燃油消耗，美國海軍估計採用電力推進系統後可降低15%至19%維持費用。

為了提高燃油效率，美國海軍除致力提升推進系統效能外，亦透過船體的嶄新設計用以降低艦船的燃油消耗，這些努力包括了球形艏 (bulbous bows)、船艉板 (stern flaps) 以及葉與船體用的特殊防污塗料。球形艏目前已被商船廣泛地採用，其形狀好像是在水線上由船艏向外延伸的一根手指，透過此設計可降低波浪阻力，降低艦船約3.9%的燃油消耗。船艉板係安裝於舵與葉上方的一塊平板，其可視為船身延長，主要用以改變水流方向並能減少艦船6至7.5%的燃油消耗。至於新式的葉與船體用特殊防污塗料，則可有效防止甲殼與海洋生物附著於船體形成拽力，如此每艘軍艦每年可節省18萬美元的燃油支出。這三項科技目前已廣泛地運用於美國海軍艦艇，配合著先前提及的各項推進系統性能提升，將可大幅地減少美國海軍日益升高的燃油支出。

近期，美國軍方與工業界在永磁馬達 (permanent magnet motor) 與高溫超導 (high temperature superconducting) 同步馬達的研發與製造上亦獲得了突破性進展。相較傳統推進馬達，這兩款新型推進馬達具有重量輕、體積小與能量密度高的優點，其不僅使電力推進的發展向前邁了一大步，同時亦有可能促成海軍推進系統的革命性變革。由於原油價格未來

仍將處於高檔，在國防預算日漸緊縮情況下，美國海軍積極地為下一代軍艦尋找燃油效率較高的推進系統，由於整合電力推進系統可以滿足未來作戰需求同時又能降低燃油消耗，其將成為美國海軍下一代軍艦推進系統的基本構型。在此同時，美國海軍亦將現有艦船改裝成為「混合電力驅動」推進，用做過渡至「整合電力推進」的一個重要選項。嚴格而論，美國海軍唯非最早採用電力系統推進者，但其係近期對此系統研究與開發投入最多資源者。或許最重要的，全球許多國家海軍均以美國海軍馬首是瞻，因此當其建造或規劃新一代軍艦推進系統時，亦紛紛仿效美國海軍採用電力推進模組。在可預見未來，電力推進將取代當前各國海軍廣為採用的燃氣渦輪機為主的機械推進系統，成為各國海軍新一代軍艦推進系統的優先考量選項。👁️

參考資料

- 1 “A Good Reason for Flight III Burkes,” Tuesday, July 14, 2009, <http://www.informationdissemination.net/2009/07/good-reason-for-flight-iii>.
- 2 Abe Boughner, Thomas Dalton, and David Mako, “Engineering a Class of Innovative Affordable Amphibious Assault Hybrid Warship via LHD 8 USS Makin Island,” https://www.navalengineers.org/SiteCollectionDocuments/2010%20Proceedings%20Documents/EMTS%202010%20Proceedings/Papers/Thursday/EMTS10_2_61.pdf.
- 3 Alaina M. Chambers, and Steve A. Yetiv, “The Great Green Fleet: The U.S. Navy and Fossil-Fuel Alternatives,” *Naval War College Review*, Vol.64, No.3 (Summer 2011), pp.61-77.
- 4 Lynn J. Petersen, Michael Ziv, Daniel P. Burns, Tim O. Dinh, and Peter E. Malek, “U.S. Navy Efforts towards development of Future Naval Weapons and Integration into an All Electric Warship (AEW),” http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CC0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fjha.com%2Findex.php%2Fdownload_file%2Fview%2F128%2F145%2F&ei=hwsfUf3POOn_iAeNxIDYBQ&usg=AFQjCNFyoD4Ej_o3iNtG99D7w0NjlcJrgug&sig2=QLcsf_fmOISi8nAhwtlTbw&bv m=bv.47008514,d.aGc.
- 5 Mr. George Drakeley, “NAVSEA Propulsion Initiatives + Electric Ships,” <http://www.navsea.navy.mil/Media/SNA2011/George%20Drakeley%20NAVSEA%20Propulsion%20Initiatives%20+%20Electric%20Ships%20SNA1%20-%202004012011.pdf>.
- 6 Norbert H. Doerry, *Transitioning Technology to Naval Ships, Special Report 306: Naval Engineering in the 21st Century* (Washington, D.C.: Naval Sea System Command, 2011).
- 7 Norbert H. Doerry, Timothy J. McCoy, and Thomas W. Martin, “Energy and the Affordable Future Fleet,” <http://www.doerry.org/norbert/papers/20100325Energyandtheaffordablefuturefleet-final-1.pdf>.
- 8 Ronald O’Rourke, *Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress* (Washington, D.C.: Congressional Research Service, 2012).
- 9 Tom Spahn, “Our Blue Water Navy Goes Green,” http://works.bepress.com/tom_spahn/3.
- 10 「專家:美海軍未來戰艦應廣泛使用混合電力驅動」 http://www.360doc.com/content/09/0920/17/87426_6217951.shtml.